

Physical and mechanical properties of plastic recyclables produced in Ecuador as construction material

Sangucho-Barros, Darwin Santiago; Velasco-Cevallos, Danny Alexander; Viera-Arroba, Luisa Paulina

 **Darwin Santiago Sangucho Barros**
dssangucho@uce.edu.ec
Universidad Central del Ecuador. Facultad de Ingeniería y Ciencias Aplicadas. Quito, Pichincha, Ecuador.

 **Danny Alexander Velasco Cevallos**
davelascoc@uce.edu.ec
Universidad Central del Ecuador. Facultad de Ingeniería y Ciencias Aplicadas. Quito, Pichincha, Ecuador.

 **Luisa Paulina Viera Arroba**
lviera@uce.edu.ec
Universidad Central del Ecuador. Facultad de Ingeniería y Ciencias Aplicadas. Quito, Pichincha, Ecuador.

FIGEMPA: Investigación y Desarrollo

Universidad Central del Ecuador, Ecuador

ISSN: 1390-7042

ISSN-e: 2602-8484

Periodicidad: Semestral

vol. 16, núm. 2, 2023

revista.figempa@uce.edu.ec

Recepción: 04 abril 2023

Aprobación: 30 junio 2023

DOI: <https://doi.org/10.29166/revfig.v16i2.4495>

Autor de correspondencia: davelascoc@uce.edu.ec



Esta obra está bajo una [Licencia Creative Commons Atribución 4.0 Internacional \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

Agradecimientos: Agradecemos a las empresas “Ecom” y “Ecuaplastic” por permitirnos ensayar sus productos y a la Universidad por prestarnos el laboratorio de ensayos de

Resumen: El plástico en Ecuador representa el 11,43% de los residuos generados. La construcción al ser una industria con gran impacto en la economía ecuatoriana es el lugar idóneo para implementar un modelo de economía circular y apoyar a una solución utilizando este desecho. Se plantea a la madera plástica como material de bajo impacto para la construcción, por lo que es necesaria su caracterización. Es así que, mediante el uso de normativas ASTM D (6108, 6109, 638, 2344, 6111, 570 y 2240), se determinan las características físicas y mecánicas de dos tipos de madera plástica producida en Ecuador M1 (PET y cáscara de arroz) y M2 (Polipropileno). Los resultados indicaron que la madera plástica M1 tiene una mayor resistencia a la tracción y capacidad de absorción de agua gracias a las fibras naturales de refuerzo. Además, M1 presenta el módulo de elasticidad más alto, lo que le confiere una mayor rigidez y menor deformabilidad. Por otro lado, se observó que M2 presenta una sección transversal menos compacta y vacíos en su estructura, lo que resulta en mayores deformaciones. En general la madera plástica es ventajosa para la construcción porque tiene una baja probabilidad de ser atacada por xilófagos y tiene un gran potencial en el diseño de elementos de carga axial debido a su desempeño a compresión, tracción y flexión aceptable, limitándose a construcciones de baja altura por las altas deformaciones que presenta.

Palabras clave: madera plástica; economía circular; caracterización; construcción

Abstract: Plastic in Ecuador represents 11.43% of the waste generated. As the construction industry has a significant impact on the Ecuadorian economy, it is an ideal place to implement a circular economy model and support a solution using this waste. Plastic wood is proposed as a low-impact material for construction, so its characterization is necessary. In this work, the physical and mechanical characteristics of two types of plastic wood produced in Ecuador, M1 (PET and rice husk) and M2 (polypropylene), were determined using ASTM D regulations (6108, 6109, 638, 2344, 6111, 570, and 2240). The results indicated that plastic wood M1 has higher tensile strength and water absorption capacity due to its natural reinforcement fibers. Additionally, M1 has the

materiales para realizar este trabajo de investigación.

Cómo citar: Sangucho-Barros, D. S., Velasco-Cevallos, D. A., Viera-Arroba, L. P. (2023). Propiedades físicas y mecánicas de reciclados de plásticos producidos en Ecuador como material de construcción. *FIGEMPA: Investigación y Desarrollo*, 16(2), 58-69. <https://doi.org/10.29166/revfig.v16i2.4495>

highest modulus of elasticity, which gives it greater stiffness and lower deformability. On the other hand, it was observed that M2 has a less compact cross-section and voids in its structure, resulting in greater deformations. In general, plastic wood is advantageous for construction because it has a low probability of being attacked by wood-boring insects and has great potential in the design of axial load elements due to its acceptable performance under compression, tension, and bending, limited to low-rise constructions due to the high deformations it presents.

Keywords: wood plastic composite; circular economy; characterization; construction.

INTRODUCCIÓN

Moderadas estimaciones de crecimiento poblacional indican que para el año 2050, se requerirá tres planetas para proporcionar los recursos naturales necesarios para mantener el actual estilo de vida humana (Ministerio de Producción y Comercio Exterior e Inversiones y Pesca, 2021). Según un reporte publicado por las Naciones Unidas, el sector de la construcción consume el 40% de la energía total, extrae alrededor del 30% de los recursos naturales del entorno y es responsable del 25% de los residuos sólidos generados (García *et al.*, 2020). Para atender las necesidades de vivienda originadas por el crecimiento demográfico, en los próximos cinco años debería construirse alrededor de 17 millones de casas para alojar a una media de 77 millones de nuevos individuos anualmente. Esto implicaría la producción y utilización de más de 600 millones de metros cúbicos de suministros de construcción, lo que equivale a alrededor de 1500 millones de toneladas de materiales, componentes y subsistemas constructivos por año (Salas, 2016).

Por tanto, es crucial tomar medidas para invertir el impacto negativo del modelo económico lineal (extraer-producir-usar-desechar) en la sociedad y el medio ambiente. La adopción de un enfoque sostenible requiere un cambio drástico hacia una economía circular (Ministerio de Producción y Comercio Exterior e Inversiones y Pesca, 2021).

La aplicación del concepto de “Economía Circular” implica el uso de residuos como recursos en el sector de la construcción (Secretaría Nacional de Planificación, 2021). Por ejemplo, a partir de 2015 se han generado más de 6000 millones de toneladas de residuos plásticos a nivel mundial, de los cuales se estima que solo el 9% ha sido reciclado, el 12% ha sido incinerado y el 79% ha terminado en vertederos, arroyos, ríos y laderas debido a la inadecuada disposición final de los residuos (Jiménez Portilla, 2022). En la Unión Europea se planea que la tasa de reciclaje de plástico aumente hasta un 55%, y se proyecta que los vertederos se reduzcan a no más del 10% para 2030 (Turku *et al.*, 2018).

En Ecuador, el plástico es ampliamente utilizado en diversos sectores, incluyendo el automotriz, agrícola, de alimentos e higiene, entre otros. En el año 2017, el país importó 373776 toneladas de productos de plástico, principalmente en artículos relacionados con la higiene y el cuidado personal, según lo señalado por Portilla Jiménez (2022). De acuerdo con el Libro Blanco de Economía Circular de Ecuador (2021), el consumo nacional del plástico es de 20 kilos por

habitante al año, lo que quiere decir un total de 531461 toneladas anuales y el 50% de este valor son envases de plástico suave de un solo uso. Además, esta cifra representa el 11,43% de los residuos totales generados.

Una de las formas de aprovechamiento de residuos plásticos es la elaboración de piezas (madera plástica) para edificar (Herrera *et al.*, 2018, 2023; Rincón *et al.*, 2016). En Ecuador, la producción de madera plástica (WPC o Plastic Lumber) a partir de polímeros reciclados ha experimentado un crecimiento significativo como respuesta a una mayor conciencia acerca de la necesidad de reciclaje y la demanda de materiales de construcción ecológicos y sostenibles (Bersoza, 2018). El aumento del reciclaje de plástico ha permitido que varias empresas produzcan de manera constante madera plástica a partir de polímeros reciclados. Constituyéndose en una alternativa innovadora y viable en la producción de materiales de construcción en el país (Albán, 2019; Alcívar y Arias, 2009). Algunas de estas empresas son Ecom, Ecuaplastic, Ecowood, Madera Plástica Barahona, Eco Wiblock y Madera Verde, entre otras (*Eco Wiblock*, s/f; *Ecowood Ecuador*, s/f; *Ecuaplastic*, s/f; *Madera Plástica Barahona*, s/f; *Madera Verde Ecuador*, s/f). Sin embargo, este material no es nuevo y existe desde 1992 (Klyosov, 2007).

Iza (2020) indica que la madera plástica tiene propiedades mecánicas aceptables y su resistencia varía de acuerdo con el porcentaje de mezcla (polímero y material reforzante). La adición de fibras de madera al plástico puede mejorar las propiedades mecánicas dando como resultado un material que puede ser utilizado como sustituto de la madera en aplicaciones estructurales, de mobiliario, construcción y otros productos similares. En este trabajo de investigación se presenta la caracterización física y mecánica de la madera plástica producida por las empresas Ecom y Ecuaplastic, con el fin de evaluar su calidad y capacidad para ser utilizados como material de construcción aplicado a la economía circular.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se analizaron dos muestras, la primera (M1) proviene de la empresa Ecom, con sede en Guayaquil, la cual se dedica a la producción de madera plástica utilizando tereftalato de polietileno (PET) reciclado de botellas y la adición de cáscara de arroz mediante un proceso de extrusión. La segunda (M2) se obtuvo de la empresa Ecuaplastic, ubicada en el sector de Alangasí. Esta última utiliza el polipropileno reciclado de fundas de snacks, costales, entre otros residuos, como materia prima para producir madera plástica mediante el proceso de inyección.

En la Figura 1 se muestran el equipo y las probetas ensayadas en la caracterización mecánica. Para los ensayos de compresión (Figura 1a), flexión (Figura 1b) y corte (Figura 1c) se usaron máquinas universales de 100 y 30 toneladas del laboratorio de ensayo de materiales y modelos de la Universidad Central del Ecuador (UCE). En el ensayo a tracción (Figura 1d) se usó la máquina universal de 500kN de la Escuela Politécnica Nacional (EPN).

A continuación, se especifican las relaciones dimensionales de las probetas utilizadas de acuerdo a las normas ASTM D 6108, 6109, 638 y 2344.

- Compresión (Figura 1a): $L=2xD$;
- Flexión (Figura 1b): $L=1.2x16xH$ (Canto); $L=1.2x16xB$ (Plano);
- Corte (Figura 1c): $B=2xe$, $L=6xe$;
- Tracción (Figura 1d): $L=265\text{mm}$, $G= 50\text{mm}$, $W_o=19\text{mm}$, $W=13\text{mm}$, $e= 7\text{mm}$ (Tipo I);

Dónde: L (Longitud), D (Diámetro), H (Altura), B (Base), G (Longitud de ensayo), W_o (Ancho máximo), W (Ancho reducido), e (Espesor).



FIGURA 1

Ensayos para propiedades mecánicas

a (Ensayo a compresión), b (Ensayo a flexión), c (Ensayo a corte) y d (Ensayo a tracción)

En la Figura 2 se muestra la determinación de las propiedades físicas de los materiales estudiados. Para la densidad (Figura 2a) se la determinó por el método gravimétrico, para la absorción (Figura 2b) se mantuvo inmersa la probeta en agua destilada y se registraba su peso periódicamente. En el caso de la dureza (Figura 2c) se la determinó con el durómetro en el Centro de Investigaciones Aplicadas a Polímeros (CIAP) de la EPN. Las probetas de los ensayos mencionados cumplen con las siguientes relaciones dimensionales de acuerdo con su normativa ASTM D 6111, 570 y 2240 respectivamente.

- Densidad (Figura 2a): $L=2xD$;
- Absorción (Figura 2b): $e=3,2\text{mm}$ y $D=50,8\text{mm}$;
- Dureza (Figura 2c): $L \geq 25,4\text{mm}$ y $e \geq 6\text{mm}$;

Dónde: L (Longitud), D (Diámetro) y e (Espesor).

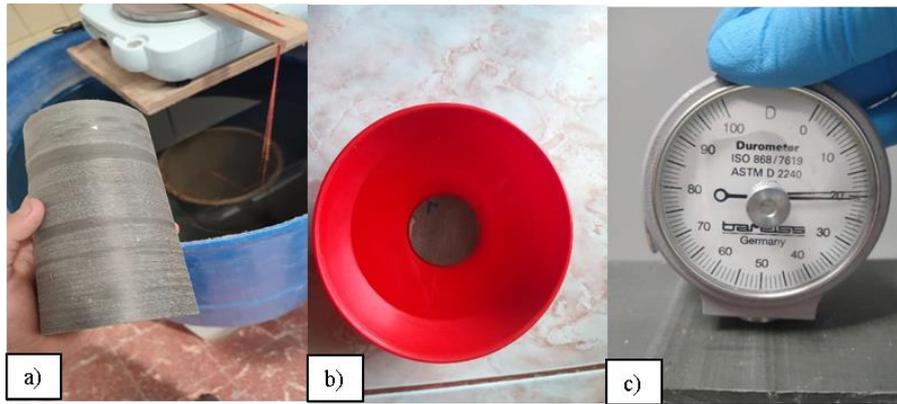


FIGURA 2

Ensayos para propiedades físicas

a (Ensayo de densidad – determinación gravimétrica), b (Ensayo de absorción – probeta sumergida en agua), c (Ensayo de dureza – Durómetro)

En la Figura 3, se muestra esquemáticamente el proceso para la determinación de las propiedades físicas y mecánicas de las dos muestras de madera plástica estudiadas, desde la obtención de estas, pasando por la elaboración de las probetas y finalizando con la aplicación del ensayo acorde con su normativa.

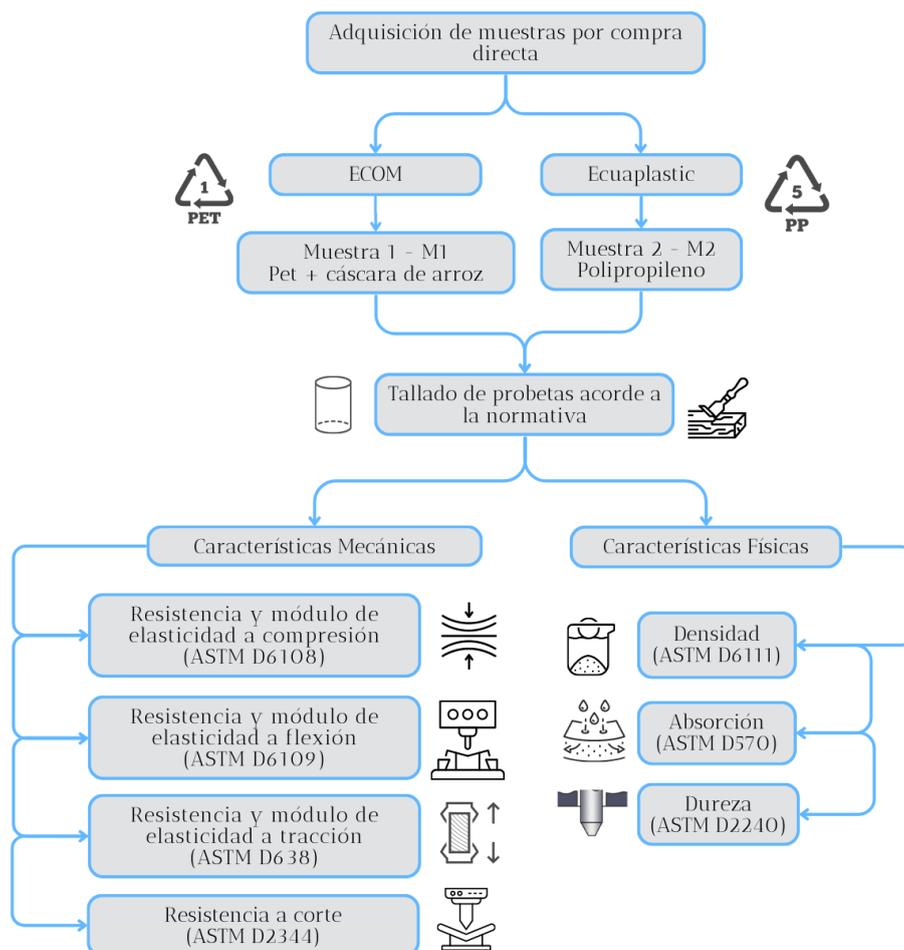


FIGURA 3

Metodología usada para la caracterización de la madera plástica

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En un diagrama radial (ver Figura 4) se ha considerado las principales características mecánicas de los materiales estudiados, que son: resistencia a compresión, flexión, tracción, corte y los módulos de elasticidad a compresión, flexión y tracción. Se aprecia gráficamente las diferencias entre los valores obtenidos.

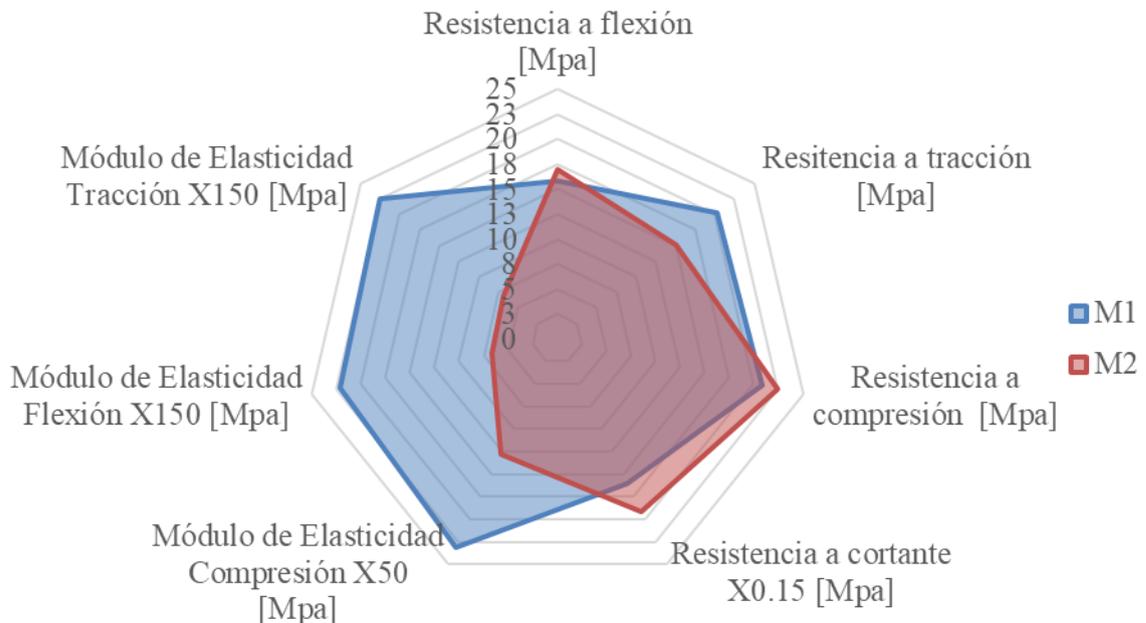


FIGURA 4

Diagrama radial de resistencias y módulos de elasticidad de materiales M1 y M2

Como se observa en la Figura 4, la diferencia de resistencias a compresión entre M1 (20,91 MPa) y M2 (22,43 MPa) es de 7,27 %. La resistencia a flexión de M2 (17,02 MPa) sobrepasa en 7,45% a M1 (15,84 MPa). Existe evidencia empírica que indica que, en el proceso de manufactura de la madera plástica, se pueden identificar un grado alto de variación en las propiedades mecánicas entre los diferentes lotes producidos del mismo material (dos Santos *et al.*, 2020). Los estudios realizados por (Chen *et al.*, 2013; Hugo, 2015) evidencian esta variabilidad en las pruebas de resistencia que supera la diferencia observada entre las muestras M1 y M2. En consecuencia, se puede inferir que no representan una diferencia considerable.

La resistencia a corte de M1 (2,41 MPa) y de M2 (2,88 MPa), difiere en 18,03% lo que representa 0,47 MPa. En cuanto a la resistencia a la tracción, los resultados difieren ya que el material M1 (20,22 MPa) se destaca con un 33,82% respecto a M2 (15,11 MPa). Estos resultados se asumen que se deben a las propiedades intrínsecas de la calidad del material reciclado, lo cual afecta a las resistencias finales de la madera plástica. En este caso en particular las mayores resistencias se presentan en el material M2 con resultados que no difieren mucho a los de M1. En cuanto a la resistencia a la tracción el material M1 destaca, esto se debe a la incorporación de fibras de cáscara de arroz en su composición (Dos Santos *et al.*, 2020; Suhot *et al.*, 2021).

El módulo de elasticidad a compresión presenta una diferencia entre el material M1 (1159,91 MPa) y el material M2 (750,63 MPa) de 54,52%. El módulo de elasticidad a flexión de M1 (3308,5 MPa) es 3,476 veces superior a M2 (951,69 MPa) y el módulo a tracción de M1 (3069,31 MPa) sobrepasa en 3,12 veces a M2 (983,01 MPa). Esto es debido a una mayor rigidez en el material M1, ya que presentó menores deformaciones que M2 durante los ensayos. Por otro lado, la incorporación de fibras de cáscara de arroz incrementa el módulo de elasticidad y reducen deformaciones (Dos Santos *et al.*, 2020; Suhot *et al.*, 2021). Además, debido al método de producción, la muestra M1 no contiene vacíos en su sección transversal (Figura 5a), a diferencia de la muestra M2 (Figura 5b). Por lo tanto, se puede inferir que la existencia de vacíos en la muestra M2 conduce a una mayor deformación, ya que los vacíos disminuyen la inercia de las probetas ensayadas. Como consecuencia de esto, se obtienen módulos de elasticidad más bajos.

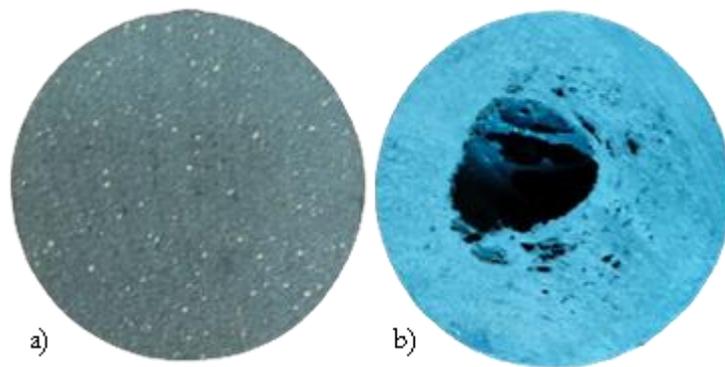


FIGURA 5

Sección transversal de muestras

a (Sección transversal de la muestra M1 sin presencia de vacíos) y b (Sección transversal de la muestra M2 con presencia de vacíos).

En la Figura 6 mediante un diagrama radial donde se considera las fundamentales características físicas como la densidad, absorción y dureza se muestra las diferencias que existe entre las dos muestras estudiadas.

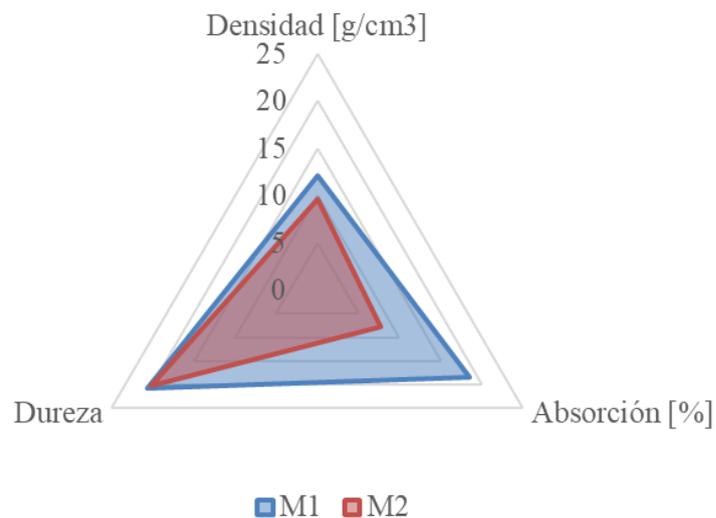


FIGURA 6

Diagrama radial de propiedades físicas de materiales M1 y M2

En el caso de la propiedad física “Densidad”, se tiene que material M1 (1,21g/cm³) es más denso que el material M2 (0,97g/cm³), debido a su matriz polimérica las cuales son PET y polipropileno respectivamente. El PET posee una densidad mayor al polipropileno (Callister y Rethwisch, 2016), lo cual repercute en la densidad del producto final como se puede ver según los resultados obtenidos en la investigación.

La absorción de agua es un parámetro importante dado su uso en la intemperie. Para el material M1 a las 24 horas se tiene una absorción de 1,85% en peso, comparados con los 0,77% del material M2 es una diferencia de 2,40 veces. Esto aumenta significativamente a largo plazo donde el material M1 llega a tener una absorción de 12,89% en comparación del 1,56% del material M2. Esto se debe a que M1 se encuentra elaborado con cáscara de arroz y la incorporación de componentes orgánicos en la mezcla aumenta la absorción de agua del material (Chen *et al.*, 2014).

Finalmente, se tienen valores de dureza de 72,20 y 71 en la escala Shore D para los materiales M1 y M2, respectivamente. La Figura 7 representa la dureza de ciertos materiales mediante una escala que usualmente se encuentra en las páginas de proveedores de plásticos. En esta se puede observar que los materiales estudiados son “Extraduros”.

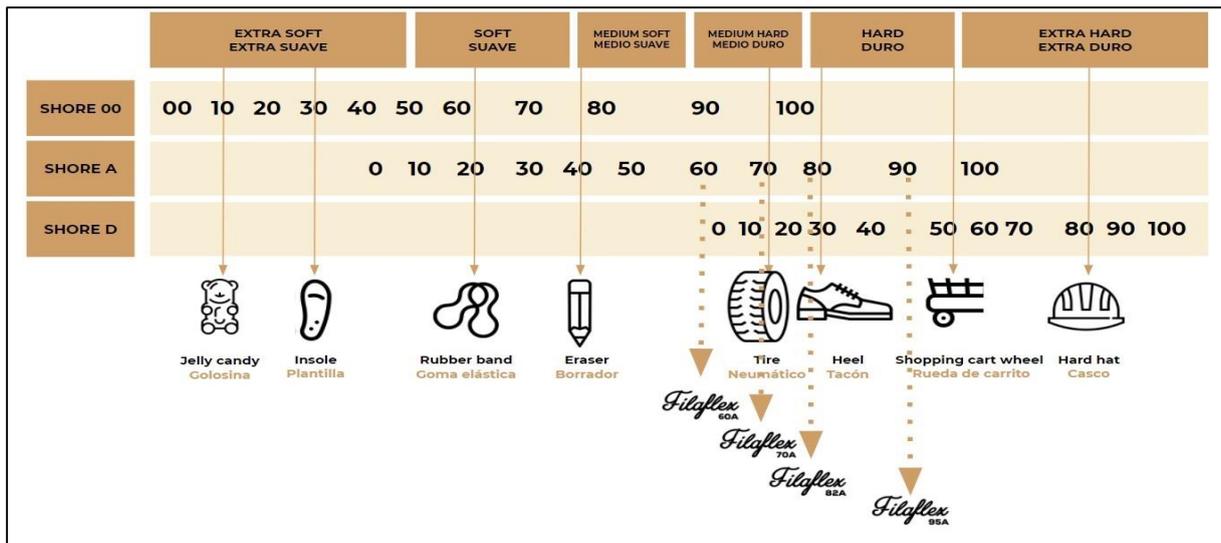


FIGURA 7

Escala de medición de la dureza Shore

Tomado de Hapco, s/f; Recreus, 2021.

En la Tabla 1 se muestran las características mecánicas de las 2 muestras estudiadas, una madera plástica comercial (Black Rhino) de polietileno de alta densidad (HDPE) más fibra de vidrio y 2 maderas plásticas provenientes de investigaciones. Debido a la diferencia en la composición de estas maderas plásticas, no es posible realizar una comparación directa, la finalidad de la tabla es mostrar el desempeño del material.

TABLA 1
Desempeño de diferentes tipos de maderas plásticas

Característica	M1	M2	HDPE + Fibra de vidrio	Polipropileno	Poliétileno + 60% Cáscara de Arroz
Resistencia a flexión [MPa]	15,84	17,02	18,93 ^[1]	38,30 ^[2]	21,70 ^[3]
Resistencia a tracción [MPa]	21,94	15,11	24,91 ^[1]	28,5 ^[2]	10,5 ^[3]
Resistencia a compresión [MPa]	20,91	22,43	19,61 ^[1]	-	-
Resistencia a cortante [MPa]	2,41	2,88	5,49 ^[1]	-	-
Módulo de Elast. Compresión [MPa]	1159,91	750,63	1100,23 ^[1]	-	-
Módulo de Elast. Flexión [MPa]	3308,50	951,69	2110,42 ^[1]	1190 ^[2]	2748,5 ^[3]

Fuente: [1] Black Rhino Recycling, s/f; [2] Cai, 2021; [3] Chen *et al.*, 2014

CONCLUSIONES

La producción de madera plástica en Ecuador es un excelente ejemplo de aplicación de la Economía Circular, que se basa en el ciclo de reutilización, reparación, remanufactura y reciclaje. Este material se produce a partir del reciclaje de botellas plásticas, fundas de snacks, costales y otros materiales, y debido a que está compuesto de polímeros, puede ser reciclado de nuevo después de su uso. La madera plástica cumple con varios principios de la Economía Circular, tal como se establece en la Ley Orgánica de Economía Circular Inclusiva, y se ajusta a la mayoría de las estrategias propuestas para los plásticos y materiales de construcción mencionados en el Libro Blanco de Economía Circular de Ecuador. Por lo tanto, es un material ideal para considerar dentro de una Economía Circular.

Se observa una diferencia apreciable en los módulos de elasticidad entre los materiales estudiados, siendo mayor para el material M1 a base de PET y menor para el material M2 a base de polipropileno. No obstante, esta diferencia no implica una menor resistencia, ya que los materiales son similares en este aspecto. En cambio, la diferencia indica que M1 es más rígido que M2, por tanto, en este último se tienen mayores deformaciones ante las mismas cargas.

En la evaluación de las propiedades mecánicas de los materiales M1 y M2, se ha determinado que los módulos de elasticidad a flexión, tracción y compresión del material M1 son superiores debido a su mayor rigidez y menor deformación en comparación con el material M2. Esta rigidez es resultado de la combinación de las propiedades de los componentes individuales del material M1. Por un lado, el PET presenta módulos más altos en comparación con el polipropileno y, por otro lado, la cáscara de arroz actúa como fibras de refuerzo, aumentando en menor proporción el valor del módulo.

Durante los ensayos, se observaron deformaciones significativamente mayores en el material M2 en comparación con el material M1. Esto se debe a las propiedades intrínsecas de su matriz polimérica a base de polipropileno, que presenta módulos de elasticidad más bajos que el PET

utilizado en el material M1. Además, la sección transversal del material M2 no se considera compacta debido a la presencia de vacíos causados por la incorporación de gases en su estructura, lo que disminuye su inercia y aumenta las deformaciones.

La versatilidad de la manufactura de la madera plástica permite producir elementos estructurales con distintas geometrías, aptos para la construcción civil gracias a que el material posee propiedades físicas y mecánicas suficientes. La madera plástica tiene un gran potencial en el diseño de elementos de carga axial, ya que posee un buen desempeño en compresión, flexión y tracción. Sin embargo, debido a las altas deformaciones que presenta, su uso se limita a construcciones de baja altura.

La utilización de madera plástica en la construcción presenta una ventaja significativa debido a que, al ser un material sintético, tiene una menor probabilidad de ser atacado por organismos xilófagos como termitas, carcomas y polillas de la madera, entre otros. A diferencia de la madera natural, que requiere de tratamientos especiales para prevenir infestaciones de plagas, en muchos casos utilizando sustancias tóxicas como el cromo y el arsénico.

Este estudio ha aportado información relevante sobre las propiedades físicas y mecánicas de la madera plástica fabricada por Ecom y Ecuaplastic en el país. Estos datos serán de gran utilidad para los diseñadores y proyectistas en el futuro, ya que les proporcionará los parámetros necesarios para utilizarla en programas de diseño estructural de manera adecuada y efectiva.

REFERENCIAS

- Albán, L. (2019) Elaboración de madera plástica a partir de polímeros post consumo. *Universidad Técnica del Norte*. <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/8868>
- Alcívar, I., y Arias, G. (2009) *Proyecto para la fabricación de un producto sustituto de la madera, con polietileno de alta densidad 100% reciclado*. <http://repositorio.ucsg.edu.ec/handle/3317/1576>
- ASTM D570 (2018) *Standard Test Method for Water Absorption of Plastics*. <https://www.astm.org/d0570-98r18.html>
- ASTM D638 (2014) *Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics*. <https://www.astm.org/d0638-14.html>
- ASTM D2240 (2021) *Standard Test Method for Rubber Property—Durometer Hardness*. <https://www.astm.org/d2240-15r21.html>
- ASTM D2344 (2016) *Standard Test Method for Short-Beam Strength of Polymer Matrix Composite Materials and Their Laminates*. https://www.astm.org/d2344_d2344m-22.html
- ASTM D6108 (2019) *Standard Test Method for Compressive Properties of Plastic Lumber and Shapes*. <https://www.astm.org/d6108-19.html>
- ASTM D6109 (2019) *Standard Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastic Lumber and Related Products*. <https://www.astm.org/d6109-19.html>
- ASTM D6111 (2019) *Standard Test Method for Bulk Density and Specific Gravity of Plastic Lumber and Shapes by Displacement*. <https://www.astm.org/d6111-19a.html>
- Bersoza, M. (2018) *Modelo de negocios para la distribuidora ecológica Arvol Disecoarvol Cia. Ltda para el periodo 2018 – 2021*. <https://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/30954/3/Trabajo%20de%20Titulaci%C3%B3n.pdf>

- Black Rhino Recycling (s/f) *Structural Grade Plastic Lumber*. Recuperado el 8 de marzo de 2023, de <https://www.blackrhinoproducts.com/>
- Cai, Z. (2021) *Mechanical Properties of Wood-Based Composite Materials Contents*.
- Callister, W., y Rethwisch, D. (2016) *Ciencia e Ingeniería de materiales* (Reverté). <https://www.reverte.com/media/reverte/files/book-attachment-2717.pdf>
- Chen, J., Wang, Y., Gu, C., Liu, J., Liu, Y., Li, M., y Lu, Y. (2013) Enhancement of the Mechanical Properties of Basalt Fiber-Wood-Plastic Composites via Maleic Anhydride Grafted High-Density Polyethylene (MAPE) Addition. *Materials*, 6(6), 2483–2496. <https://doi.org/10.3390/MA6062483>
- Chen, R. S., Ab Ghani, M. H., Ahmad, S., Salleh, M. N., y Tarawneh, M. A. (2014) Rice husk flour biocomposites based on recycled high-density polyethylene/polyethylene terephthalate blend: effect of high filler loading on physical, mechanical and thermal properties. *SAGE*, 49(10), 1241–1253. <https://doi.org/10.1177/0021998314533361>
- Dos Santos, F., Canto, L., da Silva, A., Visconte, L., y Vasques, E. (2020) Processing and properties of plastic lumber. *Thermosoftening plastics*.
- Eco Wiblock (s/f) Recuperado el 22 de marzo de 2023. <http://ecowiblock.com/>
- Ecowood Ecuador (s/f) Recuperado el 22 de marzo de 2023. <https://ecowoodecuador.com/>
- Ecuaplastic (s/f) Recuperado el 22 de marzo de 2023. <https://www.ecuaplastic.com/index.php/empresa/quienes-somos>
- García, J., Quito, J., y Perdomo, J. (2020) *Análisis de la huella de carbono en la construcción y su impacto sobre el ambiente*. <http://hdl.handle.net/20.500.12494/16031>
- Hapco (s/f) *Hardness Comparison Chart*. Recuperado el 3 de marzo de 2023. <https://hapcoincorporated.com/resources/hardness-comparison-chart/>
- Herrera, J. P., Bedoya-Ruiz, D., y Hurtado, J. E. (2018) Seismic behavior of recycled plastic lumber walls: An experimental and analytical research. *Engineering Structures*, 177, 566–578. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2018.10.006>
- Herrera, J. P., Bedoya-Ruiz, D., y Hurtado, J. E. (2023) Recycled Plastic Lumber walls for one and two-story housing: An assessment of their seismic performance. *Journal of Building Engineering*, 65, 105822. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2023.105822>
- Hugo, A.M. (2015) *Recycled Polymer Composites for Structural Applications* [The University Of Sheffield]. <https://etheses.whiterose.ac.uk/9520/1/Annie-May%20Hugo%20PHD%20Thesis%20Final.pdf>
- Iza, D. (2020) *Análisis de la composición y propiedades mecánicas de la madera plástica reciclada (WPC)*. <http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/6833>
- Klyosov, A. (2007) *Wood-Plastic Composites*. John Wiley & Sons, Inc.
- Madera Plástica Barahona (s/f) Recuperado el 22 de marzo de 2023. <https://www.maderaplasticabarahona.com/>
- Madera Verde Ecuador (s/f) Recuperado el 22 de marzo de 2023. <https://madera-verde-ecuador.negocio.site/>
- Ministerio de Producción y Comercio Exterior e Inversiones y Pesca (2021) *Libro Blanco de Economía Circular de Ecuador*. https://www.produccion.gob.ec/wp-content/uploads/2021/05/OT-44416_Libro-Blanco_paginas.pdf
- Portilla Jiménez, G. J. (2022) Análisis del Marco Normativo de Economía Circular en Ecuador Orientado al Sector de los Plásticos. *FIGEMPA: Investigación y Desarrollo*, 13(1), 38–47. <https://doi.org/10.29166/revfig.v13i1.3364>
- Recreus (2021, septiembre 1) *¿Qué es la “dureza Shore”?* <https://recreus.com/es/noticias/aprende-con-recreus/que-es-la-dureza-shore->
- Rincón, L., Rodríguez, E., y Espitia, A. (2016) Madera plástica un producto amigo del planeta. *Semilleros*, 3(5), 41–48.
- Salas, J. (2016) *De habitat II a Habitat III: construyendo con recursos escasos en Latinoamérica*. E.T.S. Arquitectura (UPM).

- Secretaría Nacional de Planificación (Ed.) (2021) *Plan de Creación de Oportunidades 2021-2025*. <https://observatorioplanificacion.cepal.org/es/planes/plan-de-creacion-de-oportunidades-2021-2025-de-ecuador>
- Suhot, M. A., Hassan, M. Z., Aziz, S. A., y Md Daud, M. Y. (2021) Recent Progress of Rice Husk Reinforced Polymer Composites: A Review. *Polymers*, 13(15), 2391. <https://doi.org/10.3390/POLYM13152391>
- Turku, I., Kärki, T., y Puurtinen, A. (2018) Durability of wood plastic composites manufactured from recycled plastic. *Helijon*, 4(3), e00559. <https://doi.org/10.1016/J.HELIYON.2018.E00559>