

Caracterización de material compuesto con Polietileno Tereftalato post - consumo y aserrín

Characterization of composite material with post-consumer Polyethylene Terephthalate and sawdust

Gerardo Andrés Alvarenga Salinas^{1*}, Eduardo Giangreco², Williams Bobadilla Torres³, Jeisson Sastoque Guerrero⁴, Carmen Sánchez², Magno Miguel Maíz Flecha² ¹Universidad Nacional de Asunción. Facultad Politécnica. Dirección de Investigación y Postgrado. Ingeniería en Ciencias de los Materiales. San Lorenzo, Paraguay. ²Universidad Nacional de Asunción. Facultad Politécnica. Ingeniería en Ciencias de los Materiales. San Lorenzo, Paraguay. ³Universidad Nacional de Asunción. Facultad Politécnica. Ingeniería en Electrónica. San Lorenzo, Paraguay. ⁴Universidad Santo Tomás. Facultad de Ingeniería Ambiental. Bogotá, Colombia. *Autor de correspondencia: gaas@pol.una.py.

Recibido: setiembre 2020

Aceptado: diciembre 2020

Recibido en versión modificada: diciembre 2020

Alvarenga Salinas, G. A, Giangreco, E., Bobadilla Torres, W., Sastoque Guerrero, J., Sánchez, C. y Maiz Flecha, M. M. (2020). Caracterización de material compuesto con polietileno tereftalato post consumo y aserrín. *Revista Investigaciones y Estudios – UNA*, 11(2), 12-21. <https://doi.org/10.47133/IEUNA2022>.

Resumen. El objetivo de esta investigación es observar las características mecánicas de tracción midiendo la resistencia estática del material compuesto de polietileno tereftalato de post consumo y aserrín. El polietileno tereftalato es uno de los plásticos que se desechan en mayor volumen en los rellenos sanitarios y basureros de las ciudades; así mismo, el aserrín es también considerado un desecho para los aserraderos. Este material compuesto se constituye como una alternativa a la madera, aprovechando las propiedades ventajosas que poseen tanto el polietileno tereftalato como el aserrín, para futuras aplicaciones y contribuir con la sostenibilidad

del medioambiente a través del reciclaje. Las probetas consistían en especímenes de polímeros vírgenes, reciclados y materiales compuestos reciclados, estas de diferentes proporciones de concentración de las fibras de aserrín (p/p %) de (10 y 20 %). Los resultados observados en los ensayos de tracción muestran valores superiores en las probetas del material compuesto que en las probetas de solamente poliméricas. En la evaluación final, se infiere un notable aumento del Módulo de Young con el incremento de las fibras de aserrín en la matriz polimérica, y nos deja suponer su excelente dureza, pero así también, se visualiza una pérdida de tenacidad y su probable disminución en su propiedad de ductilidad.

Palabras clave. material compuesto, polietileno tereftalato, aserrín, sostenibilidad, reciclaje.

Abstract. The objective of this research is to

observe the mechanical characteristics of traction by measuring the static resistance of the composite material of post-consumption polyethylene terephthalate and sawdust. One of the plastics that is disposed of in greater volume in sanitary landfills and garbage dumps in cities is polyethylene terephthalate; likewise, sawdust is also considered a waste for sawmills. This composite material is constituted as an alternative to wood, taking advantage of the advantageous properties that both polyethylene terephthalate and sawdust possess, for future applications and contribute to environmental sustainability through recycling. The samples consisted of specimens of virgin polymers, recycled materials and recycled composite materials, these of different proportions of concentration of the fibers of sawdust (w/w %) of (10 and 20 %). The results observed in the tensile tests show higher values in the composite material specimens than in the polymeric only specimens. In the final evaluation, a notable increase in Young's Modulus is inferred with the increase in sawdust fibers in the polymeric matrix, and it allows us to assume that its excellent hardness, but also, a loss of toughness and its probable decrease is visualized. in its ductility property.

Keywords. composite material, polyethylene terephthalate, sawdust, sustainability, recycling.

INTRODUCCIÓN

La ciencia actual busca y concentra su interés en el medio ambiente, trabajando en el desarrollo de nuevos materiales que puedan ser sustentables y minimice el impacto

medioambiental ante la demanda. Uno de los materiales innovadores y prominentes poco difundido en nuestro país es el material compuesto conformado por una matriz polimérica (reciclado de plástico en general), a veces en su totalidad y en ocasiones con refuerzos vegetales, fibra o polvo de madera (aserrín) (Ashori, 2008).

Uno de los grandes problemas que el mundo viene afrontando es el aumento superlativo de residuos, lo cual ha causado un cambio en la forma de pensar y la preocupación por elaborar programas para sobrellevar y solucionar la excesiva producción de basura (STP Paraguay, 2014). Si bien en Paraguay aún no existen plantas de tratamiento de residuos, es importante destacar que se encuentran vigentes algunas leyes como: La Ley 3509/09 de Gestión de Residuos Sólidos en la República del Paraguay art. 23, que fomentan sistemas de reincorporación mediante el reciclaje y la tecnología que lo desarrolle (Ley N° 3, 2009). Así también, se protege la conservación, el aprovechamiento sostenible y racional de los recursos forestales del país con la Ley Forestal (Ley 422/73 CAP. I Art. 2 inciso a) (Ley N° 4, 1973). De modo a fortalecer y apoyar estas leyes con evidencias científicas, las líneas de investigación en estas áreas buscan generar información inicial a la producción de materiales alternativos a partir de residuos, buscando así la reducción de estos.

Muchos estudios se han realizado con el deseo de obtener un procedimiento que modifique este tipo de material, en uno de ellos, se observa que al material se impregna anhídrido acético y después se hace reaccionar

a una elevada temperatura (Rowell, 2006).

Cabe mencionar el tratamiento térmico de especies de madera resinosa que también da como resultado una modificación y una redistribución espacial de los extractos de madera (Nuopponen, 2003). La furfurilación del compuesto de polímero y aserrín, se ha realizado mediante un tratamiento con alcohol furfurílico, impregnando a presión en la madera y polimerizando *in situ* dentro de la pared celular, utilizando temperatura elevada y catalizadores (Lande, 2008). Escobar (2008) ha estudiado la influencia de diferentes especies de madera en la fabricación de madera plástica y establecieron que las propiedades dependen en gran medida de la alineación de las partículas de madera y posiblemente de la degradación que sufren durante el calentamiento, lo cual es de importancia para definir las características del compuesto de madera y plástico. Es por ello, que para el presente trabajo es importante tener en cuenta la introducción de aserrín en la matriz polimérica de PET post consumo, ya que esas partículas son refuerzos que otorgan unas mejores propiedades de resistencia al material compuesto.

Existen antecedentes en el proceso de materiales compuestos de madera y plástico (Clemons, 2002). Esta combinación de fibras de celulosa con plástico de desecho post-consumo es más económica que el uso de fibra con resinas fenólicas materiales compuestos. Por su parte, Rowell (2006) ha revisado el uso y desarrollo de la madera plástica en el mercado de la construcción residencial de EE. UU. y cita varios ejemplos de fabricantes comerciales de madera plástica que utilizan polímeros

reciclados y fibras vegetales recicladas. Incluso se han introducido un componente químico en el material compuesto para el aumento de la estabilidad dimensional y la resistencia al ataque biológico (Seegerholm, 2012).

El método de inyección utilizado fue a través de una inyectora de plásticos automatizada con arduino con forma cilíndrica. La materia prima es colocada en un cilindro que luego se va calentando hasta alcanzar una temperatura de trabajo, para luego con una pequeña prensa comprimir hasta obtener el material deseado.

Este trabajo de investigación tuvo por objetivo la caracterización de las propiedades mecánicas del material compuesto obtenido con polietileno tereftalato post consumo y aserrín como una propuesta de reciclaje de residuos de post consumo, convertirlos nuevamente en materias primas y presentar este nuevo material dentro de la economía circular con valor agregado por su carácter sustentable y amigable con el medio ambiente.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los materiales para la elaboración del material compuesto polimérico y madera han sido las escamas u hojuelas de polietileno tereftalato (PET) (reciclado-virgen) y aserrín.

En cuanto a los equipos y herramientas se han utilizado para las pruebas del ensayo: una trituradora de plásticos, una inyectora de plásticos, sierras, cortadoras, lijadoras, pulidoras mecanizadas. Y para el ensayo mecánico de tracción una máquina universal con todos sus

accesorios.

Las probetas fueron caracterizadas en el Laboratorio de Ensayos de la carrera de Ingeniería en Ciencias de los Materiales de la Facultad Politécnica de la UNA. Se realizaron ensayos para determinar la resistencia de tracción y el módulo de elasticidad (Módulo de Young) del material según están indicadas en la Norma *ASTM D638*. Las probetas consistían en especímenes de diferentes composiciones de materia prima y en algunos casos con diversas proporciones de concentración (p/p %).

El proceso de preparación de los materiales compuestos de madera plástica por el método de inyección consta de las siguientes etapas.

Etapas 1. Obtención de escama de PET que consistió en la recolección y/o acopio, separación, lavado, triturado y tamizado de las botellas de PET: Se inició con la “*Campaña de clasificación y reciclaje de residuos plásticos como un programa piloto en la FP-UNA (Facultad Politécnica de la Universidad Nacional de Asunción)*” en los contenedores que fueron colocados en los pasillos de los bloques (Figura 1a), obteniendo botellas PET (polietileno tereftalato) y otros tipos de polímeros como PEAD (polietileno de alta

densidad), PEBD (polietileno de baja densidad), PP (polipropileno) (Figura 1b). Las botellas de PET colectadas fueron cortadas, lavadas con agua para eliminar impurezas y evitar contaminar el proceso (Figura 1c).



Figura 1. Recolección de materias primas poliméricas. a. Puestos de recolección de botellas PET (Eco puntos). b. Recipientes con los PET depositados. c. Acopio y separación de las botellas de plásticos colectadas en el depósito del Laboratorio de la carrera de Ingeniería en Ciencias de los Materiales de la Facultad Politécnica de la UNA.

Los plásticos de PET lavado pasan al siguiente proceso de triturado con un molino ROBOT 50 con motor de 5,5 HP trifásico, obteniendo escamas de PET con diámetro de más de 9 mm y hasta menores a 2 mm (Figura 2c).

Etapas 2. Proceso de obtención de partículas de madera: Recolección, molido y tamizado de aserrín.

El aserrín de madera de Yvyra pyta (*Peltophorum dubium*) de un depósito de madera ubicado en la ciudad de San Lorenzo.



Figura 2. Proceso de limpieza, triturado y tamizado de los plásticos PET. a) Botellas de PET limpias b) PET introduciéndose en la Trituradora y c) Escamas de PET obtenidas.

Se trituró el aserrín con la misma trituradora utilizada para la trituración del PET y posteriormente el aserrín fue tamizado con un conjunto de tamices de medidas: 600 μm ; 2,5 mm; 4,7 mm; 6,3 mm.

Etapa 3. Proceso de termoformado de la probeta (piezas de pruebas) con la máquina inyectora, se realiza con una Inyectora de Plásticos (Automatizada) mediante la utilización de una plataforma de hardware llamado Arduino (Figura 4).



Figura 3. Proceso de obtención de partículas de madera. a y b) Aserrín antes y después de pasar por la trituradora, c) tamices utilizado para el aserrín y d) Aserrín después del tamizado 600 μm .

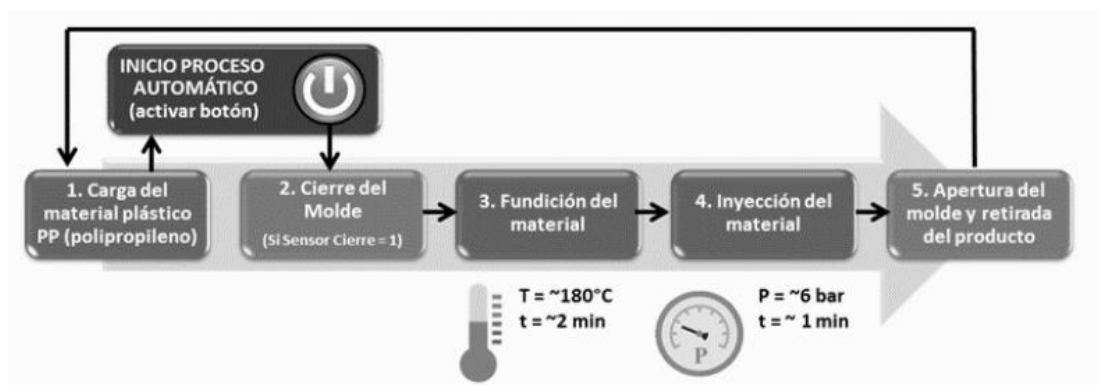


Figura 4. Proceso de inyección mediante la utilización de Arduino (Benítez, 2017).

Las probetas se han elaborado con una inyectora de plástico perteneciente a la Facultad Politécnica de la Universidad Nacional del Este.

Se pesó la cantidad de polímero y partícula de aserrín en un vaso precipitado 100 mL haciendo constar el peso y la granulometría de ambas materias primas, luego se llevó a estufa a 100 °C para eliminar la humedad por 2 horas, seguidamente se mezclaron, en un vaso mayor

de 250 mL de capacidad para obtener una mejor homogeneización y que esta mezcla sea suministrada por la tolva a la inyectora.

El material plástico PET (matriz) introducido dentro del cilindro comienza a resplandecer lentamente, a una temperatura de 212 °C. Seguidamente se produce la inyección del material a una presión de 6 bar por un tiempo de 1 minuto hasta llegar el fluido al molde matriz de aluminio en este caso.

Se dejó solidificar dentro del molde, una vez

solidificado, se procede a abrir y obtener la pieza del material compuesto de matriz polimérica y refuerzo con aserrín. Se obtuvo una pieza de figura circular de 3 cm de diámetro y un espesor de 0,5 cm.

Etapa 4. Experimentos para el diseño del material compuesto (PET + aserrín).

Para el diseño y desarrollo del material compuesto se han considerado dos factores para

su conformación: el tamaño geométrico de las escamas del polímero como las partículas del aserrín y el porcentaje en peso de estas materias prima. El material compuesto está formado por dos fases, la primera es la matriz, en este caso el

En la figura 5 se observan las piezas de pruebas (1-11) que se han obtenido para los ensayos de tracción, con las diferentes composiciones descritas la Tabla 1.

Tabla 1. Números de probetas obtenidas con la descripción de las composiciones.

Nº de probetas	Acrónimos	Composición de las Piezas de Pruebas
1	PETv	Polietileno Tereftalato (Virgen)
2	PETr	Polietileno Tereftalato (Reciclado)
3	PETv + Aserrín	Polietileno Tereftalato (Virgen) + 10% Aserrín
4	PETr + Aserrín	Polietileno Tereftalato (Reciclado) + 10% Aserrín
5	PETv + Aserrín	Polietileno Tereftalato (Virgen) + 20% Aserrín
6	PETr + Aserrín	Polietileno Tereftalato (Reciclado) + 20% Aserrín
7	ABSv	Poli Acrilo Butadieno Estireno (Virgen) 100%
8	PPr	Polipropileno (reciclado) 100%
9	PETr(color)	Polietileno Tereftalato (reciclado) 100%
10	PETr + 10% PPr	Polietileno Tereftalato (reciclado) + 10% Polipropileno (reciclado)
11	PETr + 10% PPr	Polietileno Tereftalato (reciclado) + 20% Polipropileno (reciclado)

polímero que engloba, rodea, compactándole a la otra fase fibrosa son las partículas de aserrín que actúa como refuerzo, otorgando mayor resistencia al material compuesto.

como matriz y el agregado en 10 y 20 % de Polipropileno como un aditivo, ambos que por sus características pueden lograr un material con propiedades fisicoquímicas combinadas.

RESULTADOS

Caracterización de Probetas. En la tabla 2 se puede observar cómo actúa la proporción de aserrín en la propiedad del módulo de Young. En los especímenes de materiales compuestos 3, 4, 5 y 6 se observa un incremento ligero en el Módulo de Young de 366,2 a 679 Megapascal (MPa) a medida que aumenta la proporción de aserrín en las probetas de 10 y 20 %.

Por otra parte, podemos apreciar en la Figura 6 las curvas de un ensayo de tracción, las cuales se han obtenido de las primeras piezas de pruebas.

Los ensayos de tracción (Tabla 2) para las probetas 10 y 11, obtuvieron resultados de 466,311 y 230,405 MPa respectivamente, cuyas composiciones están conformadas por dos tipos de polímeros reciclados Polietileno Tereftalato

Primeramente, que las curvas B y L muestran una mayor zona elásticas que las demás curvas. Además, las probetas presentan un alargamiento antes de sufrir la fractura, comportamiento plástico propio de especímenes poliméricos. Algunas probetas mostraron más alargamiento que otras, lo cual indica mayor absorción de energía antes de la rotura como en el caso de la curva B y H.

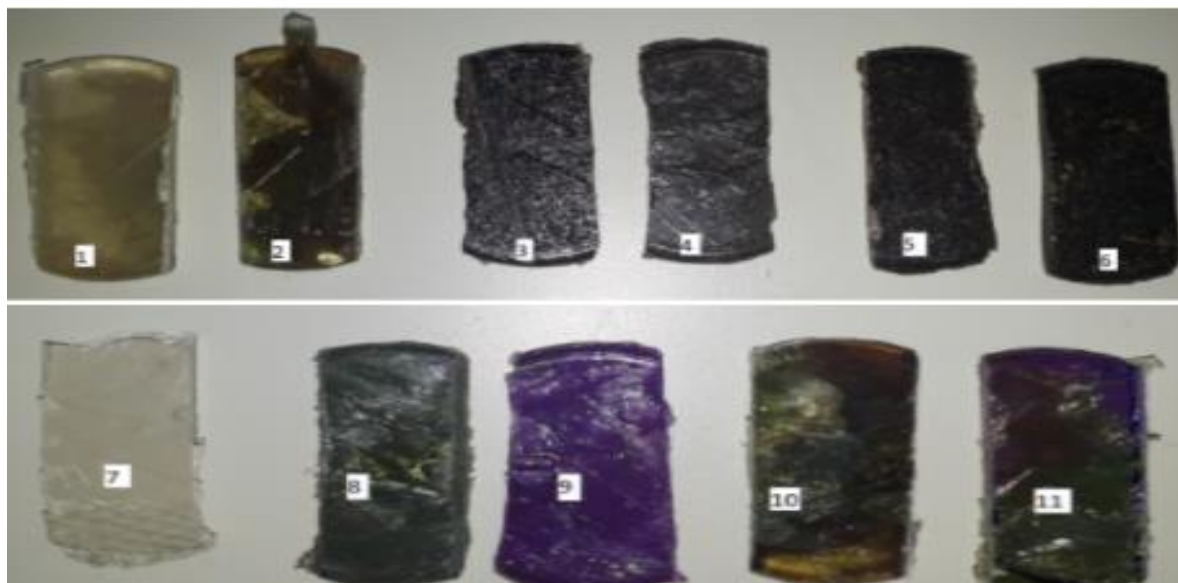


Figura 5. Probetas (piezas de pruebas) (1-11) para el ensayo de tracción.

Tabla 2. Resultados del ensayo de tracción en la Máquina Universal.

Nº	Pico de Fuerza (N)	Esfuerzo de Tracción (MPa)	Pico de Elongación (mm)	Porcentaje de pico de elongación (%)	Área (mm ²)	Longitud del Calibre/Carga (mm)	ΔL/L	Módulo de Young (Mpa)
1	1392,5	51,009	4,356	13,002	27,3	33,5	0,130	392,286
2	186,42	6,829	1,212	3,618	27,3	33,5	0,036	188,755
3	869,60	31,854	2,914	8,698	27,3	33,5	0,086	366,200
4	227,17	8,321	0,579	1,730	27,3	33,5	0,017	481,439
5	488,91	17,909	2,071	6,183	27,3	33,5	0,061	289,691
6	492,53	18,042	0,899	2,654	27,3	33,5	0,026	679,872
7	1236,5	45,296	3,986	11,899	27,3	33,5	0,118	380,686
8	672,98	24,651	4,306	12,853	27,3	33,5	0,128	191,780
9	1236,5	45,296	3,986	11,899	27,3	33,5	0,118	380,686
10	790,80	28,967	2,081	6,213	27,3	33,5	0,062	466,311
11	144,40	5,289	0,769	2,296	27,3	33,5	0,023	230,405

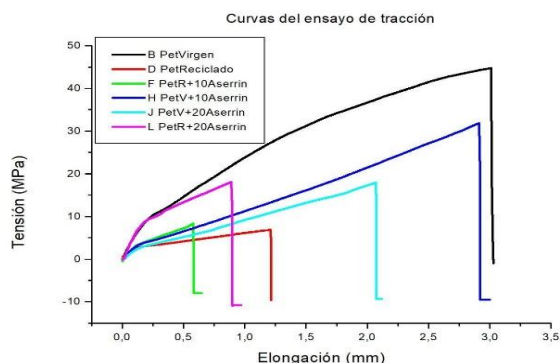


Figura 6. Curvas del ensayo de Tracción. Especímenes (1-6).

DISCUSIÓN

La inclusión de aserrín como fibra dentro de la matriz polimérica hace que el material compuesto incremente de una forma ligera su módulo de Young, lo cual, disminuye la ductilidad del material como las propiedades plásticas del polímero (Moreno et al., 2013).

Las curvas de tracción obtenidas en la Figura 6, sugieren que la introducción de fibras dentro de matrices poliméricas vuelve más rígido al material, tanto con matrices poliméricas virgen y reciclado, con proporciones de 10 y 20 %.

Los resultados podemos observar en la (Tabla 2), con los módulos de Young de los especímenes 4, 5 y 6 que concuerdan con resultados similares obtenidos por Moreno et al. (2013) quienes trabajaron con polímeros reciclados espumados y no espumados introduciendo en la matriz fibras de maderas de 15 y 25 % y cuyos módulos de Young aumentaban conforme era mayor la concentración de refuerzos de fibras de maderas. Esto se puede explicar con lo expuesto en el experimento de otra investigación anterior en que estudiaron la distribución de deformaciones y transferencia de carga de partículas de maderas en los polímeros, y se observó que al aumentar relación de carga de relleno de madera de 0 a 60 % hay un ligero aumento en la tensión de tracción máxima y en el módulo de elasticidad, pero con niveles de carga más altos del 60 % va disminuyendo, explica que este comportamiento es esperado porque cuando cada vez más el material compuesto es madera, y las partículas a menudo no son del todo encapsulado por el polímero matriz y la transferencia de carga no es posible que sea óptima (Schwarzkopf & Muszynski, 2015).

La obtención de un material compuesto a partir de material reciclado es posible mediante un proceso por inyección utilizando presión y calor de manera controlada, así como es obtenido con materia prima virgen. Los

resultados del Módulo de Young entre las probetas de material compuestos con polietileno tereftalato reciclado y virgen fueron muy similares en cuanto a sus valores, del mismo modo lo expresaron Youngquist et al. (1993) quienes examinaron el efecto de las materias primas vírgenes frente a las recicladas en las propiedades físicas de los materiales compuestos y no hubo diferencias en los valores de rendimiento de las piezas de prueba en los ensayos mecánicos al comparar polietileno tereftalato virgen y reciclado con el agregado de diferentes especies de maderas.

La ductilidad se ve reducida con el agregado de aserrín a la matriz polimérica, perdiendo plasticidad y volviéndose frágil. Por lo que nuestro material compuesto se asemeja más a un material cerámico a medida que vamos agregando fibra (aserrín) a la matriz.

Disminuyendo la absorción de energía durante el ensayo de tracción (Schwarzkopf & Burnard, 2016). El material pierde tenacidad y su propiedad de ductilidad se ve reducida por la fibra dentro de la matriz polimérica ya que no hay una buena adherencia entre ambos, al igual que Moreno et al., (2013) donde apreciaron que el aumento en la concentración de fibra de madera provoca que la energía a la fractura del compuesto disminuye, presentando menor resistencia al impacto los compuestos a medida que se incremente la concentración de fibra de madera.

En el proceso de obtención del material compuesto se ha degradado por la exposición a las altas temperaturas y oxígeno en el ambiente (termo-oxidativa), observado a simple vista por la presencia burbujas en las probetas (Figura 5)

lo que desencadena a una disminución en sus propiedades mecánicas (Tabla 2). Esto coincide con los resultados de un estudio sobre el efecto del reciclaje en polietileno viejo relleno con papel y compuestos de polipropileno, donde el reciclaje sucesivo producía una ligera disminución en las propiedades mecánicas de las probetas obtenidas (Balatinez & Sain, 1998).

La caracterización de las propiedades mecánicas del material compuesto obtenido a partir de polietileno tereftalato post consumo y aserrín como una propuesta de reciclaje de residuos de post consumo, convertirlos nuevamente en materias primas y presentar este nuevo material dentro de la economía circular con valor agregado por su carácter sustentable y amigable con el medio ambiente.

AGRADECIMIENTOS

Es importante mencionar que nuestras probetas (piezas de pruebas) se han elaborado gracias a la colaboración de la Facultad Politécnica de la Universidad Nacional del Este, quienes nos han facilitado en el usufructo de la Inyectora.

Declaración de interés. Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ashori, A. (2008). Wood-plastic composites as promising green-composites for automotive industries!. *Bioresource Technology*, 4661-4667.
- Balatinez, J. & Sain M. M. (1998). The influence of recycling on the properties of wood fiber plastic composites. *Macromolecular symposia*, 135,167-173.
- Benítez S., E. C. (2017). *Inyectora de plásticos automatizada* [Trabajo de Grado, Facultad Politécnica. Universidad Nacional del Este].
- Clemons, C. (2002). Wood-plastic composites in the United States: the interfacing of two industries. *Forest products journal*, 52, 10–18.
- Escobar, W. (2008). *Influence of wood species on properties of wood/HDPE composites*. Washington State University.
- Lande, S. (2008). *Furfurylation of wood – Wood modification by the use of furfuryl alcohol*. [Doctoral Thesis, Norwegian Univ. of Life Sciences, Ås, Norway].
- Ley N° 3. (2009). *Ley N° 3956 / Gestión de Residuos Sólidos en la República del Paraguay*. Asunción, Paraguay.
- Ley N° 4. (1973). *Ley Forestal*. Asunción, Paraguay.
- Moreno, P., Rodríguez, D., Giroux, Y., Ballerini, A. y Gacitúa, W. (2013). Caracterización mecánica y morfológica de termoplásticos reciclados espumados reforzados con subproductos de madera. *Maderas, ciencia y tecnología*, 15(1), 3-16.
- Nuopponen, M. T. (2003). Effects of heat treatment on the behaviour of extractives in softwood studied by FTIR spectroscopic methods. *Wood Science and Technology*, 37, 109–115.
- Rowell, R. (2006). Acetylation of wood. *A journey from analytical technique to commercial reality*. *Forest Products Journal*, 56(9), 4-12.
- Rowell, R. (2006). Advances and challenges of wood polymer composites. En: *Proceedings of the 8th Pacific Rim Bio-Based Composites Symposium, Advances and Challenges in Biocomposites* (págs. 2-11). Kuala Lumpur: Forest Research Institute Malaysia.
- Schwarzkopf, M. & Muszynski, L. (2015). *Strain distribution and load transfer in the polymer-wood particle bond in wood plastic composites*. *Holzforschung*, 69(1), 53-60. doi:10.1515/hf-2013-0243.
- Schwarzkopf, M. & Burnard, M. (2016). Wood-Plastic Composites--Performance and Environmental Impacts. En A. Kutnar, & S. Muthu, *Environmental Footprints and Eco-design of Products and Processes* (págs. 19-43). Springer,

- Singapore. Schwarzkopf, M.J; Burnard, M.D.
Secretaría Técnica de Planificación. (2014). *Plan Nacional de Desarrollo 2030. Octubre, 2017, de Gobierno Nacional Paraguayo Sitio web. SET.*
- Segerholm, K. (2012). *Characteristics of wood plastic composites based on modified wood - Moisture properties, biological resistance and micromorphology.* Stockholm, Sweden.: KTH Building Materials Technology.
- Youngquist, J. A., Myers, G. E., Muehl, J. M, Krzysik, A. M. y Clemons, C.M. (1993). *Composites From Recycled Wood and Plastics.* Final Report for U.S. Environmental Protection Agency, Project #IAGDW-12934608-2. USDA, forest Service, forest Products Laboratory, Madison WI.