

Comportamiento mecánico a tracción del compuesto polietileno de alta densidad y polipropileno reciclado

Jackson Andrés Gil Hernández, Mabel Zahira Salcedo Rodríguez, Ana María Castañeda Losada

Universidad Surcolombiana, Colombia

Correo electrónico: jackson.gil@usco.edu.co



RESUMEN

La reutilización de residuos plásticos genera una oportunidad de aprovechamiento y descontaminación del medio ambiente, logrando materiales alternos que pueden obtener buenas características mecánicas en comparación a materiales convencionales. Se realizó el estudio del comportamiento a tracción de 15 probetas de material plástico compuesto de polipropileno y polietileno de alta densidad reciclado, para ser comparado con materiales plásticos de similares características y otros de uso industrial. Las probetas fueron ensayadas en la máquina Universal Shimadzu AGS-X con una velocidad de 0,5 mm/min, según la norma técnica internacional ASTM D 638 – 14 Método de prueba estándar para propiedades de tracción de plásticos-, donde se obtuvo una resistencia a la tracción que oscila entre 11,72 MPa y 13,82 MPa. Los resultados mostraron que el material tiene una alta resistencia, al comparar los resultados con otros materiales plásticos y de uso industrial.

ABSTRACT

The recycling of plastic waste generates an opportunity to take advantage of and decontaminate the environment, achieving alternative materials that can achieve good mechanical characteristics compared to conventional materials. A study of the tensile behavior of 15 test tubes made of recycled polypropylene and high-density polyethylene plastic material was carried out, to be compared with plastic materials with similar characteristics and others for industrial use. The specimens were tested on the Universal Shimadzu AGS-X machine with a speed of 0.5 mm/min, according to the international technical standard ASTM D 638 - 14 Standard test method for tensile properties of plastics-, where a resistance tensile ranging from 11.72 MPa to 13.82 MPa. The results showed that the material has a high resistance, when comparing the results with others plastic materials and of industrial use.

Palabras claves: Polietileno, polipropileno, resistencia a la tracción, reciclaje.

INTRODUCCIÓN

La incidencia del plástico en el desarrollo de la industria lo convierte en parte importante y fundamental para la economía mundial. Su utilidad y beneficio generan gran impacto en la sociedad de consumo, debido a que es un material económico, liviano, resistentes a la oxidación, inalterable a los agentes atmosféricos, versátil, aislante de la corriente eléctrica, y puede reemplazar fácilmente funciones de la madera, la piedra o el metal [1].

Este protagonismo contribuye a la producción de grandes cantidades de residuos que afectan al medio ambiente y al ser humano; por lo anterior, es fundamental realizar investigación en el desarrollo de nuevos materiales que posean excelentes características, y comportamiento mecánico de manera que igualen o superen a materiales comerciales de la industria, como la madera y sus derivados.

Uno de los aspectos importantes para definir la capacidad de los materiales, es la resistencia a la tracción, ya que define la capacidad para soportar cargas axiales e influye en las deformaciones ocasionadas bajo la acción de fuerzas externas que actúan sobre estos. Los materiales compuestos son el producto de la combinación de materiales simples con diferentes características, cuyas propiedades son mejores que las definidas de manera individual; las cuales, dependerán de la distribución y constitución de los materiales que lo conforman. Los compuestos pueden ser clasificados de acuerdo con el tipo de matriz; se tienen compuestos de matriz metálica, cerámica y compuestos de matriz polimérica [2].

El polipropileno y el polietileno de alta densidad son polímeros clasificados en el grupo de las poliolefinas, extraídos principalmente del petróleo, presentando buenas propiedades mecánicas; por su parte, el polipropileno se caracteriza por su flexibilidad, resistencia al impacto y peso ligero; mientras que el polietileno de alta densidad por su resistencia térmica y química [3].

Sommerhuber et al. [4] realizaron la comparación de las propiedades mecánicas y físicas de WPC (compuestos plástico – madera) postconsumo y virgen, evidenciando que se obtenían propiedades similares, sin embargo el compuesto plástico – madera postconsumo presentó valores más bajos de resistencia, lo cual atribuyen a las impurezas que naturalmente se encuentran presentes en estos materiales recuperados; la rigidez aumentó con el contenido de madera, la resistencia a la tracción disminuyó, la resistencia a la flexión aumentó al aumentar el contenido de madera, finalmente establecen como económica-

mente viable el uso de polietileno de alta densidad reciclado para compuestos plástico-madera.

Galvis [5] caracterizó el polipropileno reciclado a partir de tapas de envases, evaluando propiedades físicas, químicas y mecánicas de mezclas entre Polipropileno virgen y Polipropileno reciclado. Esto se realizó con el propósito de conocer la variación de características respecto al porcentaje de cada una de las mezclas, concluyendo que el polipropileno reciclado presentó disminución en sus propiedades de tracción de la siguiente manera: para el polipropileno virgen el módulo de elasticidad es mayor en un 14% que para el reciclado, y la resistencia a la tracción disminuyó en aproximadamente un 13% respecto al virgen, en cuanto a las demás propiedades, se encontró disminución en la densidad, y se presentaron buenas propiedades mecánicas en el polipropileno reciclado, siendo muy similares al polipropileno virgen.

Solís y Lisperguer [6], estudió las propiedades mecánicas del polietileno y polipropileno cuando se mezclan con la harina de madera de pino o de raulí, demostrando que la resistencia al impacto disminuye cuando se agrega la harina de madera con ambas especies. Por otra parte, la resistencia a la tracción aumenta respecto al polímero puro, cuando se agrega un 10% de harina de madera, mientras que disminuye cuando se adiciona un 20%.

En una investigación similar se caracterizó el polietileno de alta densidad reciclado, en combinación con madera de pino radiata y agente espumante, observando que la mezcla presentaba disminución de sus propiedades mecánicas con la adición del agente espumante, mientras que la adición de la fibra de madera mejoraba dichas propiedades, se definió que la proporción de 15% a 25% permitía incrementar los módulos de elasticidad en flexión y tracción [7].

De igual manera Adhikary et al. [8] realizó una revisión a la estabilidad dimensional de las propiedades mecánicas y la microestructura del compuesto de polietileno de alta densidad modificado con harina de madera, y un agente de acoplamiento de polipropileno. La investigación concluyó, que, a mayor contenido de harina de madera en el compuesto, mayor era la absorción que presentaba; sin embargo, se observó que el agente de acoplamiento mejoraba las características mecánicas del compuesto con el polietileno reciclado, variando muy poco respecto al compuesto con polietileno virgen. Por otra parte, se encontró que el polipropileno maleado reduce la ductilidad y elongación, por la mayor rigidez que proporciona a la mezcla.

En el año 2015 en Australia se realizó un estudio enfocado en la caracterización de residuos plásticos reciclados con proporciones de polietileno y polipropileno para conocer sus propiedades mecánicas como compresión, flexión, tracción y corte, evaluándolas en especímenes a pequeña y gran escala, además se realizó una comparación de los resultados experimentales con los análisis de modelo de fibra y de elementos finitos, llegando a la conclusión que estos residuos presentan características similares a las de la madera blanda estructural, presentado resistencia y rigidez aceptables para aplicaciones de construcción, el coeficiente de varianza fue menor al 10% tanto para la muestra pequeña como para la de gran escala, demostrando fiabilidad de las características del material, en cuanto a la comparación con los análisis se observó una desigualdad entre los resultados para la prueba de flexión después de la región lineal, con los resultados experimentales de las muestras pequeñas [9].

Kang et al [10] en el 2015 investigaron la adición del polipropileno en diferentes combinaciones con un polímero denominado poliácido láctico (PLA). Llegando a la conclusión de que la estabilidad térmica y la resistencia al impacto mejora debido a la incorporación del polipropileno al compuesto, por lo contrario, la resistencia a la tracción del compuesto disminuye al aumentar el contenido de polipropileno.

De acuerdo con Ciro et al. [11] la incorporación del polipropileno y el polietileno al caucho reciclado mejora el comportamiento en la mezcla; según los resultados obtenidos de los ensayos realizados de análisis termogravimétrico (TGA) fue necesario un mayor tiempo de calentamiento para descomponer la mezcla, debido a la incorporación del polietileno y polipropileno, para el ensayo de calorimetría diferencial de barrido (DSC) el caucho afectó a la estructura cristalina del polietileno y el polipropileno y redujo su temperatura de fusión, la resistencia a la tracción y el módulo de Young, en cuanto al alargamiento a la rotura, la incorporación del caucho ayudó a obtener mayor porcentaje, ya que este confiere mayor elasticidad y menos rigidez a las mezclas.

Por lo anteriormente mencionado, esta investigación pretende realizar la caracterización mecánica bajo cargas de tracción en probetas del compuesto de matriz polimérica (Polietileno y Polipropileno), con el fin de realizar una comparación con otros materiales plásticos y de la industria, de modo tal que se pueda estimar el potencial como alternativa innovadora a la problemática mundial de sobreproducción de residuos plásticos.

DESARROLLO

Materiales y metodología

Se utilizó un compuesto polimérico conformado aproximadamente un 77% de polipropileno, 18% polietileno de alta densidad y el restante en aditivos, suministrado por la empresa Madera Plástica de Colombia.

Se realizó el ensayo a tracción de 15 probetas con dimensiones requeridas en la norma técnica internacional ASTM D 638 -14 (Método de prueba estándar para propiedades de tracción de plásticos) [12] con el fin de conocer la resistencia a la tracción, módulo de elasticidad y fuerza de rotura; este ensayo se realizó en la Máquina Universal Shimadzu AGS-X en el laboratorio de Estructuras de la Universidad Surcolombiana.

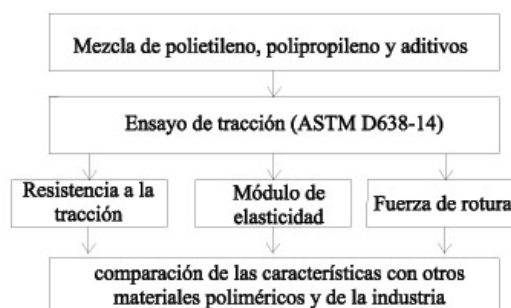


FIGURA 1. Metodología para la caracterización a tracción del compuesto polimérico

Finalmente, se realiza la comparación con los resultados de estudios previos a otros materiales poliméricos y de uso industrial. El procedimiento se llevó a cabo según lo presentado en la Figura 1.

Resultados y discusión

El ensayo de tracción busca determinar la resistencia en dirección paralela a la aplicación de la carga. Se realizó a una velocidad de 0.5 mm /min, de acuerdo con la ASTM D 638-14, se usaron 15 especímenes con dimensiones aproximadas de 15 mm de ancho, 25 mm de alto y 110 mm de largo, cortadas a partir de moldes de mayor dimensión extruidos en caliente.

En la Figura 2 (a) se observa la aplicación de la fuerza de tracción y la instrumentación que se llevó a cabo para la medición de carga-deformación aplicada sobre la muestra y en (b) la rotura de la probeta ensayada.

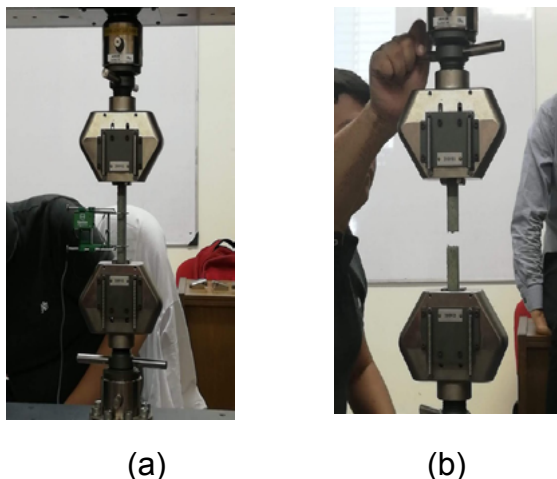


FIGURA 2. Resistencia a la tracción. (a) Aplicación fuerza de tracción; (b) Rotura.

En la Figura 3 se pueden ver muy bien definidas las tres regiones de variación, región elástica, plástica y de rotura, sin embargo, para las muestras 3, 4, 5, 6, 7, 12 se ve un proceder completamente lineal, mientras que las otras muestras tienden a tener una leve deformación no lineal, antes del punto de fluencia. Se obtuvo un promedio de resistencia a la tracción de 12,85 MPa, módulo de elasticidad de 558,21 MPa y fuerza de rotura de 4888,46 MPa.

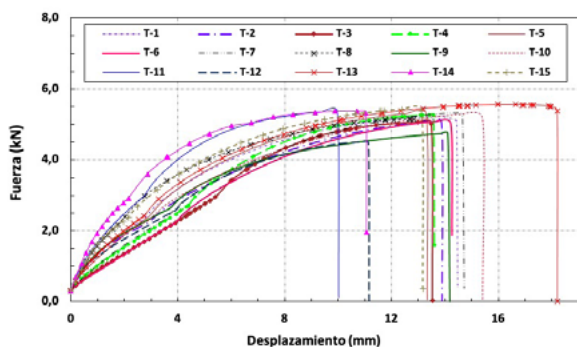


FIGURA 3. Fuerza - Desplazamiento ensayo de tracción

La Figura 4 muestra como varía la resistencia a la tracción en las diferentes muestras evaluadas. La Figura 5 y 6, representan los resultados obtenidos para módulo de elasticidad y fuerza de rotura.

En cuanto a la resistencia a la tracción de las muestras se evidenció una variación del 15% entre la muestra 12 de menor resistencia y la muestra 13 la cual alcanzó la mayor resistencia, se deduce que dicha variación se debe a la presencia de vacíos (poros) generados al momento de su producción, debido a la falta de control en la homogenización del volumen solidificado durante la etapa de enfriamiento en el proceso de extrusión del material.

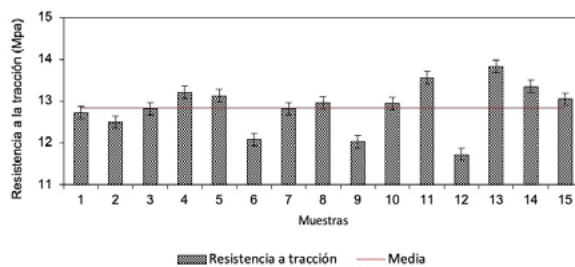


FIGURA 4. Resultados de resistencia a la tracción

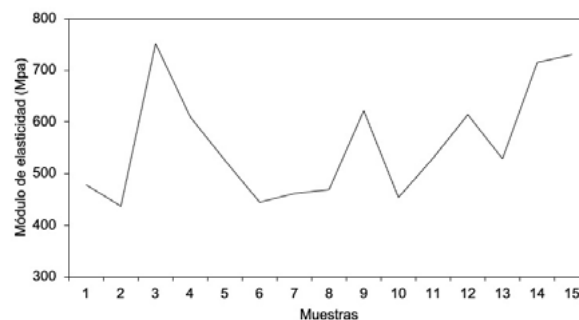


FIGURA 5. Resultados de módulo de elasticidad

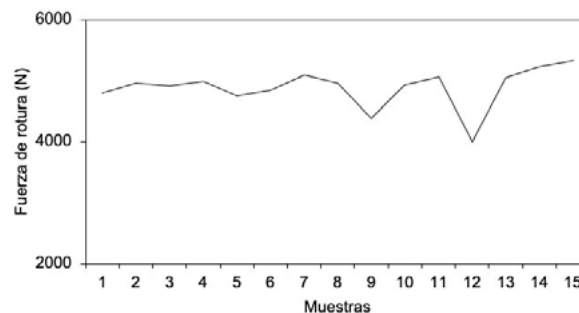


FIGURA 6. Fuerza de rotura

Comparación de la resistencia a tracción con otros materiales poliméricos

Luego de analizar diferentes estudios a polímeros en tracción, se observó que la velocidad de prueba tiene gran influencia en los valores esperados, recopilando información de resistencia a la tracción del polietileno de alta densidad, polipropileno 100% virgen y reciclado, se encontró que con velocidades entre 1 y 50 mm/min, la resistencia a la tracción varía entre 10 a 40 MPa para el polietileno de alta densidad y entre 12 a 40 MPa el polipropileno, generalmente a menores velocidades de prueba se tienen valores más bajos de resistencia a la tracción y modulo elástico.

La velocidad de prueba es un parámetro que puede variar dependiendo de las condiciones del material a ensayar, la ASTM D 638 – 14 define di-

ferentes velocidades clasificando los materiales como rígidos, semirrígido y no rígidos, igualmente considera diferentes tipos de especímenes de acuerdo con el espesor del material, por lo cual se presentarán estudios con velocidades distintas.

En la Tabla 2 se exponen los resultados de diferentes investigaciones teniendo en cuenta velocidades de prueba que varía entre 1 y 50 mm/min.

TABLA 2. Propiedades mecánicas a tracción del polietileno y el polipropileno

Material	Resistencia tracción (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	Velocidad (mm/min)	Referencia
HDPE virgen	28	916	50	[13]
	21,4	-	5	[8]
	10,88	778	2	[14]
HDPE reciclado	11	-	1	[6]
	17,4	584	50	[13]
	23	349,9	-	[7]
PP virgen	23,2	-	5	[7]
	38	1746	50	[5]
	24,1	500,25	50	[5]
PP reciclado	25	600	5	[15]
	12,1	-	1	[6]
	30,4	1474	50	[5]
PP reciclado	28	580	5	[15]

Se tomó como referencia el estudio de Solís y Lisperguer [6], quien obtuvo valores de resistencia a la tracción de 11 MPa y 12,1 MPa para polietileno de alta densidad y polipropileno respectivamente, a una velocidad de 1 mm/min, siendo la más cercana a la utilizada.

De esta manera, se puede ver en los resultados de resistencia a la tracción del compuesto evaluado, la tendencia a tener valores más cercanos al valor estimado por Solís para polipropileno, variando entre 11,72 MPa a 13,82 MPa.

Lo anterior, se puede presentar teniendo en cuenta que en el compuesto de estudio, el material dominante es el polipropileno, por lo cual es el que más representación tiene en cuanto a las propiedades mecánicas.

Comparación con otros materiales de la industria

Para llevar a cabo una mejor comparación de los resultados obtenidos del ensayo a tracción, se exponen los resultados de otras investigaciones hechas a materiales como la guadua y diferentes tipos de maderas en la industria; cabe mencionar que se toman los resultados con procedimiento similar al

realizado, es decir, a aquellos donde la carga aplicada se orienta a la resistencia en dirección paralela a las fibras.

TABLA 3. Resistencia a la tracción varios materiales

Material	Resistencia a la tracción (MPa)	Referencia
Pino radiata	3,38	[16]
Achapo	10	[17]
Algarrobo	14,5	
Guadua Amplexifolia	12,35	[18]
Material en estudio	12,85	Autores

En la Tabla 3, se muestra la resistencia a la tracción en MPa dado por diferentes investigadores para diferentes maderas comerciales en la industria y el material de estudio.

En la Figura 7, se puede detallar que el material de estudio compuesto de polietileno y polipropileno tiene un esfuerzo último promedio de 12,85 MPa, que supera en resistencia a materiales convencionales de la industria como la Guadua Amplexifolia (12,35 MPa), madera Achapo (10 MPa), y madera de Pino radiata (3,38 MPa). Sin embargo, para el tipo de madera Algarrobo, está la supera en un 11%; los rangos de diferencia indica un máximo de 74% y un mínimo de 3,89% respecto al valor evaluado. Es importante señalar que los resultados anteriormente señalados están sujetos a diferentes factores de operación y medida con los cuales se realizaron los ensayos correspondientes.

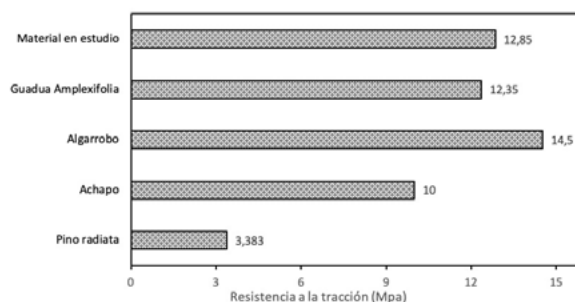


FIGURA 7. Resistencia a la tracción varios materiales

CONCLUSIONES

Se encontró una variación significativa en la resistencia a la tracción de las diferentes muestras ensayadas, lo cual se debe a la porosidad del material al no ser uniforme en todas las muestras, siendo afectada la de mayor porosidad. Se obtuvo un rango mínimo de resistencia a la tracción de 11,72 MPa y máximo de 13,82 MPa; respecto al módulo de elasticidad el rango se encuentra entre

437,19 MPa y 751,77 MPa y para la fuerza de rotura 3998,07 N y 5329,08 N. Los resultados indican un buen comportamiento del material ante fuerzas de tracción, debido a que es un compuesto polimérico y el material que controla la composición es el Polipropileno.

Considerando las comparaciones realizadas a otros materiales poliméricos y de la industria, el material de estudio tiene una resistencia a la tracción comparable y en la mayoría de los casos resistencias mayores, por lo que se infiere que es viable para ser considerado como material alternativo, para elementos que deban someterse a fuerzas de tracción altas.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen la colaboración al laboratorista Mauricio Castellanos por su apoyo en la realización de los ensayos necesarios; a la empresa Maderas Plásticas de Colombia por proporcionar el material requerido para llevar a cabo el proyecto.

REFERENCIAS

- [1] Valero-Valdivieso, M.F.; Ortegón, Y.; Uscategui, Y. (2013). Biopolímeros: Avances y Perspectivas. *Dyna rev.fac.nac.minas*, 80(181), 171-180.
- [2] Guerrero, V.; Pontón, P.; Tamayo, A.; Villacís, H.; Delgado, F.; Galeas, S. (2013). Materiales compuestos de matriz poliéster reforzados con fibras naturales y sintéticas. *Congreso de Ciencia y Tecnología*, 8 (1).
- [3] Lárez, C.; Millán, E. (2004). *Las propiedades mecánicas de los plásticos usados en Venezuela y su relación con la estructura química*. Universidad de los Andes. Mérida – Venezuela. Recuperado de http://www.saber.ula.ve/bitstream/handle/123456789/16734/propiedades_mecanicas.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- [4] Sommerhuber, P.F.; Welling, J.; Krause, A. (2015). Substitution potentials of recycled HDPE and wood particles from post-consumer packaging waste in Wood-Plastic Composites. *Waste Management*, 46, 76-85.
- [5] Galvis, N. (2014). Caracterización del polipropileno reciclado disponible a partir de tapas, para incorporarlo en procesos productivos, mezclado con polipropileno virgen (tesis de grado). Universidad EAFIT, Colombia, Medellín.
- [6] 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.
- [7] Moreno, P.; Rodríguez, D.; Giroux, Y.; Ballerini, A.; Gacitúa, W. (2013). Caracterización mecánica y morfológica de termoplásticos reciclados espumados reforzados con subproductos de madera. *Maderas. Ciencia y Tecnología*, 15 (1).
- [8] Adhikary, K.B.; Pang, S.; Staiger, M. (2008). Dimensional stability and mechanical behaviour of wood-plastic composites based on recycled and virgin high-density polyethylene (HDPE). *Composites Part B: Engineering*, 39 (5), 807-815.
- [9] Bajracharya, R.M.; Manalo, A.C.; Karunasena, W.; Lau, K. (2016). Characterisation of recycled mixed plastic solid wastes: Coupon and full-scale investigation. *Waste Management*, 48, 72-80.
- [10] Kang, H.; Lu, X.; Xu, Y. (2015). Properties of immiscible and ethylene-butyl acrylate-glycidyl methacrylate terpolymer compatibilized poly (lactic acid) and polypropylene blends. *Polymer Testing*, 43, 173-181.
- [11] Ciro, E.; Parra, J.; Zapata, M.; Murillo, E.A. (2015). Effect of the Recycled Rubber on the Properties of Recycled Rubber/Recycled Polypropylene Blends. *Ingeniería y Ciencia*, 11 (22), 173-188.
- [12] ASTM D 638-14 (2014). Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics, United States. ASTM INTERNATIONAL, 17 pp.
- [13] Carvajal, I. (2016). Caracterización de mezclas de polietileno virgen con reciclado (Tesis de grado). Universidad de Chile, Santiago de Chile, Chile.
- [14] Álvarez, V. (2014). Desempeño mecánico de materiales compuestos termoplásticos reforzados con fibras naturales para rotomoldeo (Tesis de grado). Universidad autónoma de occidente, Santiago de Cali, Colombia.
- [15] Lisperguer, J.; Bustos, X.; Saravia, Y.; Escobar, C.; Venegas, H. (2013). Efecto de las características de harina de madera en las propiedades físico-mecánicas y térmicas de polipropileno reciclado. *Maderas. Ciencia y tecnología*, 15(3).
- [16] Rodríguez, M.; Roberto, J. (2012). Comportamiento estructural de vigas ensambladas con elementos de madera. (tesis de maestría). *Universidad Nacional, Bogotá*, Colombia.
- [17] Gutiérrez de López, L. (2003). *El concreto y otros materiales para la construcción*. Universidad Nacional de Colombia. Manizales, 145-175.
- [18] Cordero, J.G.; Gichtters, A.J.; Téllez, M.J. (2009). *Capacidad resistente del bambú Guadua Amplexifolia, para propósitos constructivos* (tesis de grado). Universidad Autónoma de Nicaragua, Managua, Nicaragua.