

MODIFICACIÓN QUÍMICA DEL ASERRÍN DE MADERA PARA MEJORAR LA INTERFAZ EN MATERIALES COMPUESTOS CON MATRIZ TERMOPLÁSTICA/TERMOFIJA

René Salgado-Delgado^{1*}, Fernando D. Ramirez-Navarrete¹, Marco V. Felix-Lerma², Areli M. Salgado-Delgado¹, Alfredo Olarte-Paredes¹, Efraín Rubio-Rosas³

1) Tecnológico nacional de México/Instituto Tecnológico de Zacatepec. Calzada Tecnológico No. 27, Zacatepec Morelos México, CP. 62980. E-mail: rene.sd@zacatepec.tecnm.mx.

2) Instituto Tecnológico Mario Molina, Campus Mascota. Carretera Ameca-Macota Km 100 S/N, Chan Rey C.P. 46900. Mascota Jalisco México. marco.felix@mascota.tecmm.edu.mx

3) Centro Universitario de Vinculación y Transferencia de Tecnología BUAP, Prolongación de la 24 Sur y Av. San Claudio Ciudad Universitaria, Col, Jardines de San Manuel, 72000 Puebla, Pue. México. efrainrubio@yahoo.com

RESUMEN

En el presente trabajo se estudió el efecto del tratamiento superficial en las propiedades de los compuestos de aserrín/matriz (PEBD:termoplástico-RESINA POLIESTER:termofijo). El aserrín se sometió a un tratamiento alcalino para modificar la superficie de la fibra. Para la obtención de materiales compuestos se emplearon tres concentraciones y dos tamaños de carga (aserrín). El aserrín modificado, sin modificar y los materiales compuestos obtenidos se caracterizarán FTIR, SEM y pruebas mecánicas de tensión. Las probetas empleadas en el análisis mecánico se obtuvieron de acuerdo con la norma ASTM D-1708, mediante el proceso de inyección de moldeo (matriz termoplástica) y vaciado (matriz termofija). Se demuestra que el tratamiento alcalino no mejora las propiedades mecánicas del material compuesto (en el empleo de ambas matrices) sugiriendo así emplear fibra natural a concentraciones bajas de aserrín (10%) y tamaño de malla 40 que son las condiciones de mejor respuesta al esfuerzo mecánico de tensión.

Palabras Clave: Resina poliéster, Polietileno, fibra natural, material reforzado.

ABSTRACT

In the present work, the effect of surface treatment on the properties of the sawdust / matrix compounds (thermoplastic-thermoset) was studied. The sawdust was subjected to an alkaline treatment to modify the surface of the fiber. To obtain composite materials, 3 concentrations and 2 filler sizes (sawdust) were used. The modified and unmodified sawdust and the composite materials obtained will be characterized by FTIR, SEM and mechanical stress tests. The specimens used in the mechanical analysis were obtained in accordance with the ASTM D-1708 standard, through the injection molding process (thermoplastic matrix) and casting (thermoset matrix). It is shown that the alkaline treatment does not improve the mechanical properties of the composite material (in the use of both matrices), thus suggesting the use of natural fiber at low concentrations of sawdust (10%) and 40 mesh size, which are the conditions of best response to stress mechanical tension.

Keywords: Polyester resin, Polyethylene, natural fiber, composites

INTRODUCCION

Los materiales compuestos basados en fibras naturales y de madera conforman uno de los mercados que está creciendo con más rapidez en la industria y se espera que alcance elevados porcentajes de crecimiento anuales hasta el 2010, según la empresa estadounidense de consulta en marketing "Principia Partners". Los materiales compuestos reforzados con fibras naturales son fabricados combinando la madera u otras fibras naturales tales como lino, cáñamo, yute, bambú, kenaf, bagazo de caña de azúcar, o cascarilla de arroz con los polímeros termoplásticos incluyendo polietileno (PE), polipropileno (PP) o cloruro de polivinilo (PVC) como los más utilizados, en ocasiones también se utilizan polímeros termofijos. Según el estudio realizado por la empresa *Principia Partners*, se espera que la demanda crezca en Europa occidental en un orden del 18%

anual hasta el año 2010 [1–4]. Los materiales compuestos en los que se utilizan fibras naturales están siendo estudiados por muchos investigadores en todo el mundo, las ventajas que presentan las fibras naturales, como lo son su bajo precio, su resistencia a la tensión, baja densidad, disponibilidad y el hecho de que son renovables, representan una excelente oportunidad para usarlas como refuerzo de materiales termoplásticos y fabricar con estos, paneles, muebles, duela, etc. en sustitución de la madera, y así poder disminuir la deforestación. La industria de la madera tiene la característica de generar grandes volúmenes de residuos durante el proceso de explotación y elaboración de la misma, esto ocurre antes de la madera ser introducida en el proceso propiamente dicho hasta la obtención del producto final [5–8]. Hablar de residuo es relativo. Surge del mundo de la economía, del valor que se le asigna, de las posibilidades de utilización conforme a los conocimientos científicos y técnicos del momento. Lo que hoy es llamado residuo mañana puede ser materia prima, si adquiere un valor en el mercado. A partir de esta visión el aprovechamiento de los residuos forestales en los procesos industriales, de servicios, así como en la esfera residencial, es una necesidad social en aras de disminuir el consumo de combustibles fósiles, y su utilización puede constituir una solución no solo a los problemas medioambientales que la incorrecta disposición de ellos ha provocado a través de los años, sino que a su vez le aporta mayor valor agregado a la madera en la industria forestal (Ortiz, 2004). En la actualidad la utilización de los subproductos forestales tiene un alto grado de desaprovechamiento. El aserrín, virutas, despuntes, entre otros, se almacenan en grandes cerros o se quema en calderas, sin poseer un mayor valor agregado o alcanzar una eficiencia energética mayor [6–12]. La contaminación ambiental que provocan estos residuos tanto forestales como plásticos son muy visibles en nuestros días, estos últimos aun más preocupantes, ya que no son biodegradables, por lo que permanecen mucho tiempo a la intemperie causando daños al medio ambiente y a la salud humana. Los materiales plásticos, utilizados en todas las áreas de consumo, son, posiblemente, los que con mayor amplitud se transforman en productos manufacturados destinados a pequeños períodos de uso (ejemplo: embalaje). Como consecuencia, cada día es mayor la cantidad de residuos de estos materiales, creando problemas ambientales y un despilfarro irracional de recursos. Estas razones son motivo suficiente para recuperar y reciclar, de alguna forma, los residuos de plásticos. El uso de estos residuos constituye una fuente de materia prima muy importante en la fabricación de un nuevo producto en la industria del tablero, el cual puede obtener propiedades muy superiores a la madera y otros materiales que en condiciones de intemperismo sufren fuertes daños. El aserrín de madera es un subproducto de la industria maderera a la cual no se le ha dado un uso adecuado o valor agregado [12–15]. El bajo valor nutritivo y el alto contenido de sílice hacen que sea inadecuado para consumo humano o de animales. Una buena oportunidad para darle buen uso al aserrín, y

aprovechar sus características, es utilizarla como carga de refuerzo en un material termoplástico o termofijo. Actualmente ya se encuentran reportes de investigaciones hechas sobre materiales compuestos de termoplásticos con aserrín, pero con problemas de interfase fibra/matriz. Por esta razón se justifica el uso del aserrín en la obtención de materiales compuestos 2 tratamientos químicos y 2 matrices poliméricas para conferirle propiedades de sinergia como, características de resistencia mecánica y carácter hidrófobo así se busca lograr mejores propiedades mecánicas en el material compuesto, como puede ser una mayor resistencia a la tensión, a la flexión y condiciones de intemperismo [15–18].

METODOLOGÍA

Materiales

Reactivos. Polietileno de baja densidad (PEBD reciclaje) de reciclaje, Resina poliéster Cristal de Poliformas SA de CV, de *Aserrín de madera de Aserraderos de Tlajomulco Jalisco*, hidróxido de sodio en escamas, pureza del 97,6%, proveedor *J.T. Baker*, etanol anhidro, 99,9%, *J. T. Baker*, Acetona grado analítico *Aldrich.*, agua destilada (Químicos Farmacéuticos e Industriales S. A. de C. V.), solución de HCl 0,5 M.

Equipos. Inyectora marca *Atlas*, modelo IMM, con capacidad para un gramo de muestra, Equipo de análisis infrarrojo *Modelo Perkin Elmer modelo Spectrum Two.*, Tamices de diferentes números de malla (12, 20, 49 y 60) marca *FIIC, S.A. de C.V.*, Estufa de secado, marca *SHEL LAB*, modelo N° VA1, microscopio electrónico de barrido *JEOL JSM-6010LA*. Equipo de pruebas universales *INSTRON* modelo 3345.

Procedimiento.

Tamizado. Se tomaron 100 g de aserrín de madera y se tamizó durante 15 minutos. Se obtuvieron fibras de diferente tamaño (malla: 12, 20, 49 y 60). Lo anterior se repitió hasta obtener unos 50 g de cada tamaño de fibra tamizada. La fibra que se obtuvo de este proceso guardó y etiquetó para su posterior uso en la caracterización y obtención de materiales compuestos.

Lavado. Se pesaron muestras de 50 g de fibra y se lavó con 500 mL de agua destilada durante 10 minutos con agitación y a temperatura ambiente. Se filtra en pedazos de manta con la ayuda de un embudo. Se seca las muestras en una estufa a 70°C durante 24 horas. Al 50% de la fibra que se obtuvo de este proceso de secado se etiqueta como fibra natural y al otro 50% se destina para darle un tratamiento en solución alcalina.

Tratamiento alcalino. Se lleva a cabo un tratamiento alcalino sobre el aserrín durante 120 minutos, para ello se utiliza solución de hidróxido de sodio con una concentración 0,5 N utilizando una relación de (500 mL solución alcalina/25 g aserrín). Una vez transcurrido el tiempo de tratamiento alcalino, las muestras se neutralizan con HCl, y lavan con agua. Se secan las muestras

en una estufa a 70°C durante 24 horas hasta alcanzar así un peso constante.

Elaboración de probetas. Las probetas termoplásticas se elaboraron mezclando dos proporciones de peso aserrín /matriz, en una inyectora marca Atlas modelo LMM con capacidad para un gramo, se fundió el PEBD a 125°C durante 2 minutos y después se agregó aserrín la cual se mezcló durante 7 minutos a la misma temperatura, una vez transcurrido el tiempo, se inyectó a un molde, el cual se encontraba a una temperatura de 130°C.

Las probetas termofijas se elaboraron mezclando dos proporciones de aserrín/matriz y deposita la mezcla en un molde precalentado a 190°C se lleva a cabo el prensado y se deja 5 min el prensado. Pasado este tiempo se libera la presión y deja enfriar para extraer las probetas del molde. En la obtención de las probetas, se estableció la siguiente matriz de trabajo (Tabla 1) para su posterior caracterización.

Tabla 1. Matriz de Trabajo

			<i>Probetas (Material compuesto) Matriz / Fibra (%M / %F)</i>		
	<i>Tamaño de Fibra</i>	<i>Tramamiento de la Fibra</i>	<i>70/30</i>	<i>80/20</i>	<i>90/10</i>
<i>Matriz Resina Poliester</i>	Fino	<i>Natural</i>	<i>70/30 Fino Nat</i>	<i>80/20 Fino Nat</i>	<i>90/10 Fino Nat</i>
	Nat: Malla 40				
	TA: Malla 60	<i>Tratamiento Alcalino (NaOH)</i>	<i>70/30 Fino TA</i>	<i>80/20 Fino Nat</i>	<i>90/10 Fino Nat</i>
		Mediano	<i>Natural</i>	<i>70/30 Med Nat</i>	<i>80/20 Med Nat</i>
	Nat: Malla 12				
	TA: Malla 20	<i>Tratamiento Alcalino (NaOH)</i>	<i>70/30 Med TA</i>	<i>80/20 Med TA</i>	<i>90/10 Med TA</i>
<i>Matriz Polieteno de baja densidad</i>	Fino	<i>Natural</i>	<i>70/30 Fino Nat</i>	<i>80/20 Fino Nat</i>	<i>90/10 Fino Nat</i>
	Nat: Malla 40				
	TA: Malla 60	<i>Tratamiento Alcalino (NaOH)</i>	<i>70/30 Fino TA</i>	<i>80/20 Fino Nat</i>	<i>90/10 Fino Nat</i>
		Mediano	<i>Natural</i>	<i>70/30 Med Nat</i>	<i>80/20 Med</i>

	Nat: Malla 12			<i>Nat</i>	<i>Nat</i>
	TA: Malla 20	<i>Tratamiento Alcalino (NaOH)</i>	<i>70/30 Med TA</i>	<i>80/20 Med TA</i>	<i>90/10 Med TA</i>

Caracterización Técnicas de análisis

Espectroscopia de Infrarrojo con transformada de Fourier (FTIR). Se realizó por medio de la técnica ATR, El equipo utilizado es el *FTIR Spectrum TWO de Perkin Elmer* para así caracterizar la fibra modificada químicamente y sin modificar.

Intervalo de medición: 400 a 4.000 cm^{-1} , Modo en transmitancia; Número de barridos: 16, Resolución: 4 cm^{-1} .

Microscopia electrónica de barrido (SEM). Con el fin de apreciar los cambios morfológicos provocados a la superficie de la fibra por el tratamiento químicos aplicado, así como el modo de fractura en las probetas sometidas a la prueba de resistencia al esfuerzo de tensión se utilizó un microscopio electrónico de barrido modelo JEOL (JSM-6010LA). Las muestras se prepararon en una cámara de vacío en donde se les depositó una capa de oro, después se obtuvieron las imágenes a diferentes amplificaciones, operando a 20 kV.

Evaluación mecánica. Para realizar el análisis de pruebas mecánicas se empleó un equipo de pruebas mecánicas marca *INSTRON modelo 3345*, se emplea la norma ASTM D1708 para polímeros con una celda de 5 kN.

RESULTADOS.

Tamaño de Fibra. El tamizado de la fibra de aserrín se hizo para la fibra natural y se toman dos tamaños de referencia (Malla 40 y Malla 12), estos dos tamaños son usados en la matriz de trabajo (ver Tabla 1). Cabe señalar que a la fibra natural con estos dos tamaños se les aplicó el tratamiento alcalino con NaOH y se redujo el tamaño pasando a Malla 60 y malla 20 respecto al tamaño de la fibra natural. El tratamiento alcalino, además de eliminar lignina también produce un rompimiento de la estructura fibrosa provocando cambios morfológicos y con ello una reducción de tamaño de fibra, lo anterior la ha sido discutido por *Tim Huber et al.* 2012 (Ver Tabla 2).

Tabla 2. Tamaños de Fibra Natural y Tratada Alcalinamente (TA) en sus dos presentaciones Fino y Medio.

	<i>Fino Natural (Fino-Nat)</i>	<i>Mediano Natural (Med-Nat)</i>	<i>Fino Tratamiento alcalino (Fino TA)</i>	<i>Mediano Tratamiento alcalino (Med. TA)</i>
	Aserrin-M40-Nat.	Aserrin-M12-Nat.	Aserrin-M60-TA.	Aserrin-M20-TA.

<i>mm</i>	0,425	1,00	0,250	0,850
MALLA (ASTM)	40	12	60	20

Análisis Infrarrojo (FTIR). En la Figura 1 se puede observar el resultado del análisis FTIR de la fibra natural en sus dos tamaños Fino (Malla 40) y Medio (Malla 12). En ambos espectros se puede observar la presencia de la señal de 1.724 cm^{-1} correspondiente al estiramiento de grupo carbonilo ($\text{C} = \text{O}$) que pertenece a la estructura de la lignina en la fibra.

Además, se puede observar un ligero incremento en la señal de estiramiento de $\text{O}-\text{H}$ (3.334 cm^{-1}) y estiramiento del $\text{C}-\text{O}$ (1.028 cm^{-1}) en la fibra de tamaño fino atribuible a la exposición de grupos OH presentes en la fibra debido a la disminución de tamaño de fibra, lo anterior es mencionado por *Sanju Kumari et al.* 2020.

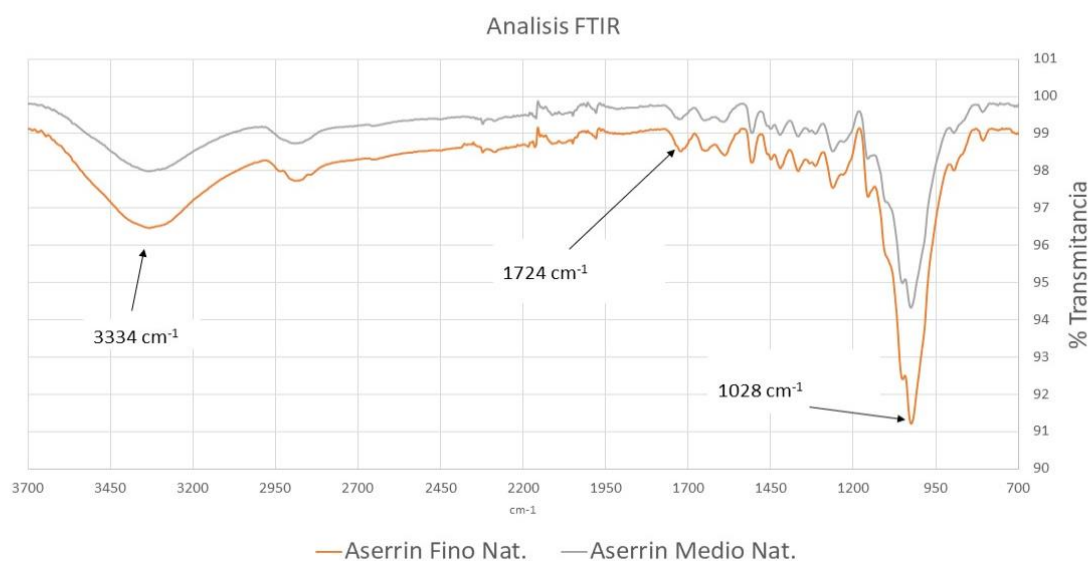


Figura 1. Espectro FTIR, Aserrín Fino Nat y Aserrín Medio Nat. ($700\text{--}3.700\text{ cm}^{-1}$)

En la Figura 2 se puede observar la presencia de la señal de 15.89 cm^{-1} correspondiente a la flexión de los enlaces de hidrógeno del OH debido al agua adsorbida por la fibra y una disminución de tamaño de fibra favorece el incremento de esta señal.

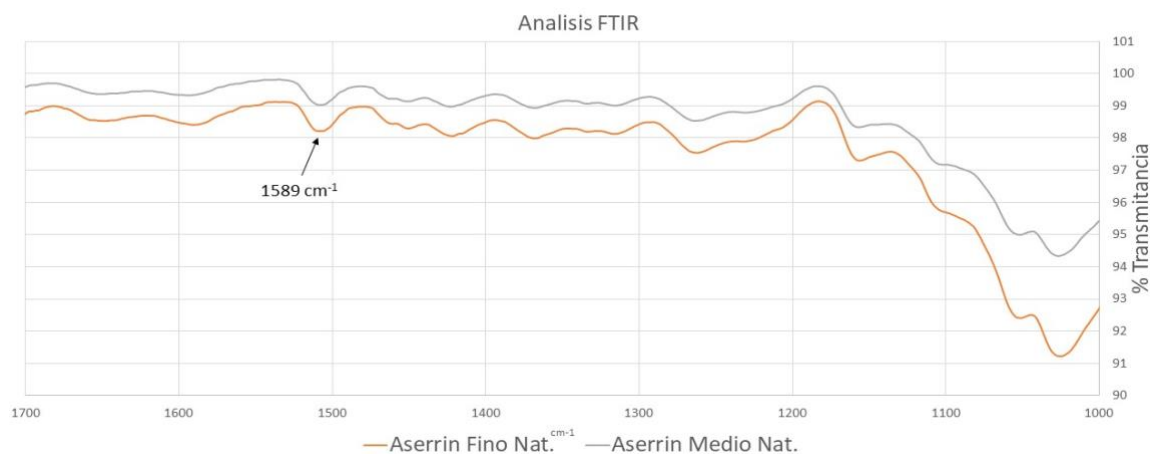


Figura 2. Espectro FTIR. Aserrín Fino Nat y Aserrín Medio Nat. (1.000–1.700 cm^{-1})

En la Figura 3 se observa el espectro FTIR de la fibra en sus dos tamaños Fino y Medio que recibieron un tratamiento alcalino con NaOH, en el espectro infrarrojo se puede observar que el tamaño fino evidencia un incremento en los estiramientos de los grupos OH en (3.316 cm^{-1}), esto se corrobora con el incremento de la señal en 1.026 cm^{-1} correspondiente a los estiramientos del C–O.

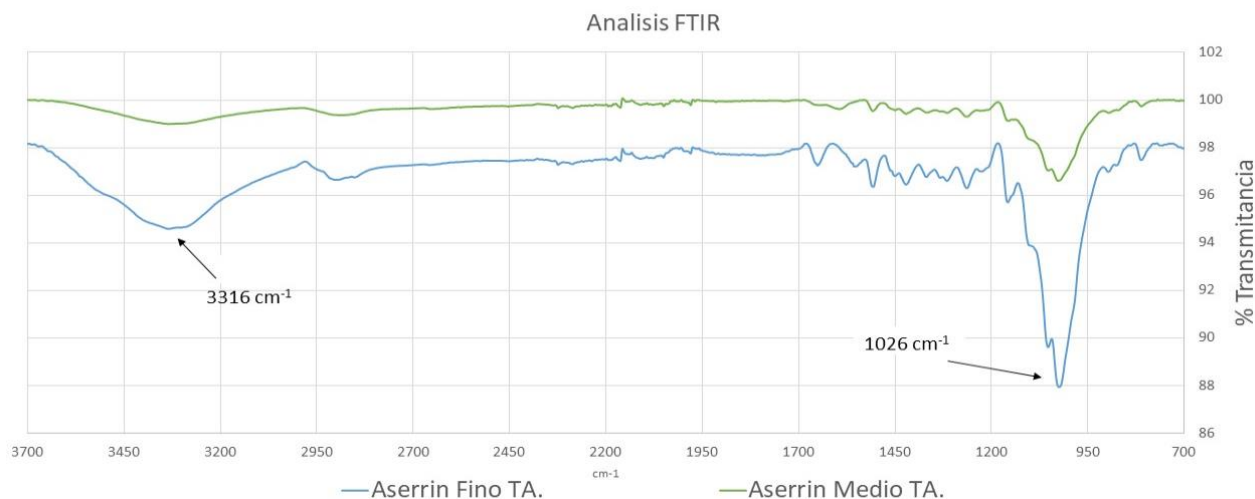


Figura 3. Espectro FTIR. Aserrín Fino TA y Aserrín Medio TA (1.000–1.700 cm^{-1})

En la Figura 4 se evidencia la remoción de la lignina de la fibra por efecto del tratamiento alcalino al desaparecer la señal de 1.724 cm^{-1} que corresponde al estiramiento del C = O que se encuentra presente en la estructura de esta molécula. Además de que se corrobora que la disminución del tamaño de fibra acelera el proceso de adsorción de agua debido a las flexiones de los O – H (1.650 cm^{-1}) en los enlaces de hidrógeno del agua.

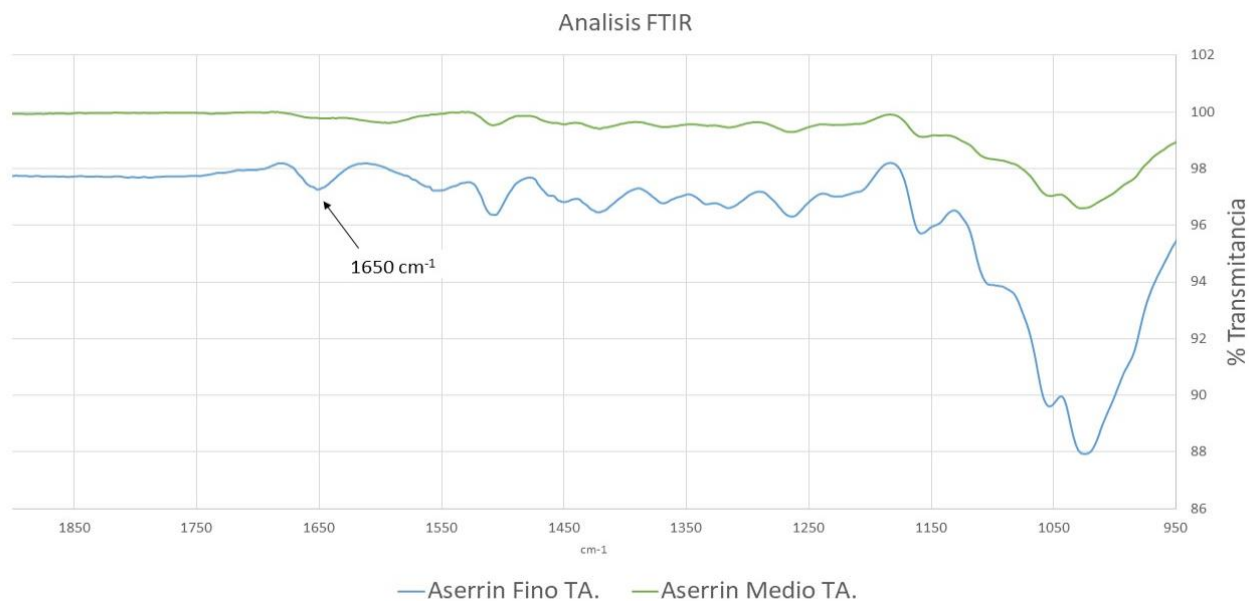


Figura 4. Espectro FTIR. Aserrín Fino TA y Aserrín Medio TA. (950–1.850 cm⁻¹).

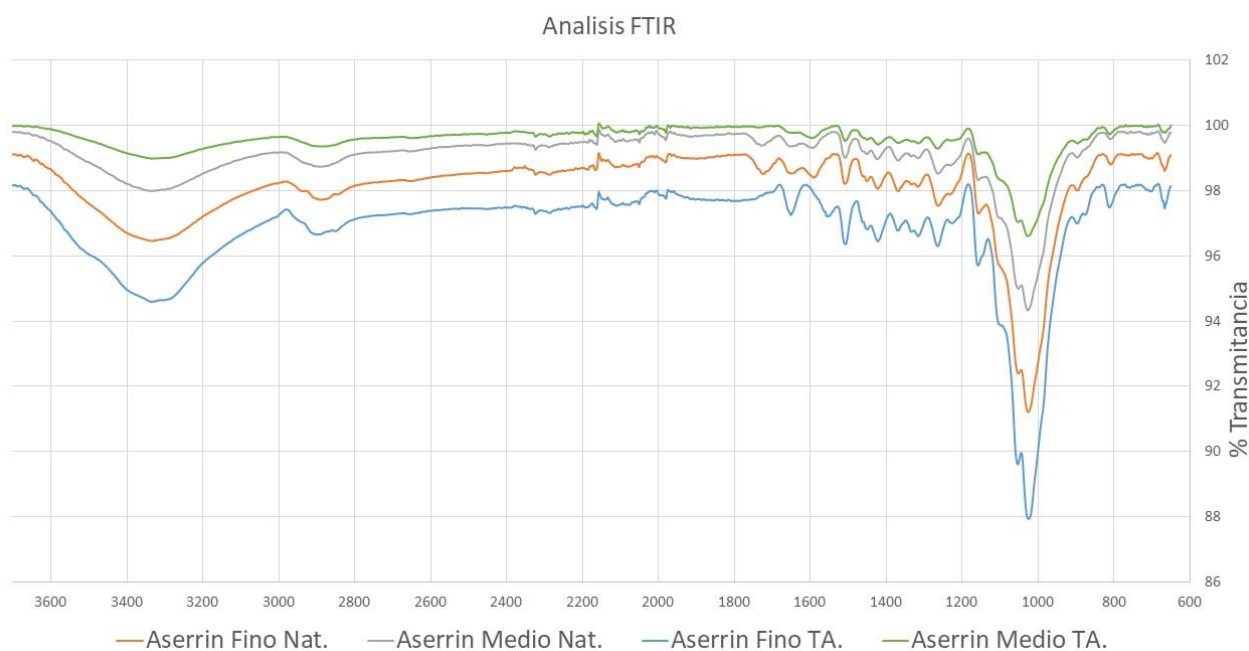


Figura 5. Espectro FTIR. Aserrín Fino Natural y TA y Aserrín Medio Natural y TA. (700–3.700 cm⁻¹).

En la Figura 5 se puede observar la comparación de la respuesta del análisis FTIR para las del aserrín natural y el aserrín tratado alcalinamente y se observa que una disminución de tamaño de fibra (fino) aunado al tratamiento alcalino favorece al incremento de la absorción y adsorción de humedad (1.652 cm⁻¹ flexión de los enlaces de hidrógeno).

Microscopia electrónica de barrido (SEM). En la Figura 6 se puede observar la estructura morfológica de la fibra de aserrín natural (6A) y la fibra de aserrín tratada alcalinamente (6B). Se puede observar claramente que el efecto del tratamiento alcalino genera cambios morfológicos a la fibra formándose grietas y un efecto de desfibrilado. Lo anterior no sucede con la fibra de aserrín

natural. Este cambio morfológico corrobora lo expuesto en la Figura 5 ya que las grietas generadas por el tratamiento alcalino sobre el aserrín exponen un número mayor de grupos funcionales OH trayendo como consecuencia una mayor absorción y adsorción de agua. Lo anterior fue expuesto también por *Sanju Kumari et al.* 2020.

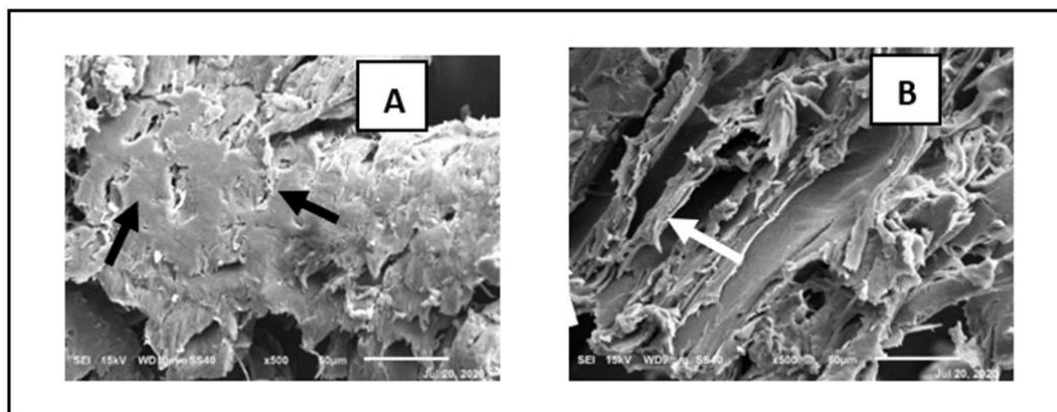


Figura 6. A) Fibra Aserrín Natural 500X, y B) Fibra Aserrín TA 500X.

En las Figuras 7 y 8 se muestra la estructura morfológica de los materiales compuestos que se obtuvieron a partir de PEBD y Resina poliéster respectivamente usando carga de aserrín natural y aserrín con tratamiento alcalino-TA (El análisis se realiza en el punto de fractura después de ser sometidos a un esfuerzo de tensión). En las Figuras 7B y 8B se puede observar que el aserrín con tratamiento alcalino se desprendió de la matriz polimérica después de aplicar el esfuerzo lo que evidencia una baja compatibilidad entre la matriz y la carga. El tratamiento alcalino incompatibiliza la matriz con la fibra lo que genera puntos de falla de desprendimiento de fibra al ejercer el esfuerzo mecánico. Lo anterior no sucede cuando se usa la fibra natural en ambas matrices (ver Figuras 7A y 8A).

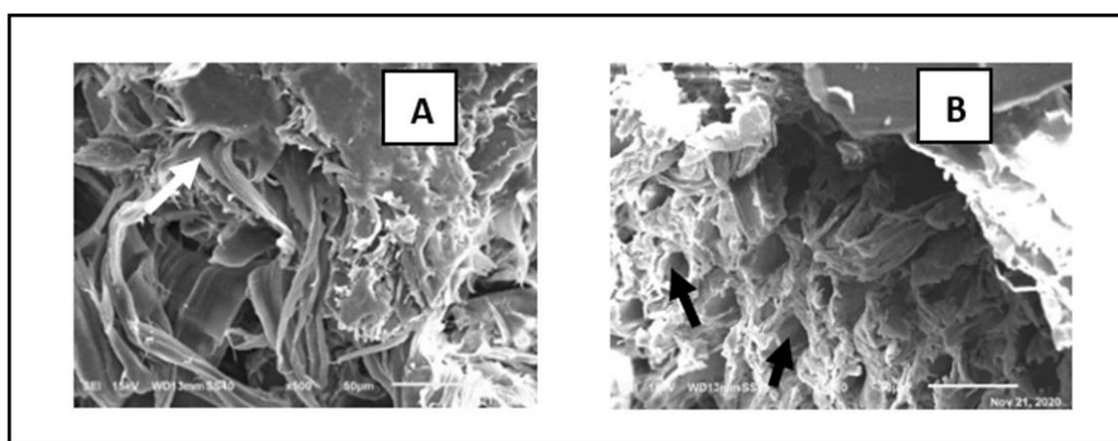


Figura 7. A) 80/20 Fino Nat. PEBD, B) 80/20 Fino TA. PEBD

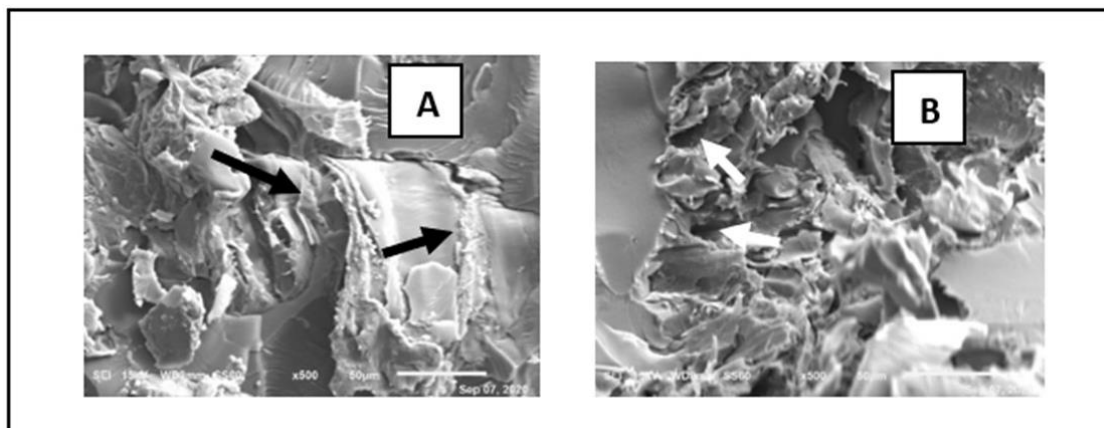


Figura 8. A) 80/20 Fino Nat. Resina Poliéster, y B) 80/20 Fino TA Resina Poliéster.

En la Tabla 3 se muestra los resultados del análisis elemental EDS de la carga de aserrín Natural y aserrín Tratado alcalinamente. Se puede corroborar la evidencia de la presencia de átomos de Na (sodio) que se depositaron sobre la carga después del tratamiento alcalino. Esto viene a confirmar que el tratamiento alcalino actuó sobre la carga (aserrín).

Tabla 3. Análisis EDS del aserrín natural y Aserrín tratado alcalinamente con NaOH.

<i>ANÁLISIS EDS AL ASERRÍN</i>					
<i>Chemical formula</i>	<i>ms%</i>				
	<i>TFN</i>	<i>TMN</i>		<i>TFT</i>	<i>TMT</i>
	Aserrin–M40–Nat.	Aserrin–M12–Nat.		Aerrin–M60–TA.	Aserrin–M20–TA.
<i>C</i>	7,64	9,07		8,99	9,97
<i>O</i>	92,36	90,93		84,23	87,10
<i>Na</i>	–	–		6,78	2,92

Propiedades Mecánicas. En la Tabla 4 se reportan los resultados al esfuerzo a la tensión de las probetas elaboradas con resina poliéster. En esta tabla se puede observar que ninguna de las formulaciones Matriz/carga/Tratamiento lograron superar el esfuerzo a la tensión de la resina pura curada que obtuvo 60,4834 MPa de resistencia mecánica y se observa solo una formulación con un máximo soporte al esfuerzo de 22,1210 MPa correspondiendo para la probeta de carga Natural con 90/10 de concentración matriz/carga. El Tratamiento alcalino no muestra un incremento en la respuesta al esfuerzo aplicado lo cual puede deberse a la eliminación de la lignina por el tratamiento alcalino que esta evidenciado en el análisis FTIR de la Figura 4. Se tiene reportado por Sanju

Kumari et al. 2020 y Haibin et al. 2019 que la lignina es la macromolécula responsable de la resistencia mecánica de la madera.

En la Tabla 5 se muestran los resultados del esfuerzo mecánico a la tensión de las probetas elaboradas con matriz de polímero PEBD en ella se puede observar el mismo fenómeno de respuesta que se obtuvo con el empleo de la resina poliéster. Aquí podemos observar que el tratamiento alcalino no mejora la respuesta mecánica a la tensión en ninguna de las formulaciones. Sin embargo, sucede lo contrario con el empleo de la carga natural pues se supera el valor del esfuerzo mecánico de 8,2134 MPa que corresponde al PEBD hasta 13,5565 MPa que corresponde a la formulación 90/10 carga natural. En las Figuras 6 y 7 se muestra el resultado del porcentaje de deformación de las probetas elaboradas con matriz Resina poliéster y PEBD respectivamente. Los resultados demuestran que las cargas usadas en la formulación no superan el porcentaje de deformación que presentan las matrices, sin embargo se puede observar que la mayor deformación lograda para los materiales compuestos en ambas matrices es con el empleo de carga natural tamaño mediano con una relación de 90/10 (2,878% usando resina poliéster y 16,142% Usando PEBD). Se puede observar que el empleo de un tamaño de carga fino favorece la resistencia mecánica del material compuesto ya que aumenta la respuesta al esfuerzo mecánico, el disminuir el tamaño de carga favorece al aumento del área superficial provocando una mayor eficiencia en el mojado de la matriz sobre la carga. Lo anterior es también reportado por Artur Chabros et al. 2019.

Tabla 4. Resultados del esfuerzo a la Tensión de probetas de resina poliéster/Aserrín.

<i>Esfuerzo Tensión MPa</i>						
Conc.–Tamaño fibra	70/30 Fino	70/30 Med	80/20 Fino	80/20 Med	90/10 Fino	90/10 Med
Nat (natural)	8,5456	6,0547	20,0031	11,2322	22,1210	12,2434
TA (Trat. alcalino)	4,7877	8,0876	15,1223	8,0232	17,3232	10,4348
Resina Poliéster			60,4834			

Tabla 5. Resultados del esfuerzo a la Tensión de probetas de Polietileno de baja densidad/Aserrín.

<i>Esfuerzo Tensión MPa</i>						
Conc.–Tamaño fibra	70/30 Fino	70/30 Med	80/20 Fino	80/20 Med	90/10 Fino	90/10 Med
Nat (natural)	7,7740	5,8509	9,6643	8,4007	13,5565	10,0165
TA (Trat. alcalino)	0,8765	1,4287	7,0067	7,7667	6,4543	8,0423
PELD			8,2134			

Tabla 6. Resultados de deformación sobre el esfuerzo de Tensión de probetas de resina poliéster/Aserrín.

<i>Porcentaje deformación</i>						
Conc.–Tamaño fibra	70/30 Fino	70/30 Med	80/20 Fino	80/20 Med	90/10 Fino	90/10 Med
Nat (natural)	1,592	1,161	2,119	1,363	2,347	2,878
TA (Trat. alcalino)	1,288	1,061	2,045	1,338	2,273	1,968
Resina Poliéster			60,483			

Tabla 7. Resultados de deformación sobre el esfuerzo de Tensión de probetas de Polietileno de Baja Densidad/Aserrín.

<i>Porcentaje deformación</i>						
Conc.–Tamaño fibra	70/30 Fino	70/30 Med	80/20 Fino	80/20 Med	90/10 Fino	90/10 Med
Nat (natural)	6,128	7,272	8,637	13,561	9,832	16,142
TA (Trat. alcalino)	12,243	8,711	11,312	10,893	11,223	10,231
Resina Poliéster			110,132			

CONCLUSIONES.

El tratamiento alcalino empleando NaOH sobre el aserrín provoca un efecto de disminución del tamaño de fibra. Este tratamiento provoca la eliminación de lignina de la fibra además de que hay una degradación celulósica generando cambios morfológicos en la estructura de la fibra como grietas y volumen libre. Cabe señalar que la disminución de tamaño de fibra está aumentando el área superficial de la fibra lo cual implica un aumento en el área de mojado de la fibra con la matriz, lo anterior se puede observar en la respuesta al esfuerzo mecánico a la tensión e los materiales compuestos empleando ambas matrices. Las micrografías SEM evidencian que el tratamiento alcalino no logra compatibilizar la fibra con las matrices ya que se puede observar desprendimiento de la fibra dentro de la matriz al aplicar el esfuerzo (punto de ruptura de la probeta), lo anterior puede atribuírsele a que al eliminar lignina y ceras con el tratamiento alcalino la fibra adquiere mayor carácter hidrofílico lo que no favorece con la compatibilidad con las matrices poliméricas (corroborado por el análisis FTIR). La mayor respuesta mecánica a la tensión se da a emplear la fibra natural y tamaño de fibra fino (M-40). La concentración de fibra más apropiada para la confección materiales compuestos es empleando concentración baja de fibra del orden del 10% en peso respecto a la matriz ya que a valores mayores de concentración se rebasa el umbral de percolación en la obtención de respuestas mayores al esfuerzo mecánico aplicado.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Haibin Ning , Selvam Pillay , Na Lu , Shaik Zainuddin and Yongzhe Yan “Natural fiber–reinforced high–density polyethylene composite hybridized with ultra–high molecular weight polyethylene”. J. Composite Materials, **0**(0) 1 (2019)
- [2] Tri–Dung Ngo “Natural Fibers for Sustainable Bio–Composites Open access peer–reviewed” chapter. (2017)
- [3] García–Hernández E, Licea–Claverie A, Zizumbo A, Alvarez–Castillo A, Herrera–Franco PJ, "Improvement of the Interfacial Compatibility Between Sugar Cane Bagasse Fibers and Polystyrene for Composites, Polymer Composite, **25**, 134 (2004)
- [4] Yashas Gowda TG, Sanjay MR, Subrahmanya Bhat K, Madhu P, Sentharamaikannan P, Yogesha B “Polymer matrix–natural fiber composites, *Cogent Engineering*, **5**, 1446667 (2018)
- [5] Han–Seung, Y., K. Hyun–Joong, S. Jungil, P. Hee–Jun, L. Bum–Jae and H. Taek–Sung, Rice–husk flour filled polypropylene composites; mechanical and morphological study, *Composite Structure*, **63**, 305 (2004)
- [6] Jang J, Lee E, Improvement of the Flame Retardancy of Papersludge/Polypropylene Composite, *Polymer Testing* , **20**,7 (2001)
- [7] Karnani R, Krishnan M, Narayan R Biofiber Reinforced Polypropylene Composites, *Polymer Engineering and Science, Polymer Engineering & Science*, **37**,476 (1997)

- [8] Colthup, N.B., L.H. Daly and S.E. Wilberley, Introduction to Infrared and Raman Spectroscopy, Academic Press Inc., U.S.A. (1990). ISBN: 978-0-12-182554-6. doi.org/10.1016/C2009-0-21628-X.
- [9] Plueddemann, E.P., Silane Coupling Agents, Plenum Press, New York, ISBN: 0306409577. (1982).
- [10] Prachayawarakorn J, Yaembunying N "Effect of recycling on properties of rice husk-filled-polypropylene," J.Sci.Technology, **27**, 343 (2005)
- [11] Rodriguez CA, Medina JA, Reinecke H "Reinforced with Cellulose Based Fibers," J. Appl. Polymer Sci., **90**,3466 (2003)
- [12] Salgado-Delgado, S. Vasquez, E. Garcia, R. Lopez-Castanares, A. Alvarez-Castillo, V.M. Castaño and E. Martinez, "Numerical analysis of the mechanical properties of rice husk-polyester composites, Advanced Composite Let., **11**,167 (2002)
- [13] Toro P, R. Quijada, O. Murillo and M. Yazdani-Pedram, "Study of the morphology and mechanical properties of polypropylene composites with silica or rice-husk," Polymer International, **54**, 730-734 (2005).
- [14] Tim Huber, Jörg Müssig, Owen Curnow, Shusheng Pang, Simon Bickerton & Mark P. Staiger. "A critical review of all-cellulose composites". *J. Materials Science* **47**, 1171 (2012)
- [15] Stefan Cichosz, Anna Masek, Adam Rylski "Cellulose Modification for Improved Compatibility with the Polymer Matrix: Mechanical Characterization of the Composite Material" *Materials*, **3**;13(23):5519., doi: 10.3390/ma13235519. (2020).
- [16] Kumari, Sanju ; Kumar, Ritesh ; Rai, Bhuvneshwar ; Sirohi, Sidharth ; Kumar, Gulshan. "Study on the modification of polyester resin bamboo fiber-based composite with euphorbia coagulum and their effect on mechanical and thermal properties" *Journal of Composite Materials*, **54**,24, 3473-3480. doi: 10.1177/0021998320916542. (2020).
- [17] Artur Chabros, Barbara Gawdzik, Beata Podkořcielna, Marta Goliszek and Przemysław Pączkowski "Composites of Unsaturated Polyester Resins with Microcrystalline Cellulose and Its Derivatives". *Materials*, **13**, 62; 2-13. doi:10.3390/ma13010062. (2020).
- [18] Sathishkumar GK, Mohamed Ibrahim, Mohamed Akheel M, G. Rajkumar B, Gopinath R, Karpagam R, Synthesis and Mechanical Properties of Natural Fiber Reinforced Epoxy/Polyester/Polypropylene Composites: A Review, *J. Natural Fiber*, 1 (2020)