

Factores que influyen las propiedades mecánicas, físicas y térmicas de materiales compuestos madero plásticos¹

Factors that influence the mechanical, physical and thermal properties of wood-plastic composite materials

Fatores que influenciam as propriedades mecânicas, físicas e térmicas de materiais compósitos madeira-plástico

D. F. López y A. F. Rojas

Recibido: diciembre 11 de 2017 - Aceptado: febrero 15 de 2018

Resumen — Este trabajo presenta una revisión general del aprovechamiento de residuos plásticos y lignocelulósicos para la producción de Materiales Compuestos Madero Plásticos (MCMP). Los compuestos madero plásticos, o como son conocidos mundialmente, Wood Plastic Composites (WPC), son propuestos como una solución a la creciente generación de residuos. En la obtención de estos materiales, se han evaluado diferentes mezclas de matrices poliméricas (plásticos) y refuerzos vegetales (residuos lignocelulósicos), empleando tres tipos de procesos, principalmente: extrusión, inyección y moldeo por compresión. Se encontró que los cambios en las propiedades mecánicas del producto final dependen del tipo de materia prima, tamaño de partícula y proporción de fibra empleado, así como la adición de agentes ligantes. Del mismo modo, se reportan variaciones en la capacidad de absorción de agua, densificación y estabilidad térmica del compuesto final al aumentar la cantidad de fibra en la mezcla.

Palabras clave—Residuos lignocelulósicos, residuos plásticos, compuestos madero plásticos.

Abstract—This paper presents a general review of the use of plastic and lignocellulosic waste in the production of Wood Plastic Composites (WPC). Wood-Plastic Composites are proposed as a solution to the growing generation of waste. Different mixtures of polymer matrices (plastics) and vegetable reinforcements (lignocellulosic residues) have been evaluated for the WPC production. The mixing of this type of raw material is mainly done using three types of technologies: extrusion, injection and compression molding. It was found that changes in the mechanical properties of the final product depend on the raw material type, the particle size and the fiber proportion used, as well as the addition of binding agents. In the same way, variations in the water absorption capacity, densification and thermal stability of the final compound are reported to increase the amount of fiber in the mixture.

Keywords—Lignocellulosic residues, plastic waste, wood plastic composites.

Resumo—Este artigo apresenta uma revisão geral do uso de resíduos plásticos e lenhocelulósicos para a produção de Compostos Madeira-Plástica (MCMP). A madeira plástica ou, como são conhecidos em todo o mundo Compostos plásticos de madeira (WPC), são propostos como uma solução para a geração crescente de resíduos. Na obtenção destes materiais, foram avaliadas diferentes misturas de matrizes poliméricas (plásticos) e reforços vegetais (resíduos lenhocelósicos), utilizando três tipos de processos, principalmente: extrusão, injeção e moldagem por compressão. Verificou-se que as mudanças nas propriedades mecânicas do produto final dependem do tipo de matéria-prima, tamanho de partícula e proporção da fibra utilizada, bem como a adição de agentes de ligação. Do mesmo modo, as variações na capacidade de absorção de água, densificação e estabilidade térmica do

¹Producto derivado del proyecto de investigación “Obtención de compuestos madero plásticos a partir de la mezcla de residuos lignocelulósicos y plástico pos consumo”, de la Universidad Nacional de Colombia sede Manizales a través del Grupo de Investigación en Aprovechamiento de Residuos – GIAR

D. F. López. Universidad Nacional de Colombia sede Manizales, Manizales, Colombia, email: dflopezrod@unal.edu.co

A. F. Rojas. Universidad Nacional de Colombia sede Manizales, Manizales, Colombia, email: afrojasgo@unal.edu.co

Como citar este artículo: López, D. F. y Rojas, A. F. Factores que influyen las propiedades mecánicas, físicas y térmicas de materiales compuestos madero plásticos, *Entre Ciencia e Ingeniería*, vol. 12, no. 23, pp. 93-102, enero - junio, 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.31908/19098367.3708>



composto final são relatadas aumentando a quantidade de fibra na mistura.

Palavras chave—Resíduos lenhocelulósicos, resíduos plásticos, compostos plásticos.

I. INTRODUCCIÓN

EL término material madero plástico (Wood Plastic Composite - WPC) hace referencia a cualquier compuesto que contenga fibras de madera y plásticos termoestables o termoplásticos [1]. También se puede definir como el producto fabricado a partir de la mezcla de uno o varios termoplásticos con uno o varios materiales a base de celulosa, mediante técnicas de procesamiento de plásticos sin que ocurra reacción química [2], [3]. Estos materiales presentan dos elementos principales: un refuerzo y una matriz. El primero de ellos es el elemento que otorga la resistencia al material, siendo cualquier fibra vegetal, mientras el segundo actúa como litigante y puede ser cualquier tipo de polímero. Cabe resaltar que las fibras de madera son consideradas como un importante refuerzo para los polímeros termoplásticos, debido a sus propiedades de baja densidad y alta resistencia [2].

A nivel mundial se generan cerca de 140 billones de Toneladas/año de residuos lignocelulósicos provenientes de actividades agrícolas [4], y 230 millones de Toneladas/año de residuos plásticos [5], cantidad relacionada con la producción de este tipo de materiales. En Colombia, se reporta una producción aproximada de 72 millones de Toneladas/año de biomasa residual [6]. El mayor aporte a esta cifra lo hacen cultivos tales como el plátano, banano, maíz y caña de azúcar. Por otro lado, los plásticos residuales comprenden un 13% de la generación total de residuos sólidos en el país (32,000 Toneladas/día), es decir, aproximadamente 4,160 Toneladas/día [7].

Los Materiales Compuestos Madero Plásticos (MCMP), se proponen como solución para aprovechar residuos sólidos de origen vegetal (material lignocelulósico) y sintético (plásticos). Se entiende como material lignocelulósico al principal componente encontrado en tejidos vegetales, el cual se compone de tres diferentes polímeros: celulosa, hemicelulosa y lignina [8]. Por su parte, un residuo plástico se define como el material recuperado por los usuarios finales tras haber cumplido con el uso para el cual se produjo [9]. Los Materiales Compuestos Madero Plásticos tienen diferentes tipos de composición, para lo cual se reporta: 30 - 70% en fibra, 30 - 55% en material polimérico y 0.15 - 15% en aditivos [10]. Las propiedades de este tipo de compuestos están determinadas por un gran número de factores, tales como tipos y cantidad de fibra, tamaño de partículas, tipo de polímero, aditivos, y el proceso de fabricación utilizado [10].

Los países con mayor producción de materiales compuestos madero plástico para el 2016, fueron: E.E.U.U con 1.1 millones de Toneladas/año, China con 900 mil Toneladas/año y Europa con 260 mil Toneladas/año [11]. El sector de los materiales compuestos es uno de los de mayor crecimiento anual, con cifras representativas para los E.E.U.U de 18% y el continente europeo, 14% [11]. El mayor

proveedor de este tipo de material en el mundo es la empresa norteamericana Trex, recuperando en promedio 182,000 Toneladas/año de residuos plásticos y maderos [12], [13]. Por su parte, Plastipol es la mayor productora de materiales madero plásticos en Colombia, con 1800 Toneladas/año de plástico procesado [14].

Los materiales compuestos madero plásticos se desarrollan con el fin de obtener un producto que combine los atributos de la fibra vegetal y las características de los plásticos, así como la obtención de nuevos materiales que permitan reducir el uso de elementos convencionales o plástico virgen [11]. Este tipo de material presenta ventajas significativas, respecto a materiales convencionales (ej. madera), como alta durabilidad, baja necesidad de mantenimiento, fuerza relativa, rigidez y ser amigable con el medio ambiente [15]. Al ser un material versátil y duradero, puede usarse en amplias y numerosas aplicaciones en los sectores productivos de la construcción y la decoración [16], [17]. Las proporciones en las cuales son utilizados este tipo de materiales según su aplicación, son: decoración de interiores y exteriores con un 67%, 24% para partes internas de autos, 6% en revestimientos, y en fabricación de muebles y aplicaciones varias 3% [18].

Esta revisión se realiza con el objetivo de recopilar y analizar información acerca de los Materiales Compuestos Madero Plásticos (MCMP), haciendo énfasis en la variación de sus propiedades mecánicas (flexión, tracción, impacto y compresión), físicas (densidad, dureza, absorción de agua y porcentaje de hinchamiento) y térmicas (punto de fusión, degradación térmica, temperatura y porcentaje de cristalización), mediante el efecto de factores como el tipo y la cantidad de refuerzo, el polímero utilizado, el tamaño de partícula (TP) y la presencia de agente acoplante (AA).

II. VARIACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS

Las propiedades mecánicas de un material se definen como la capacidad de resistir cargas o fuerzas externas aplicadas sobre este. En el caso de los materiales compuestos, estaría definido como la habilidad de resistir cargas externas a las cuales son sometidos cada uno de los elementos que componen cierto material [19]. A continuación, se presentan algunas propiedades mecánicas de dichos compuestos.

La resistencia a flexión es la propiedad de un material a ser doblado o curvado en su sentido longitudinal, sin romperse, al experimentar una carga transversal [20]. Se reportan cambios en esta propiedad mediante la incorporación de fibras de origen vegetal (refuerzo) a matrices poliméricas o plásticos, ya sean vírgenes o reciclados [15], [21], [22]. En la Tabla I se muestran los resultados de algunas investigaciones en donde se logró determinar cambios en la resistencia a la flexión para la mezcla de diferentes matrices y refuerzos. Asimismo, se reportan los resultados de trabajos en donde se utilizaron agentes ligantes (AA) para mejorar la interacción entre las fibras y los polímeros. Se debe tener en cuenta que las proporciones de material fibroso y agente ligante son en porcentaje en peso.

Según los valores presentados en la Tabla I y teniendo en cuenta factores como el porcentaje de fibra y el tamaño

de partícula (TP), se observó que el valor más alto de resistencia a la flexión reportado (65 MPa) corresponde a la mezcla de harina de madera de pino Californiano con polipropileno (PP) reciclado. La proporción en peso de fibra y TP utilizados en dicha mezcla fueron del 50% y 150 μm , respectivamente. Por otro lado, los cambios en la resistencia a la flexión se relacionan directamente con el tipo de material lignocelulósico utilizado, presentándose mejores resultados para los tallos de semilla oleaginosa (33 MPa) [1], [21]. De forma similar, los valores mostrados en la Tabla I se pueden analizar teniendo en cuenta el tipo de polímero empleado, de tal manera que al comparar el uso de material virgen o

reciclado, se puede concluir que los principales resultados corresponden a la mezcla de fibras como la hoja de palma de aceite y la pulpa celulósica con polímeros vírgenes como el PP y polietileno de alta densidad (PEAD). Para este tipo de polímeros, las proporciones en peso de material lignocelulósico usadas fueron de 10% y 40% para el PP y PEAD, respectivamente. Adicionalmente, esta propiedad se puede evaluar teniendo en cuenta la temperatura del medio en el cual se encuentra el material compuesto. Se han reportado grandes disminuciones en la resistencia a la flexión (59.3%, de 32.3 a 13.1 MPa) para un rango de temperatura entre 25 y 70°C [30].

TABLA I.
RESISTENCIA A LA FLEXIÓN EN MATERIALES COMPUESTOS MADERO PLÁSTICOS

Matriz	Refuerzo	R. Flexión MV ^e [MPa]	R. Flexión Bio ^f [MPa]	Contenido de Fibra (%)	Tamaño de Partícula (μm)	AA ^d (%)	Referencia
PEAD ^a virgen	Aserrín del duramen de cedro blanco		31				
	Aserrín de albura de cedro blanco	17.5	32	35	300 - 425	-	[21]
	Aserrín de Pino de Banks		40				
	Aserrín de Picea negra		40				
	Corte de corteza de Pino de Banks		27				
PP ^b virgen	Tallos de maíz		30		1010		
	Tallos de semilla oleaginosa	-	33	45	1310	2	[1]
	Tallo de caña		31		980		
PP ^b virgen	Pino de Scots en descomposición	-	28.6	30	150 - 450	3	[15]
Poliéster virgen	Bagazo de caña	27.3	26.4	5	500 - 1000	-	[23]
PEAD ^a virgen	Pulpa de celulosa		55.7				
	Madera de álamo		52				
	Madera de abedul	19.9	49.2	40	150 - 710	3	[22]
	Madera de abeto		46.9				
	Corteza de álamo		32.9				
	Corteza de abeto		33.7				
PP ^b reciclado		8.3	7.6				
PEAD ^a reciclado	Tetera	2.1	2.2	2	1000 - 3000	-	[24]
PP ^b + PEAD ^a reciclado		4.1	3.1	3			
PEAD ^a virgen	Borra de algodón		8.34				
	Tallos y rebadas residuales de desmotadora de algodón	15.12	11.82	50	250 - 850	-	[25]
	Bagazo de guayule		12.46				
	Planta de Guayule		11.69				
PVC ^c virgen	Cascarilla de arroz	49	57	60	45	-	[26]
PP ^b virgen	Hojas de palma de aceite	-	50	10	-	-	[27]
			40	-	425		
PP ^b reciclado	Harina de madera de pino de California	58	65	50	150	1	[17]
PP ^b virgen	Harina de cedro	31	45	20	-	1.6	[28]
PEAD ^a virgen	Fibras de madera de maple	-	54.8	50	75 - 150	2	[29]

^a Polietileno de Alta Densidad, ^b Polipropileno, ^c Policloruro de Vinilo, ^d Agente Acoplante, ^e Resistencia a la Flexión en Matriz Virgen, ^f Resistencia a la Flexión en Materiales Compuestos Madero Plásticos.

TABLA II
MÓDULO DE FLEXIÓN EN MATERIALES COMPUESTOS MADERO PLÁSTICOS

Matriz	Refuerzo	M. Flexión MV ^c [GPa]	M. Flexión Bio ^f [GPa]	Contenido de Fibra (%)	Tamaño de Partícula (µm)	AA ^d (%)	Referencia
PEAD ^a virgen	Aserrín del duramen de cedro blanco		1.7				
	Aserrín de albura de cedro blanco		1.68				
	Aserrín de Pino de Banks	0.9	2.3	35	300 - 425	-	[21]
	Aserrín de Picea negra		2.2				
	Corte de corteza de Pino de Banks		1.5				
PP ^b virgen	Tallos de maíz		3.5		1010		
	Tallos de semilla oleaginosa	1.13	3.6	45	1310	2	[1]
	Tallo de caña		3.2		980		
PP ^b virgen	Pino de Scots en descomposición	2.9	3.35	50	150 - 450	3	[15]
Poliéster virgen	Bagazo de caña	4.39	4.57	10	500 - 1000	-	[23]
PEAD ^a virgen	Pulpa de celulosa		2.64				
	Madera de álamo		2.55				
	Madera de abedul	0.56	2.31	40	150 - 710	3	[22]
	Madera de abeto		2.45				
	Corteza de álamo		1.38				
	Corteza de abeto		1.42				
PVC ^c virgen	Cascarilla de arroz	2.2	2.8	60	45	-	[26]
PP ^b reciclado	Harina de madera de pino de California	2.5	5.2	60	250	-	[17]

^a Polietileno de Alta Densidad, ^b Polipropileno, ^c Policloruro de Vinilo, ^d Agente Acoplante, ^e Módulo de Flexión en Matriz Virgen, ^f Módulo de Flexión en Materiales Compuestos Madero Plásticos.

El módulo de flexión o módulo de elasticidad en ensayos de flexión, mide la resistencia de un material al ser sometido a fuerzas que incidan en su deformación o curvatura [31]. La Tabla II muestra una recopilación de datos en donde se reportan variaciones de esta propiedad para materiales compuestos elaborados a base de matrices poliméricas y refuerzos de origen vegetal, en presencia o ausencia de AA.

Según los resultados presentados en la Tabla II, el mayor valor reportado para el módulo de flexión corresponde a la mezcla de PP reciclado y harina de madera de pino californiano. Para dicha mezcla se utilizó una proporción en peso de 60% de material fibroso y un TP de 0.25 mm, en presencia de AA. Analizando la composición de un material compuesto y comparándolo con polímeros puros o reciclados, se puede decir que la incorporación de fibra en la matriz polimérica incrementa la rigidez de este compuesto, reflejándose en el aumento del módulo de flexión [17]. Similarmente, se reporta que al agregarse una mayor cantidad de fibra a la matriz polimérica se obtienen mejores resultados en el módulo de flexión, siendo la proporción de material lignocelulósico un factor directamente proporcional a esta propiedad [29], [32], [33]. Por otro lado, esta propiedad puede disminuir en gran medida (40%, de 2.48 a 1.49 GPa) utilizando un rango de temperatura entre 25 y 70°C [30].

Otra de las propiedades mecánicas estudiadas para materiales compuestos es la resistencia a la tracción, en la

cual el material es sometido a esfuerzos de tensión con el fin de determinar su resistencia a la rotura [20]. La Tabla III muestra el resultado de esta propiedad para diferentes proporciones empleadas en mezclas de fibras vegetales y polímeros, con presencia o ausencia de AA.

Teniendo en cuenta los datos reportados en la Tabla III, se puede decir que el mayor valor reportado para la resistencia a la tracción corresponde a la mezcla de policloruro de vinil (PVC) con cascarilla de arroz. La proporción en peso de fibra y el TP utilizados en dicha mezcla fueron del 60% y 45 µm, respectivamente. Se genera una reducción de esta propiedad con el aumento en la proporción de fibra, del mismo modo que se presentan ligeras mejoras con la adición de AA [17], [34], [35]. Comparando los valores reportados utilizando como matriz PP, se puede concluir que la mezcla con harina de cedro estudiada por [28], fue la que presentó mejores resultados. Adicionalmente, se indica una disminución significativa en la resistencia a la tracción (63.1%, 24.2 a 8.9 MPa) de un material compuesto a base de PVC y madera, con el aumento de la temperatura ambiente en un rango entre 25 y 70°C [30].

TABLA III.
RESISTENCIA A LA TRACCIÓN EN MATERIALES COMPUESTOS MADERO PLÁSTICOS

Matriz	Refuerzo	R. Tracción MV ^e [MPa]	R. Tracción Bio ^f [MPa]	Contenido de Fibra (%)	Tamaño de Partícula (µm)	AA ^d (%)	Referencia
PEAD ^a virgen	Aserrín del duramen de cedro blanco		24.5				
	Aserrín de albura de cedro blanco		24				
	Aserrín de Pino de Banks	17	29	35	300 - 425	-	[21]
	Aserrín de Picea negra		30				
	Corte de corteza de Pino de Banks		22				
PP ^b virgen	Pino de Scots en descomposición	-	17.9	30	150 - 450	3	[15]
PP ^b virgen	Serrín de Hueso de Aceituna	-	Aumenta	40	-	5	[34]
PEAD ^a virgen	Pulpa de celulosa		42.9				
	Madera de álamo		38.9				
	Madera de abedul	21.6	32	40	150 - 710	3	[22]
	Madera de abeto		31.8				
	Corteza de álamo		22.5				
	Corteza de abeto		23				
PVC ^c virgen	Cascarilla de arroz	32	44.7	60	45	-	[26]
PP ^b virgen	Hojas de palma de aceite	-	13	-	75	-	[27]
PP ^b reciclado	Harina de madera de pino de California	27.5	22	50	149	1	[17]
PP ^b virgen	Harina de cedro	27	32.5	20	-	1.6	[28]

^a Polietileno de Alta Densidad, ^b Polipropileno, ^c Policloruro de Vinilo, ^d Agente Acoplante, ^e Resistencia a la Tracción en Matriz Virgen, ^f Resistencia a la Tracción en Materiales Compuestos Madero Plásticos.

TABLA IV.
MÓDULO DE TRACCIÓN EN MATERIALES COMPUESTOS MADERO PLÁSTICOS

Matriz	Refuerzo	M. Tracción MV ^e [GPa]	M. Tracción Bio ^f [GPa]	Contenido de Fibra (%)	Tamaño de Partícula (µm)	AA ^d (%)	Referencia
PEAD ^a virgen	Aserrín del duramen de cedro blanco		1.6				
	Aserrín de albura de cedro blanco		1.45				
	Aserrín de Pino de Banks	0.87	1.9	35	300 - 425	-	[21]
	Aserrín de Picea negra		2				
	Corte de Corteza de Pino de Banks		1.65				
PP ^b virgen	Tallos de maíz		2.3		1010		
	Tallos de semilla oleaginosa	1.25	2.54	45	1310	2	[1]
	Tallo de caña		2.35		980		
	Corteza de abeto		1.2				
PVC ^c virgen	Cascarilla de arroz	1.65	2.44	60	45	-	[26]
PP ^b virgen	Pino de Scots en descomposición	2.6	2.91	50	150 - 450	3	[15]
PP ^b virgen	Hojas de palma de aceite	-	0.024 , 0.021	-	75	-	[27]
PP ^b reciclado	Harina de madera de pino de California	0.45	1.55	50	250	1	[17]

^a Polietileno de Alta Densidad, ^b Polipropileno, ^c Policloruro de Vinilo, ^d Agente Acoplante, ^e Módulo de Tracción en Matriz Virgen, ^f Módulo de Tracción en Materiales Compuestos Madero Plásticos.

El módulo de tracción o módulo de elasticidad en ensayos de tracción, es la medida de la resistencia de un material al ser sometido a esfuerzos de tensión que incidan en su deformación [31]. En la Tabla IV se presentan los resultados obtenidos para el módulo de tracción en diferentes materiales compuestos madero plásticos, en presencia o no de AA. Adicionalmente, téngase en cuenta que las proporciones de material lignocelulósico o fibroso se encuentran en porcentaje en peso.

Según los resultados presentados en esta tabla, el mayor valor reportado para el módulo de tracción concierne a la mezcla de PP y los tallos de semilla oleaginosa, utilizando una proporción en peso de fibra del 60%. Asimismo, se puede comparar el comportamiento de los valores presentados en la Tabla IV con los de la Tabla II (Módulo de flexión), concluyendo que las dos propiedades presentan el mismo comportamiento, es decir que, a mayor proporción de fibra presente en la mezcla, mejores resultados se obtendrán para estas propiedades [32], [33], [35]. Analizando el PEAD, se logró determinar que la mezcla con residuos madereros (Proporción en peso de fibra del 45% y TP de 710 μm), reportada por [21], presentó los mayores valores de este módulo. Otro de los factores utilizados para evaluar esta propiedad es la temperatura del medio en el cual se encuentra el material compuesto. Con base a esto, se reporta una disminución significativa en el módulo de tracción (64.9%, 3.65 a 1.28 GPa) utilizando un rango de temperaturas entre 25 y 70°C [30].

La resistencia al impacto es la propiedad mediante la cual se mide la tenacidad de un material. Dicha propiedad se determina mediante ensayos de impacto y se define como la capacidad de absorción de energía en la zona plástica de un material, antes de alcanzar la fractura súbita [36]. Al igual que otras propiedades mecánicas como la resistencia y módulos de flexión y tracción, la resistencia al impacto se ha evaluado para diferentes mezclas utilizadas en la obtención de compuestos madero plásticos. Teniendo en cuenta lo anterior, la mezcla de PP y tallos de semillas oleaginosas presenta un valor de resistencia al impacto (24 J/m) superior, al compararse con la mezcla de esta matriz con otro tipo de fibras como los tallos de maíz y caña de azúcar [1]. Esta propiedad presenta variaciones negativas con la inserción de altos contenidos de fibra en la matriz polimérica, mostrando requerimientos bajos en consumo de energía para romper el material compuesto obtenido [27]. Por el contrario, la presencia de AA en la mezcla Matriz:Refuerzo, incrementa notablemente la resistencia al impacto [17]. Además, esta propiedad aumenta al mezclar varios polímeros con material lignocelulósico (Teleftalato de polietileno - PET + Fibra + PEAD), indicando que la incorporación de polipropileno (PP) y PEAD en la mezcla incrementa la energía de fractura, reduce la fragilidad, facilita la procesabilidad en el mezclado, reduce la cantidad de humos emitidos y mejora la capacidad de moldeo del material compuesto madero plástico [37].

La resistencia a la compresión es otra de las propiedades mecánicas útiles para caracterizar un material compuesto. Esta permite tener un conocimiento de la carga axial que un material puede soportar en un pequeño segmento del

mismo [20]. Dicha propiedad se ha evaluado para diferentes mezclas de polímeros y fibras vegetales, reportándose buenos resultados para la mezcla de resina de fenol y urea formaldehído (344.60 y 395.693 MPa, respectivamente) con hojas maduras de palma de aceite [38]. Este resultado se debe a una alta concentración de haces vasculares fibrosos presentes en las hojas maduras, especialmente en la parte inferior de estas, generando un mayor valor de resistencia a la compresión, en comparación con partes distintas u hojas en otros estados de madurez. Conforme a lo anterior se puede decir que los haces vasculares se concentran conforme el grado de madurez de la hoja [38]. Contrastando con lo anterior, se reportan mejoras en la resistencia a la compresión (141.5 MPa) en la mezcla de fibras de guadua (10% en peso), previamente tratadas utilizando hidróxido de sodio al 10%, con poliéster insaturado ortoftálico [39]. De igual forma, esta propiedad se puede evaluar teniendo en cuenta la temperatura del medio. La resistencia a la compresión en un material compuesto disminuye significativamente (61.3%, 42.8 a 16.6 MPa) con el aumento de la temperatura del medio en un rango entre 25 y 70°C [30].

III. VARIACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS

Propiedades como la densidad, la dureza, la capacidad de absorción de agua y el porcentaje de hinchamiento, son utilizadas en la caracterización física de los materiales compuestos. Las propiedades físicas se relacionan con las características de un material según el ordenamiento molecular que presente. Por su parte, las propiedades químicas tienen relación con los procesos que modifican químicamente un material. A continuación, se presentan algunas propiedades físicas de los materiales compuestos.

Una de las propiedades físicas de mayor relevancia es la densidad, la cual se define como la cantidad de masa por unidad de volumen. Para el caso de los materiales compuestos, la densidad se relaciona directamente con las propiedades mecánicas del mismo, puesto que cuanto más denso, dicho material se hace mucho más fuerte y duro [20]. La densidad aumenta con la incorporación de fibra vegetal y la disminución de su TP. Se reportan valores altos en esta propiedad para la mezcla de resina epoxi bisfenol con paja de trigo en una proporción en peso de fibra del 60% y un TP de 0.25 mm (Densidad: 0.87 gr/cm^3) [2]. Asimismo [33], indican que el mayor valor de densidad obtenido (1,01 gr/cm^3) corresponde a la incorporación, en peso, de 25% de aserrín de madera y 5% de AA, a una mezcla de polímeros (PEAD: 82.3% y PP: 17.7%). El aumento en la cantidad de fibra incide en la densificación del material compuesto, así como la incorporación de AA permite una mejor adhesión interfacial entre la matriz polimérica y el refuerzo fibroso. Con los parámetros anteriores se evita el desarrollo de espacios vacíos y microfracturas internas, mejorando la densidad del producto final [33]. De manera similar, dependiendo del tipo de material lignocelulósico y la matriz polimérica utilizada, así como la gravedad específica de la interacción entre estos y la proporción de materiales, se obtiene un material compuesto más o menos poroso y con cierto número de vacíos de aire internos [40]. Considerando lo anterior, el

producto generado tendrá una estructura con un grado de compactación determinado. Adicionalmente, se menciona que las propiedades mecánicas de los compuestos madero plásticos mejoran con la variación positiva de la densidad [41], lográndose determinar una relación directamente proporcional con el módulo de elasticidad para la resistencia a la flexión estática, así como con el módulo de rotura para resistencia a la compresión de un material compuesto a base de hojas de palma de aceite y resina formaldehído [42].

La dureza es una característica de los materiales que depende de la cohesión de las fibras y de su estructura, y se define como la dificultad que opone un material a ser penetrado por otros cuerpos [43]. Se reporta que esta propiedad se encuentra directamente relacionada con la densidad de un material [41]. La dureza aumenta con la disminución en el TP, obteniéndose valores de 3555 N para la mezcla epoxi bisfenil con paja de trigo, en una proporción en peso del 30% de fibra y un TP de 0.25 mm [2]. Igualmente, la dureza es una condición de la superficie del material, fuertemente dependiente del porcentaje de fibra presente en el compuesto [33], [37]. Se reportan valores altos de dureza para la mezcla de aserrín de madera (15%) con un plástico combinado (PEAD: 82.3% y PP: 17.7%), en ausencia de AA. [44] coinciden con lo anterior, al indicar que al incrementar la incorporación de carga fibrosa a la matriz polimérica, se presentan aumentos significativos en la dureza de un material compuesto. Dicho material corresponde a la mezcla de polietileno de baja densidad (PEBD) y madera de palma en una proporción en peso del 70% de fibra.

Otra de las propiedades de interés para caracterizar físicamente un material compuesto, es la absorción de agua. Se reportan porcentaje bajos de absorción de agua (72.03%) para el material compuesto formado por resina de urea formaldehído y hojas de palma de aceite en una proporción en peso del 14 y 86%, respectivamente [41]. Según este estudio, los porcentajes de absorción de agua disminuyen con el aumento de la proporción de resina. Del mismo modo, se indica que la absorción de agua genera cambios en la forma del producto, así como pérdida de fuerza o resistencia en el mismo [41]. Contrario a esto, se obtiene una mayor absorción de agua en un material compuesto, aumentando el TP y la proporción en peso de la fibra empleada [27]. A diferencia del TP y la proporción de fibra, la adición de AA mejora la adhesión interfacial entre el material fibroso y la matriz polimérica, sin alterar la absorción de agua del producto final [17]. Otro factor a analizar es el tipo de fibra, la cual al ser pretratada mediante una esterificación con benzoato de vinilo, disminuye la absorción de agua del material compuesto madero plástico. El pretratamiento utilizado disminuye el número de grupos OH de la fibra, generando una reducción en la higroscopicidad de la superficie de la misma y la estabilización dimensional del material compuesto [45]. Adicionalmente, se reporta que al existir una menor cantidad de sitios disponibles para la asociación de agua, se genera un aumento en la unión entre la matriz polimérica y el material fibroso [45]. Dicha unión interfacial puede verse afectada por la inmersión del material compuesto durante varios días, permitiendo la penetración

intensa de agua y el hinchamiento de este [46]. También, esta propiedad se ve afectada al pretratar térmicamente los materiales lignocelulósicos. El tratamiento hidrotérmico genera cambios en la estructura química y morfología celular del material fibroso, reduciendo los enlaces de hidrógeno entre las moléculas de agua y los grupos hidroxilos de las fibras vegetales, generando una disminución en la capacidad absorbente del material compuesto [15], [47].

IV. VARIACIÓN DE LAS PROPIEDADES TÉRMICAS

El comportamiento de un material y los cambios generados en sus propiedades físicas, ópticas y mecánicas por variación de la temperatura, están relacionados con las propiedades térmicas del mismo [48]. Entre las propiedades térmicas con las cuales se puede caracterizar un material se encuentran el punto de fusión, la degradación térmica, la temperatura y porcentaje de cristalización. El punto de fusión se define como la temperatura a la cual un material cambia de estado sólido a líquido [49]. Esta propiedad se encuentra relacionada con el peso molecular de los polímeros, por lo cual no se presenta una reducción significativa de este durante el reciclado de plásticos. Como resultado, se reportan ligeros cambios en el punto de fusión de un material compuesto (164.1°C), comparándolo con un PP virgen (166.8°C), para una relación en peso de 40:60 entre harina de madera y PP reciclado [17]. Evaluando esta propiedad para cada elemento de la mezcla, se han encontrado temperaturas de fusión de 260.5°C y 153.3°C para la fibra y el PP, respectivamente. En el caso del producto final, existe un aumento en esta temperatura respecto al PP (alrededor 160°C para la mezcla de fibra y PP) [28]. Otros estudios mencionan que el punto de fusión de un compuesto madero plástico se mantiene sustancialmente constante en presencia de material fibroso [50].

La degradación térmica de un material se encuentra directamente relacionada con la estabilidad térmica del mismo. Analizando los materiales compuestos, se reportan ligeras mejoras en esta propiedad al incrementar la proporción de fibra utilizada (proporción en peso del 60%) y el adicionar un AA, para su obtención [17]. Evaluando la degradación térmica de matrices y refuerzos, se encontró que la fibra vegetal se degrada a 275°C y los polímeros como el PP, a 405.1°C. En el caso de los compuestos madero plásticos, la degradación está alrededor de los 297°C en presencia de bajas cantidades o en ausencia de AA [28].

Otra de las propiedades térmicas a evaluar en un material compuesto es la temperatura de cristalización. Respecto a este parámetro, se ha encontrado que el aumento en el contenido de celulosa para la mezcla Matriz:Refuerzo, genera un desplazamiento de la temperatura de cristalización a mayores valores [50]. Existen diferentes relaciones entre la cristalinidad de un material y ciertas propiedades mecánicas. La cristalinidad de un compuesto madero plástico es directamente proporcional a su rigidez e inversamente proporcional a su elasticidad y dureza. A su vez, la temperatura de cristalización de este aumenta con el contenido de fibra, reportándose valores de 118.6°C para una relación Matriz:Refuerzo en peso de 70:30. Adicionalmente,

se puede analizar la importancia de otros factores en la obtención de materiales compuestos, como la presencia de AA y el TP, encontrándose que son parámetros de alto y bajo grado de incidencia en la temperatura de cristalización, respectivamente [29]. De igual manera, la temperatura de cristalización de un material compuesto aumenta respecto a la matriz polimérica en presencia de materiales lignocelulósicos, haciendo que el volumen libre de moléculas de los plásticos se reduzca. El resultado de dicha interacción hace que este se cristalice a una temperatura mayor [17].

V. ANÁLISIS GLOBAL DE LA CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS MADERO PLÁSTICOS

En la producción de Materiales Compuestos Madero Plásticos, los cambios más relevantes se presentan para las propiedades mecánicas y físicas. Las variaciones en dichas propiedades están directamente relacionadas con el tipo de fibra, la proporción de esta en la relación Matriz: Refuerzo, y el TP del material lignocelulósico. En el caso de la flexión y tracción en un material compuesto, se reportan relaciones con la cantidad de material fibroso incorporado a la matriz polimérica, siendo los módulos de flexión y tracción directamente proporcionales a este parámetro. Contrario a esto, la resistencia a la tracción varía de manera inversa con la cantidad de fibra empleada, mientras la resistencia a la flexión depende del tipo de fibra utilizado [17], [28], [50]. Igualmente, Existen propiedades mecánicas que varían proporcionalmente con las características físicas compuesto madero plástico. Principalmente, se han reportado relaciones directas entre la dureza y la densidad del producto final, obteniéndose un material más fuerte, duro y estructuralmente más compacto al presentarse aumentos en la densidad [40].

Las propiedades de un material compuesto se pueden evaluar según el origen del polímero empleado. Considerando lo anterior, al contrastar las características de un material compuesto a base de plástico virgen y otro de reciclado, se reportan mejores resultados para las mezclas que utilizan polímeros virgen, esto para propiedades de flexión y tracción [51]. En el caso de la dureza de un material compuesto, se reportan mayores valores para la mezcla de fibra con plástico reciclado. Lo anterior se explica teniendo en cuenta la reducción de la viscosidad intrínseca del polímero una vez transcurrido su proceso de reciclado [37].

La caracterización de materiales compuestos se realiza con el fin de encontrar o proponerles un uso. Por consiguiente, las propiedades evaluadas se deben comparar con la normatividad existente. Principalmente, se plantea sustituir materiales convencionales por compuestos madero plásticos, con base en los parámetros establecidos por las normas que rigen el uso de materias primas tradicionales empleadas en áreas como la construcción y adecuación de espacios. Para el caso particular del uso de madera en Colombia, se debe seguir lo establecido en la Norma Técnica Colombiana (NTC) 2500, la cual presenta los valores de esfuerzos admisibles. Teniendo en cuenta lo anterior, se puede decir que una mezcla de resina epoxi bisfenol y fibra de paja de trigo [2], cumple con los requisitos de flexión (20.59 MPa) establecidos en [52], al presentar valores por encima del

estipulado. Siendo así, este compuesto podría reemplazar la madera convencional utilizada en construcción, basándose únicamente en esta propiedad. Analizando una mezcla de polietileno de baja densidad y fibra de corteza de pino californiano [35], se puede indicar que el material compuesto obtenido cumple con los requisitos de tracción (14.22 MPa) exigidos por [52]. Considerando lo antes mencionado, este material podría sustituir la madera convencional utilizada en construcción, únicamente al tener en cuenta la tracción.

VI. CONCLUSIONES

La producción de materiales compuestos, a partir de residuos plásticos y lignocelulósicos, se puede implementar como solución para dar un manejo adecuado de estos. Los factores que generan mayor variación en las propiedades mecánicas, físicas y térmicas de los Materiales Compuestos Madero Plásticos son el tipo de residuo lignocelulósico, el tamaño de partícula y la proporción de mezcla utilizada. Esta última es directamente proporcional a la capacidad de absorción de agua, la temperatura de cristalización y los módulos de tracción y flexión. Por su parte, el tamaño de partícula y el tipo de fibra producen cambios en la resistencia a la tracción y flexión de un material compuesto, así como en su densidad, generando una relación directa con el tipo de material vegetal y una relación inversa con la dimensión de este. De otro lado, la incorporación de agente ligante generó cambios de alta incidencia en la temperatura de cristalización, y en menor grado en parámetros como la degradación térmica, la resistencia a la tracción y flexión.

REFERENCIAS

- [1] Nourbakhsh, A., Ashori, A. "Wood plastic composites from agro-waste materials: Analysis", *Bioresource Technology*, vol. 101, no. 7, pp. 2525-2528, Apr. 2010
- [2] García, A., Amado, M., Campbell, H.E., Brito, B., Toscano, L. "Madera plástica con paja de trigo y matriz polimérica", *Tecnología en Marcha*, vol. 26, no. 3, pp. 26-38, Feb. 2013.
- [3] Sommerhuber, P.F., Wenker, J.L., Rüter, S., Krause, A. "Life cycle assessment of wood-plastic composites: Analysing alternative materials and identifying an environmental sound end-of-life option", *Resources, Conservation and Recycling*, vol. 117, pp. 235-248, Feb. 2017.
- [4] Abba, H.A., Nur, I.Z., Salit, S.M. "Review of Agro Waste Plastic Composites Production", *Journal of Minerals and Materials Characterization and Engineering*, vol. 1, no. 5, pp. 271-279, Sep. 2013.
- [5] Berto, F., Rampazzo, C., Gion, S., Noventa, F., Ronchi, U., Traldi, G., Giorgi, A. M., Cicero, Giovanardi, O. "Preliminary study to characterize plastic polymers using elemental analyser/isotope ratio mass spectrometry (EA/IRMS)", *Chemosphere*, vol. 176, pp. 47-56, June 2017.
- [6] Ministerio de Minas y Energía, "Atlas del Potencial Energético de la Biomasa Residual en Colombia". Disponible: http://www1.upme.gov.co/sites/default/files/article/1768/files/Atlas%20de%20Biomasa%20Residual%20Colombia_.pdf. Consultado en Mayo de 2016.
- [7] Rijkswaterstaat Ministry of Infrastructure and the Environment. "Colombia: Sustainable waste management policies and sustainable waste practises". Disponible: <http://rwsenvironment.eu/subjects/from-waste-resources/projects/colombia-sustainable/>. Consultado el 24 de Marzo de 2017.
- [8] Cortés, W. "Tratamientos aplicables a materiales Lignocelulósicos para la obtención de Etanol y productos químicos", *Revista de Tecnología*, vol. 3, no. 1, pp. 33-44, Feb. 2014.

- [9] *Disposición de desechos plásticos Post-consumo. Requisitos*, Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2634:2012, Jul. 2012.
- [10] Catto, A., Montagna, L., Almeida, S., Silveira, R., Santana, R. “Wood plastic composites weathering: Effects of compatibilization on biodegradation in soil and fungal decay”, *International Biodeterioration y Biodegradatton*, vol. 109, pp. 11-22, Apr. 2016.
- [11] Teuber, L., Osburg, V., Toporowski, W., Militz, H., Krause, A. “Wood polymer composites and their contribution to cascading utilisation”, *Journal of Cleaner Production*, vol. 110, pp. 9-15, Jan. 2016.
- [12] Klyosov, A. *Wood-Plastic Composites*, New Jersey. Jhon Wiley y Sons, 2007.
- [13] Trex, “Eco-Friendly Decking, Why Trex”. Disponible: <http://www.trex.com/why-trex/eco-friendly-decking/>. Consultado el 24 de Marzo de 2017.
- [14] Plastipol, “Plastipolsa”. Disponible: www.plastipolsa.com/sitio/. Consultado en Marzo de 2016.
- [15] Ayırlimis, N., Kaymakci, A., Güleç, T. “Potential use of decayed wood in production of wood plastic”, *Industrial Crops and Products*, vol. 74, pp. 279-284, Nov. 2015.
- [16] Daza, C.A., Ceballos, E. “Plan de negocios para la fabricación de madera sintética” (Tesis de Pregrado), Universidad EAN, Bogotá, Jul. 2012.
- [17] Lisperguer, J., Bustos, X. Saravia, Y., Escobar, C., Venegas, H. “Effects of the characteristics of Wood flour on the physico-mechanical and thermal properties of recycled polypropylene”, *Maderas, Ciencia y Tecnología*, vol. 15, no. 3, pp. 321-336, Jul. 2013.
- [18] Carus, M., Eder, A., Dammer, L., Korte, H., Scholz, L., Essel, R., Breitmayer, E., Barth, M. “Wood-Plastic Composites (WPC) and Natural Fibre Composites (NFC): European and Global markets 2012 and future trends in automotive and construction”. Disponible: <http://bio-based.eu/markets/>. Consultado en Febrero de 2017.
- [19] Mora, L., Álvarez, E., Hernández, J.F. “Determination of mechanical properties of fibers of Bambusa Vulgaris to use in bamboo mat board”, *Revista Ingeniería de Construcción*, vol. 24, no. 2, pp. 153-166, Jun. 2009.
- [20] Perez, M. “Elaboración de matrices de polímeros reciclados reforzados con fibras de la estopa de coco y determinación de sus propiedades físicas y mecánicas” (Tesis de Pregrado), Universidad de San Carlos, San Carlos, Jul. 2008.
- [21] Bouafif, H., Koubaa, A., Perré, P., Cloutier, A. “Effects of fibre characteristics on the physical and mechanical properties of wood plastic composites”, *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, vol. 40, no. 12, pp. 1975-1981, Dec. 2009.
- [22] Migneault, S., Koubaa, A., Perre, P., Riedl, B. “Effects of wood fiber surface chemistry on strength of wood-plastic composites”, *Applied Surface Science*, vol. 343, pp. 11-18, Jul. 2015.
- [23] Naguib, H., Kandil, U., Hashem, A., Boghdadi, Y. “Effect of fiber loading on the mechanical and physical properties of “green” bagasse-polyester composite”, *Journal of Radiation Research and Applied Sciences*, vol. 8, no. 4, pp. 544-548, Oct. 2015.
- [24] Córdoba, C., Mera, J., Martínez, D., Rodríguez, J. “Aprovechamiento de polipropileno y polietileno de alta densidad reciclados, reforzados con fibra vegetal, tetera (*Stromanthe Stromathoides*)”, *Revista Iberoamericana de Polímeros*, vol. 11, no. 7, pp. 417-427, Dic. 2010.
- [25] Bajwa, S., Bajwa, D., Holt, G., Coffelt, T., Nakayama, F. “Properties of thermoplastic composites with cotton and guayule biomass”, *Industrial Crops and Products*, vol. 33, no. 3, pp. 747-755, May 2011.
- [26] Petchwattana, N., Covavisaruch, S. “Effects of Rice Hull Particle Size and Content on the Mechanical Properties”, *Journal of Bionic Engineering*, vol. 10, no. 1, pp. 110-117, Jan. 2013.
- [27] Jasmi, N.F., Kasim, J., Ansar, M.S., Maidin, I.I. “The role of oil palm (*Elaeis guineensis*) frond as filler in polypropylene matrix with relation of filler loading and particle size effects”, en *REGSTSS 2014*, primera edición, Yacob, N.A., Mohamed, M., Megat, M.A.K. Singapur: Springer, 2016, pp. 393-404.
- [28] Caicedo, C., Vásquez, A., Crespo, L., de la Cruz, H., Ossa, O. “Material compuesto de matriz polipropileno (PP) y fibra de cedro: influencia del compatibilizante PP-g-MA”, *Informador Técnico*, vol. 79, no. 2, pp. 118-126, Nov. 2015.
- [29] Gallagher, L., McDonald, A. “The effect of micron sized wood fibers in wood plastic composites”, *Maderas. Ciencia y Tecnología*, vol. 15, no. 3, pp. 357-374, Ago. 2013.
- [30] Pulngern, T., Chitsamran, T., Chucheeesakul, S., Rosarpitak, V., Patcharaphun, S., Sombatsompop, N. “Effect of temperature on mechanical properties and creep responses for wood/PVC composites”, *Construction and Building Materials*, vol. 111, pp. 191-198, May 2016.
- [31] Díaz, P.P. “Evaluación de propiedades físicas y mecánicas de madera de *Nothofagus glauca* (Hualo) proveniente de la zona de Cauqueses” (Tesis de Pregrado), Universidad de Talca, Talca. 2005.
- [32] Valles, D.J., Rodríguez, L.A., Méndez, L.C., Valle, A., Alodan, H. “Analysis of the mechanical properties of Wood-plastic composites base don agricultura chili pepper waste”, *Maderas, Ciencia y Tecnología*, vol. 18, no. 1, pp. 43-54, 2016.
- [33] Moreno, P., Rodríguez, D., Giroux, Y., Ballerini, A., Gacitua, W. “Caracterización mecánica y morfológica de termoplásticos reciclados espumados reforzados con subproductos de madera”, *Maderas, Ciencia y Tecnología*, vol. 15, no. 1, pp. 3-16, May. 2013.
- [34] Naghmouchi, I., Boufi, S., Delgado, M., Granda, L., Vilaseca, F. “Fabricación de madera plástica a partir de hueso de aceituna y polipropileno”, presentando en *13er Congreso Internacional en Ciencias y Tecnología de Metalurgia y Materiales*, Iguazú, Argentina, 2013.
- [35] Moya, C., Poblete, H., Valenzuela, L. “Propiedades físicas y mecánicas de compuestos de polietileno reciclado y harinas de corteza y madera de *Pinus radiata* fabricados mediante moldeo por inyección”, *Maderas, Ciencia y Tecnología*, vol. 14, no. 1, pp. 13-29, 2012.
- [36] Monroy, M., Díaz, A., Acevedo, H.F. “Instrumentación del equipo de laboratorio de resistencia de materiales para ensayos dinámicos a flexión de probetas ranuradas”, *Scientia et Technica*, vol. 1, no. 41, pp. 352-355, May. 2009.
- [37] García, A., Amado, M., Casados, M., Brito, R. “Madera plástica con PET de post consumo y paja de trigo”, *Ciencia y Tecnología*, vol. 13, pp. 25-40, Oct. 2013.
- [38] Rasat, M.S., Wahab, R., Sulaiman, O., Moktar, J., Mohamed, A., Tabet, T.A., Khalid, I. “Properties of composite boards from oil palm frond agricultural waste”, *BioResources*, vol. 6, no. 4, pp. 4389-4403, Sep. 2011.
- [39] Cuéllar, A., Muñoz, I. “Fibra de guadua como refuerzo de matrices poliméricas”, *Dyna*, vol. 77, no. 162, pp. 137-142, Jun. 2010.
- [40] Binhussain, M.A., El-Tonsy, M.M. “Palm leave and plastic waste wood composite for out-door structures”, *Construction and Building Materials*, vol. 47, pp. 1431-1435, Oct. 2013.
- [41] Wahab, R., Samsi, H., Mustafa, M., Mat Razat, M.S., Yusof, M. “Physical, mechanical and morphological studies on Bio-composite mixture of oil palm frond and Kenaf Bast Fibers”, *Journal of Plant Sciences*, vol. 11, no. 1-3, pp. 22-30, Apr. 2016.
- [42] Rasat, M., Wahab, R., Najihah, A., Nor, M., Ramle, S., Yusoff, M., Nawawi, S. “Compressed oil palm fronds composite: A preliminary study on mechanical properties”, *International Journal of Sciences*, vol. 2, pp. 31-41, Mar. 2013.
- [43] Santos, E., Yenque, J., Rojas, O., Rosales, V. “Acercas del ensayo de dureza”, *Industrial Data*, vol. 2, no. 4, pp. 73-80, 2001.
- [44] AlMaadeed, M.A., Nógellová, Z., Mičušík, M., Novák, I., Krupa, I. “Mechanical, sorption and adhesive properties of composites based on low density polyethylene filled with date palm wood powder”, *Materials and Design*, vol. 53, pp. 29-37, Jan. 2014.
- [45] Wei, L., McDonald, A.G., Freitag, C., Morrell, J.J. “Effects of wood fiber esterification on properties, weatherability and biodegradability of wood plastic composites”, *Polymer Degradation and Stability*, vol. 98, no. 7, pp. 1348-1361, Jan. 2013.
- [46] Turku, I., Keskiisaari, A., Kärki, T., Puurtinen, A., Marttila, P. “Characterization of wood plastic composites manufactured from recycled plastic blends”, *Composites Structures*, vol. 161, pp. 469-476, Feb. 2017.
- [47] Hosseinihashemi, S.K., Arwinfar, F., Najafi, A., Nemli, G., Ayırlimis, N. “Long-term water absorption behavior of thermoplastic

composites produced with thermally treated wood”, *Measurement*, vol. 86, pp. 202-208, May 2016.

- [48] Mano, J.F. “Propiedades térmicas de los polímeros en la enseñanza de la ciencia de materiales e ingeniería - Estudios DSC sobre poli (tereftalato de etileno)”, *Journal of Materials Education*, vol. 25, no. 4-6, pp. 155-170, 2003.
- [49] Oliver, A., Neila, F.J., García-Santos, A. “Clasificación y selección de materiales de cambio de fase según sus características para su aplicación en sistemas de almacenamiento de energía térmica”, *Materiales de Construcción*, vol. 62, no. 305, pp. 131-140, Ene. 2012.
- [50] Correa, C., Fonseca, C., Neves, S., Razzino, C., Hage, E. “Comositos termoplásticos com madeira”, *Polímeros: Ciencia e Tecnologia*, vol. 13, no. 3, pp. 154-165, May 2003.
- [51] Kazemi, S. “Use of recycled plastics in wood plastic composites – A review”, *Waste Management*, vol. 33, no. 9, pp. 1898-1905, Sep. 2013.
- [52] *Ingeniería Civil y Arquitectura: Uso de la Madera en la Construcción*, Norma Técnica Colombiana (NTC) 2500, Abril 1997.

Diego Fernando López Rodríguez. Nació en Cali el 20 de Julio de 1992. Ingeniero Ambiental de la Universidad Nacional de Colombia (UNAL) en el año 2015. Ejerció como Ingeniero del Sistema de Gestión Ambiental de la UNAL sede Palmira en el segundo semestre del año 2015. Actualmente es estudiante becario de la maestría en Ingeniería Química en la UNAL sede Manizales, y se encuentra vinculado al Grupo de Investigación en Aprovechamiento de Residuos – GIAR.

Andrés Felipe Rojas González. Ingeniero Químico, Universidad Nacional de Colombia, Manizales; magíster en Ingeniería Química, Universidad del Valle; doctor en Ingeniería, énfasis Ingeniería Química, Universidad del Valle; actualmente se desempeña como Profesor Asociado en Dedicación Exclusiva en el área de térmicas en la Universidad Nacional de Colombia, Manizales, Colombia, y hace parte del Grupo de Investigación en Aprovechamiento de Residuos de la Universidad Nacional sede Manizales, y del Grupo de Investigación en Prospectiva Ambiental de la Universidad Nacional de la Sede Palmira; director del Grupo de Investigación en Aprovechamiento de Residuos -GIAR-, donde realiza estudios sobre Valorización de Residuos. Director del Laboratorio de Aprovechamiento de Residuos.