



## Caracterización mecánica, físico-química de fibra de *Sansevieria trifasciata*, como posible refuerzo en un compuesto de matriz poliéster

Mechanical, physical-chemical characterization of *Sansevieria trifasciata* fiber, as possible reinforcement in a polyester matrix compound

Alexander Yushepy Vega Anticona\*; Jhonny Edgar Tavera Ortiz

Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Trujillo. Av. Juan Pablo II s/n – Ciudad Universitaria, Trujillo, Perú.

### RESUMEN

En la presente investigación, se determinó el efecto del porcentaje en peso de fibras (25%, 30% y 35%), la concentración (% p/v) de NaOH (10%, 15% y 20%) del proceso de mercerización y la concentración de agente de acople tipo silano (Trimetoxivinilsilano – 1,0% y 2,0% v/v). La fibra lignocelulósica evaluada fue la denominada *Sansevieria trifasciata*, obtenida por inmersión y descomposición en agua. El tiempo de mercerización fue de 30 minutos, la etapa de silanización fue de 1 hora (fibras previamente mercerizadas a 20% de NaOH). Las fibras se utilizaron para la obtención de compuestos de matriz poliéster según los porcentajes en peso mencionados, mediante el proceso de moldeo de compresión (3000 psi), las láminas obtenidas mediante este proceso fueron de 200\*150\*5 mm; una vez obtenidas las láminas estas fueron maquinadas a fin de desarrollar los ensayos de impacto Charpy (ISO 179-1) y el ensayo de tracción unidireccional (ASTM D638-1), las láminas obtenidas fueron de fibras tipo continua. Las fibras utilizadas fueron caracterizadas mediante microscopía óptica y electrónica de barrido (SEM), FTIR, % de hinchamiento, cuantificación de celulosa, lignina y hemicelulosa, antes de los ensayos mencionados. Los valores de resistencia al impacto y a la tracción mayores corresponden a los valores mayores de porcentaje en peso de fibras, concentración de NaOH del proceso de mercerización y de concentración de agente de acople, siendo estos de 68 kJ/m<sup>2</sup> y 121 MPa respectivamente, estos se deberían a los cambios de composición química, rugosidad y de adherencia que los tratamientos de superficie generaron en las fibras evaluadas.

**Palabras clave:** fibras naturales; *Sansevieria trifasciata*; mercerización; trimetoxivinilsilano.

### ABSTRACT

In the present research, the effect of the weight percentage of fibers (25%, 30% and 35%), the concentration (% w/v) of NaOH (10%, 15% and 20%) of the mercerization process and the concentration of silane coupling agent (trimethoxyvinyl silane - 1.0% and 2.0% v/v). The lignocellulosic fiber evaluated was the so-called *Sansevieria trifasciata*, obtained by immersion and decomposition in water. The mercerization time was 30 minutes, the silanization stage was 1 hour (fibers previously mercerized to 20% NaOH). The fibers were used to obtain polyester matrix compounds according to the aforementioned weight percentages, by means of the compression molding process (3000 psi), the sheets obtained by this process were 200\*150\*5 mm; Once the sheets were obtained they were machined in order to develop the Charpy impact tests (ISO 179-1) and the unidirectional tensile test (ASTM D638-1), the sheets obtained were of continuous type fibers. The fibers used were characterized by optical and scanning electron microscopy (SEM), FTIR, % swelling, quantification of cellulose, lignin and hemicellulose, before the mentioned tests. The higher impact and tensile strength values correspond to the higher values of weight percentage of fibers, NaOH concentration of the mercerization process and concentration of coupling agent, these being 68 kJ/m<sup>2</sup> and 121 MPa respectively, these they would be due to changes in chemical composition, roughness and adhesion that the surface treatments generated in the fibers evaluated.

**Keywords:** natural fibers; *Sansevieria trifasciata*; mercerization; trimethoxyvinyl silane.

### 1. Introducción

En los últimos años a nivel mundial se viene incrementando el interés en el uso de fibras

naturales como posibles refuerzos en los denominados materiales compuestos, siendo esto de gran interés y atención entre los

científicos e ingenieros de materiales debido a la necesidad de (i) desarrollar un material respetuoso con el medio ambiente y (ii) como reemplazo de las fibras sintéticas actualmente en uso, sobre todo en aplicaciones no estructurales (Sreenivasan et al., 2011). En comparación con las fibras sintéticas, las fibras naturales son de bajo costo, baja densidad, y tienen propiedades específicas a considerar, estas características han llevado a diversos estudios con el objetivo de identificar nuevos materiales naturales como reemplazo de los de origen sintético. Sin embargo, las fibras naturales también tienen algunos inconvenientes, tales como grandes variaciones en las propiedades mecánicas, la sensibilidad a la humedad (naturaleza hidrofílica) y la radiación UV. Sin embargo, la exigencia de normas cada vez más estrictas sobre el reciclaje hace que la investigación sobre el uso de fibras naturales sea esencial. Los estudios sobre diferentes fibras vegetales han revelado que estas fibras deben ser tratadas física o químicamente antes de que puedan ser utilizados como refuerzo en materiales poliméricos (Ridzuan et al., 2016). En la industria automotriz en China, el uso de las fibras naturales como reemplazo de la fibra de vidrio y de carbono como refuerzo en compuestos poliméricos ha ganado popularidad, generando un interés renovado en los compuestos reforzados con fibras naturales pues han mostrado una gran potencial como la siguiente generación de materiales estructurales (las pruebas de laboratorio a nivel nano lo evidencian), así mismo, en la industria de la construcción el uso de las fibras naturales como refuerzo de concreto viene dando pasos, para la obtención de estructuras reforzadas (Yan et al., 2016). Además de lo mencionado otros autores han documentado sus avances y los posibles usos de las fibras naturales, entre ellas el bambú, lino, caña de azúcar, yute, paja de trigo, coco, plátano, y otras; por ejemplo, el trabajo de Sreenivasan et al. (2012), quienes evaluaron la unión interfacial entre las fibras Sansevieria cilíndrica (SCF) y una matriz de poliéster, mediante tratamientos químicos de superficie. Los tratamientos utilizados son de peróxido de benzoilo, álcali, permanganato de potasio y ácido esteárico que se llevaron a cabo para modificar la superficie de la fibra. Cada tipo de tratamiento a las muestras de fibras, se utilizó por separado, para la fabricación de los compuestos. Concluyeron que las propiedades mecánicas de los compuestos preparados a partir de las SCF tratadas químicamente, son mucho mejores que las no tratadas y que los compuestos de poliéster reforzado con fibra de Sansevieria

Cilíndrica tratada con permanganato de potasio (PSCFP) mostraron una resistencia al impacto máxima de 23,41 kJ/m<sup>2</sup> a comparación de los otros tratamientos, que obtuvieron valores por debajo de los 10 kJ/m<sup>2</sup>; además los compuestos reforzados con fibra Sansevieria Cilíndrica sin tratar (USCFP) presentan los valores máximos de absorción de agua fría y caliente, de 28,24% y 51,11%, respectivamente. Las morfologías superficiales de las superficies de fractura de los compuestos se registraron utilizando microscopía electrónica de barrido (SEM). Las micrografías de SEM muestran que la unión interfacial entre SCF tratadas con permanganato de potasio (PSCF) y la matriz de poliéster ha mejorado significativamente, lo que sugiere que se ha producido una mejor dispersión de PSCF en la matriz. Kabir et al. (2012) proporcionaron una visión global de los diferentes tratamientos de superficie aplicados a fibras naturales para aplicaciones de compuestos avanzados; ellos estudiaron los efectos de diferentes tratamientos químicos sobre fibras celulósicas que son usadas como refuerzos para termoestables y termoplásticos. Las fuentes químicas para los tratamientos son álcali, silano, acetilación, benzoilación, acrilato e injerto de acrilonitrilo, agentes de acoplamiento maleados, permanganato, peróxido, isocianato, ácido esteárico, clorito de sodio, triazina, derivado de ácidos grasos (cloruro de oriol) y hongos. Resaltaron que la importancia de las fibras naturales tratadas químicamente se ve a través de la mejora en la resistencia mecánica y estabilidad dimensional en los compuestos resultantes en comparación con una muestra original. Palova et al. (2007) evaluaron las propiedades del compuesto de poli (cloruro de vinilo) - PVC rígido con la adición de fibras de plátano. Las fibras se extrajeron del pseudotallo de plátano y se incorporan en proporciones de 5%, 10% y 20% en volumen en un compuesto de PVC rígido por el proceso de extrusión. Para obtener las probetas utilizadas en la caracterización de las formulaciones se utilizó el proceso de inyección. Determinaron que la incorporación de fibra de plátano en PVC produce los efectos que se esperan de cualquier sistema de refuerzo polímero / fibra: en donde se presenció el aumento de resistencia a la tracción, y una mayor resistencia al impacto de 2,4 kJ/m<sup>2</sup> con 10 % en volumen de fibra de plátano. Zhou et al. (2013) modificaron las fibras de sisal usando agentes de acoplamiento de silano para determinar el mecanismo de la reacción química entre la fibra y el silano; ellos demostraron que una capa de película fue formada en la superficie de la fibra por la

adsorción del silano que consiste en siloxano y polisiloxano. La espectroscopia (FTIR) indicó que los enlaces químicos fueron formados entre el agente de acoplamiento de silano y la fibra. Adicionalmente verificaron por los análisis TG-DSC y TG/MS que las propiedades de descomposición de las fibras de sisal se cambiaron mediante la formación de enlaces químicos entre el silano y la superficie de la fibra de sisal y concluyeron que los resultados obtenidos utilizando una combinación de SEM, FTIR, TG-DSC y TG/MS confirman que ocurre una reacción química entre el silano hidrolizado y las fibras de sisal. Mohd et al. (2012), enfocan su estudio en el efecto de mercerización sobre el mejoramiento de las propiedades mecánicas de los compuestos reforzados con fibra natural o también llamados bio-compuestos. Esta investigación se dirigió a los parámetros de mercerización (la concentración de NaOH, la temperatura y duración de remojo) y el efecto sobre las propiedades a mejorar del mismo compuesto. Sin embargo, debido a la gran variedad de tipos de fibras naturales, el efecto de la composición química y la condición de tratamiento también resulta ser diferente dependiendo del tipo de fibra seleccionada para refuerzo. La hemicelulosa y la lignina están siempre en estructuras amorfas donde los grupos hidroxilo están también presentes; debido a esta libertad, los grupos hidroxilo presentes en la región amorfa pueden combinar fácilmente con las moléculas de agua de la atmósfera. Los grupos hidroxilo presentes en la hemicelulosa y lignina amorfa, dan inicialmente el acceso a moléculas de agua y penetran en la superficie de la fibra. La modificación más importante hecha por el tratamiento alcalino es la interrupción de los enlaces de hidrógeno en la estructura de la red, lo que aumenta la rugosidad superficial. Este tratamiento elimina una cierta cantidad de lignina, cera y aceites que cubren la superficie externa de la pared celular de la fibra, despolimeriza la celulosa (Hashim et al., 2012). Las fibras son modificadas químicamente, debido principalmente a la presencia de grupos hidroxilo. Estos grupos pueden ser activados para introducir nuevas moléculas que forman enlaces eficaces dentro del sistema. La absorción de agua se cree comúnmente que se produce en los grupos hidroxilo libres en las cadenas de celulosa. Con una relación de 3 grupos hidroxilo por unidad de repetición de glucosa en la cantidad de agua que puede ser absorbida. Al restringir los grupos hidroxilo esta relación se puede reducir. Además, pectina y sustancias cerosas cubren los grupos

funcionales reactivos de la fibra y actúan como una barrera para bloquear con la matriz. Para mejorar la efectividad de la adhesión interfacial, la superficie de la fibra debe ser modificada con diferentes tratamientos químicos, aditivos reactivos y agentes de acoplamiento. Los tratamientos químicos exponen más grupos reactivos en la superficie de la fibra y así facilita el enganche eficiente con la matriz. Como resultado, mejores propiedades mecánicas de los compuestos pueden ser alcanzados (Dash et al., 2000).

La modificación superficial de las fibras es a menudo necesaria para lograr la máxima compatibilidad. Es necesario investigar los efectos del tratamiento químico de superficies en las fibras naturales y sus estructuras, y para buscar formas de mejorar las propiedades interfaciales. Los agentes de acoplamiento de silano, que se utilizan comúnmente como modificadores químicos, tienen estructuras bifuncionales, y pueden crear puentes químicos entre la fibra y la matriz. Estos agentes de acoplamiento de silano ya se han utilizado industrialmente para modificar las superficies de fibras de vidrio, ya que pueden mejorar con eficacia la resistencia interfacial entre la superficie de la fibra y la matriz. El mecanismo de la reacción entre los grupos hidroxilo sobre la superficie de vidrio y los silanos ha sido ampliamente estudiado (Madsen, 2004). Las estructuras bifuncionales de silanos también se han utilizado en materiales compuestos reforzados con fibra natural, porque las fibras de sisal también tienen grupos hidroxilo reactivo (Mwaikambo y Ansell, 2006).

Así, el objetivo de este estudio fue evaluar el efecto del porcentaje en peso de fibras (25%, 30% y 35%), la concentración (% p/v) de NaOH (10%, 15% y 20%) del proceso de mercerización y la concentración de agente de acople tipo silano (Trimetoxivinilsilano – 1,0% y 2,0 % v/v) en las características mecánicas, físico-químicas de fibra *Sansevieria trifasciata*, como posible refuerzo en un compuesto de matriz poliéster.

## 2. Material y métodos

### 2.1 Fibra natural: *Sansevieria Trifasciata*

Se recolectaron las hojas de *Sansevieria Trifasciata*, se cortaron a 30 cm aproximadamente, ello para facilitar su inmersión en agua potable dentro de un recipiente por un tiempo de 14 días, al cabo de este tiempo, se extraen las fibras de forma manual con ayuda de un instrumento plano de metal, la cual al presionar una de las caras de la capa se elimina la pulpa exponiendo así las fibras.

## 2.2 Tratamiento de mercerización

Este procedimiento se hace para los 4 niveles de concentración de hidróxido de sodio (NaOH), para esto se pesaron 120 g de fibra ST, para la mercerización se usaron 10, 15 y 20 g/l NaOH. El proceso inicia con un pre lavado y limpieza de las fibras, exponiéndolas a 80 °C como máximo, por 30 minutos en la primera etapa de lavado, en la segunda etapa de limpieza se prepara una solución de agua destilada con alcohol en proporciones de 50% v/v (1 litro de alcohol en 1 litro de agua), se coloca las fibras de pseudotallo de plátano dentro de esta solución a 60 °C por un tiempo de 30 minutos, luego de este tiempo se retiran las fibras de la solución y se deja enfriar.

## 2.3 Tratamiento de salinización

La fibra utilizada en este tratamiento ha sido previamente mercerizada. Se preparó una solución de etanol/agua de proporción 8:2, el PH de la solución es mantenida en 3,5 con la adición de ácido acético; a dicha solución se le añade las dosis de trimetoxivinilsilano de 1,2% V/V, se lo agita homogéneamente y se deja reposar la solución unos 30 minutos, y luego se introducen 20 g de fibra por cada 250 ml de solución, dejándolo la fibra inmersa en ella durante un tiempo de 1,5 horas. Luego la solución es filtrada para separar la fibra ya tratada.

## 2.4 Caracterización mecánica

Las probetas a tracción se conformaron en base a la norma ASTM D-638, mientras que las de impacto UNE-EN ISO 179-1. El equipo para las mediciones de la resistencia a la tracción fue una máquina de ensayos universal marca TECNOTEST de capacidad de 60 t. Las placas del compuesto reforzado con la fibra fueron de 200 x 150 x 5 mm. Dichas placas se obtuvieron mediante el proceso de moldeado por compresión, a una presión de 3000 PSI. El corte de las probetas se realizó con una mini máquina CNC (PCB Fresadora CNC 2020B).

## 2.5 Caracterización físico química

Se utilizó un estereoscopio EUROMEX EDUBLE Serie 3, para el registro fotográfico y medición de los diámetros de las fibras y ángulo de contacto con agua, se realizó un mínimo de 30 mediciones de cada una de las pruebas y para cada fibra tratada a diferentes concentraciones de NaOH. Además, se utilizó Microscopio Electrónico de Barrido Tecsan VEGA 3 LM; para evolución de superficie de

fibras; y FITR Espectrofotómetro Thermo Fisher Nicolet iS50 FT-IR. La cuantificación química de fibras se realizó mediante la aplicación de la norma ASTM D 1106 – 96.

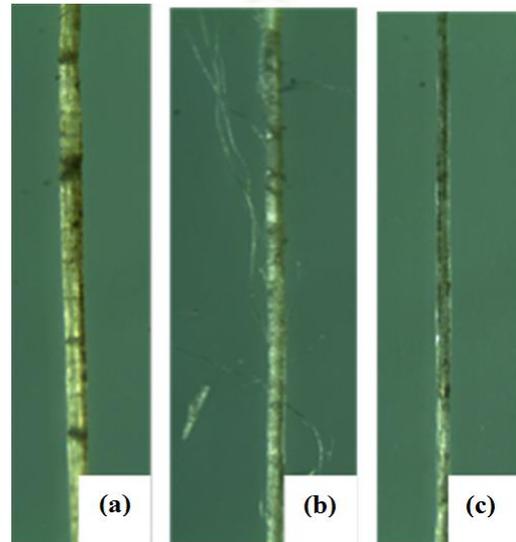
## 2.6 Resina Poliéster

La matriz utilizada en la obtención de los laminados reforzados con fibras naturales fue la denominada Palatal A400, la cual es un poliéster insaturado basado en ácido isoftálico y glicoles estándar, disuelto en estireno, de alta reactividad y viscosidad media, las proporciones definidas para proceso de curado fueron de 5% de monoestireno, 2% de octoato de cobalto y 3% de MEK, dichos valores obedecen a una evaluación previa de tiempos de gelado y resistencias al impacto obtenidos (8,8 kJ/m<sup>2</sup>), para muestras de 80\*10\*5 mm.

## 3. Resultados y discusión

### 3.1 Obtención de fibras de *Sansevieria Trifasciata*

El proceso de extracción de fibras seleccionado, fue el método manual, previa inmersión en agua y putrefacción de hojas (tiempo promedio de inmersión de 14 días), la selección de este método, se debió a la evaluación microscópica de superficie de fibras, pues se evaluaron otras formas de obtención de fibras, la [Figura 1](#) muestra los resultados de la evaluación mencionado.

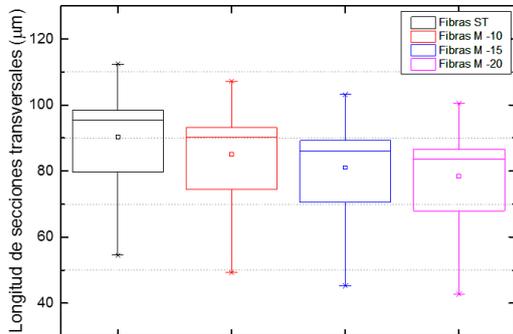


**Figura 1.** Aspectos de fibras en los tres medios de inmersión utilizados para extracción de fibras. (a) H<sub>2</sub>O, (b) NaOH, (c) NaCl.

### 3.2 Evaluación de secciones transversales de fibras

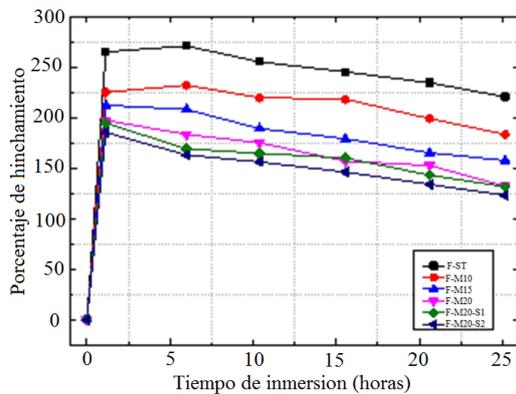
La [Figura 2](#) muestra la tendencia de la variación de las longitudes transversales de las fibras sometidas a la mercerización a diferentes

concentraciones de NaOH, de ella se evidencia la alta variabilidad de las medidas de las secciones transversales, por lo que estos datos solo darían la información de la tendencia de la variación de estas medidas.



**Figura 2.** Longitudes de secciones transversales de fibras sometidas a los procesos de mercerización. ST= Sin tratamiento, M-10 Mercerizado al 10% de NaOH p/v, M-15 (15% NaOH), M-20 (20% NaOH).

**3.3 Evaluación de absorción de agua de fibras**  
 Los efectos de los tratamientos de mercerización y de silanización a los que las fibras fueron sometidas, sobre la capacidad de absorción e hinchamiento en agua se muestran en la [Figura 3](#).



**Figura 3.** Porcentajes de hinchamiento de fibras. ST= Sin tratamiento, M-10 Mercerizado al 10% de NaOH p/v, M-15 (15% NaOH), M-20 (20% NaOH), S1 (Silanización 1% v/v), S2 (Silanización 2% v/v).

Se observa la tendencia a disminuir la capacidad de absorción de agua de las fibras tratadas, y por ende la naturaleza hidrofílica de las fibras, siendo en este caso el efecto del mercerizado de mayor impacto si es comparado al proceso de silanización, ello se debería a la naturaleza del proceso, es decir, el proceso de mercerización, es un proceso controlado de disolución de compuestos de menor peso molecular de las fibras, pero además de lograr el intercambio de H por Na, como se señala en figura 1, mientras que el proceso de silanización podría hacer de forma

similar uso de los OH de las fibras, sin embargo esta interacción se da después de la mercerización, y lavado lo cual la arquitectura de las moléculas de las fibras lignocelulósicas.

**3.4 Análisis químico de fibras**

La composición química de las fibras sometidas a los tratamientos de superficie de mercerización y silanización, se muestran en la [Tabla 1](#).

**Tabla 1**

Composición química de fibras evaluadas según el tratamiento de superficie desarrollado

	Humedad (%)	Extracto libre (%)	Lignina (%)	Celulosa (%)	Hemicelulosa (%)
F-ST	11,52	8,19	28,04	39,97	23,76
F-M10	9,45	4,98	27,78	44,65	22,57
F-M15	8,89	4,57	26,23	50,04	19,07
F-M20	8,45	4,26	25,98	50,68	19,02
F-M20-S1	8,41	4,11	25,82	50,46	19,52
F-M20-S2	8,39	4,03	25,06	50,24	20,61

Se evidencia el efecto de los tratamientos superficiales en el caso del porcentaje de humedad presente en las fibras, lo cual señala el efecto sobre la disminución de la naturaleza hidrofílica de las mismas, así mismo se evidencia la disminución de los porcentajes de lignina, extractivos y hemicelulosa, además del incremento de la celulosa, efecto esperado por el proceso de lixiviación controlada de la mercerización, proceso que al eliminar lignina y hemicelulosa, incrementa el porcentaje de celulosa presente, compuesto de mayor influencia en términos de resistencia, rigidez y estabilidad estructural a las fibras lignocelulósicas se refiere.

**3.5 Evaluación SEM de fibras**

La figura 4 muestra los cambios morfológicos en las superficies de las fibras debido a la aplican diferentes tratamientos químicos. La imagen SEM para mercerizado (b), muestra un aspecto rugoso, probablemente debido a la eliminación de compuestos de baja peso molecular, que se produce durante mercerización, dejando cavidades en la superficie y por ende incremento de la rugosidad; este incremento de la rugosidad de la superficie proporciona un mayor número de puntos de anclaje para la matriz polimérica, aumentando la interacción entre los componentes del compuesto, la interacción mencionada sería una de las causas de las mejoras de las propiedades evaluadas como compuestos reforzados con estas fibras.

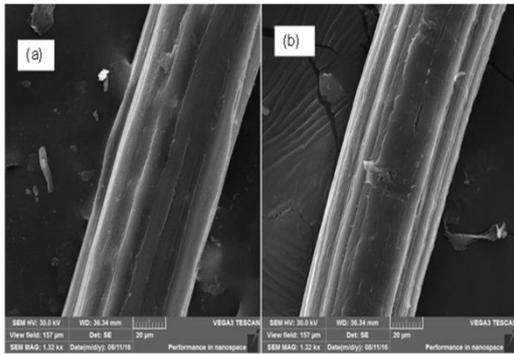


Figura 4. Evaluación SEM de superficies de fibras obtenidas. (a) ST= Sin tratamiento, (b) M-20 (20% NaOH).

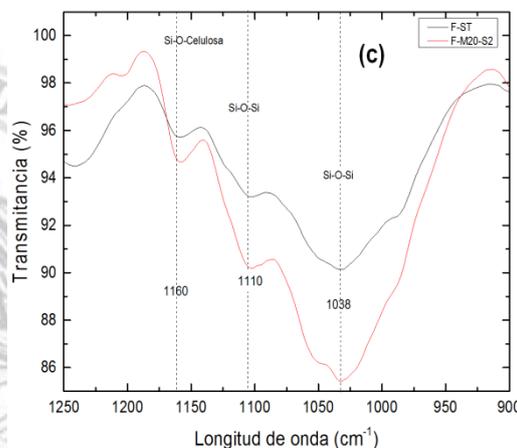
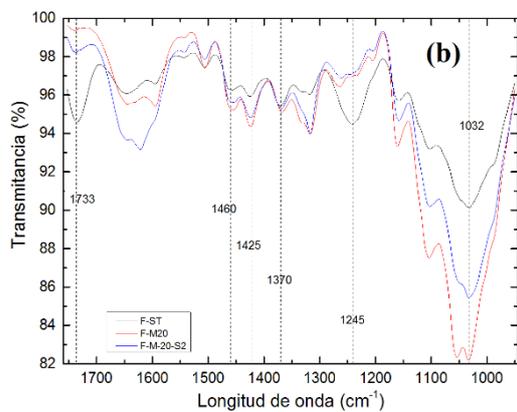
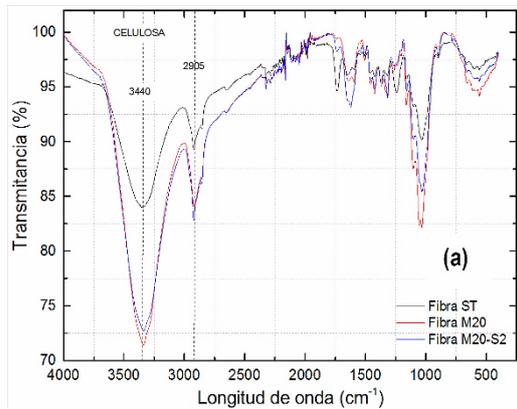


Figura 5. Espectros detallados de curvas FTIR de fibras obtenidas. (a) ST = Sin tratamiento, (b) M-20 (20% NaOH), (c) S2 (Silanización 2% v/v).

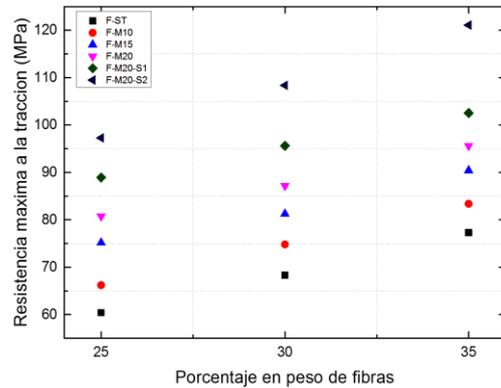
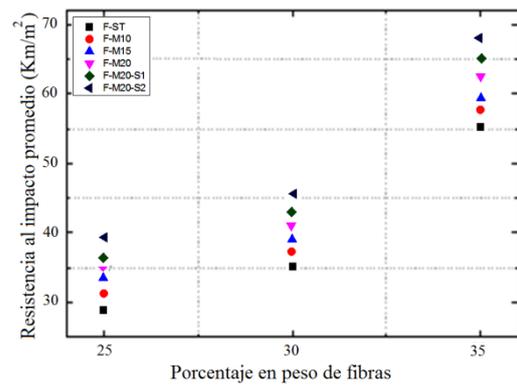


Figura 6. Resultados de ensayos de impacto y tracción, de los compuestos obtenidos. F = fibra; ST= Sin tratamiento, M (Mercerización - NaOH), S (Silanización).

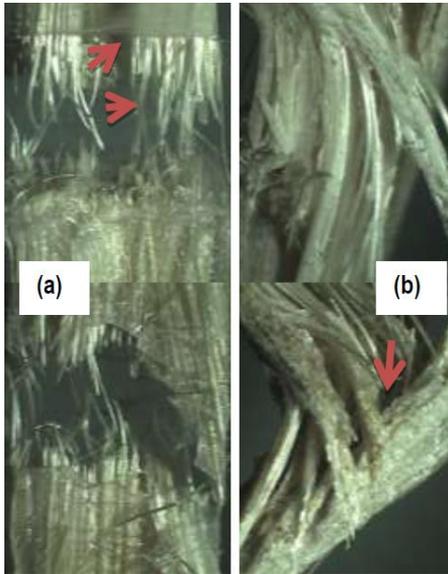
### 3.6 Resultados de FTIR de fibras

De los resultados FTIR, la presencia de celulosa corresponde a  $1032\text{ cm}^{-1}$  (C-O) y  $3440\text{ cm}^{-1}$  (O-H), del estiramiento de los grupos hidroxilo del mismo, para el caso de la hemicelulosa, los picos correspondientes serían de  $1245\text{ cm}^{-1}$  (C-O) y  $1733\text{ cm}^{-1}$  (C=O). El pico de  $1370\text{ cm}^{-1}$ , correspondería al grupo acetyl de la lignina, mientras que a  $1460\text{ cm}^{-1}$ , corresponde a la vibración del  $\text{CH}_2$ , también de la lignina, el pico  $1509\text{ cm}^{-1}$ , corresponde a C=C del anillo de benceno de la lignina (Figura 5a,b). Por otro lado,  $1160$ ,  $1110$  y  $1038\text{ cm}^{-1}$  corresponden a los picos de Si-O-Si y Si-O-Celulosa (Figura 5c), lo cual indica la presencia del agente de acople en las fibras sometidas a los tratamientos de silanización, estos datos se reportan en (Chen et al., 2009).

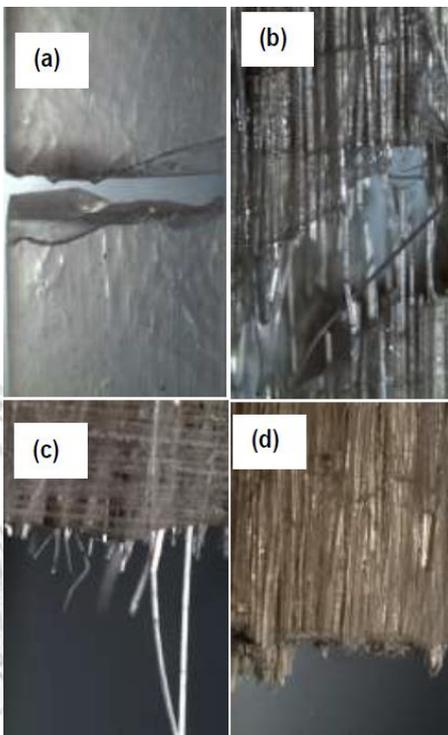
### 3.7 Ensayo de tracción e impacto de compuestos

Las Figura 6a y 6b muestran la tendencia al incremento de la resistencia al impacto y la resistencia máxima a la tracción, de estas figuras se evidencia (1) el efecto moderado de los tratamientos de superficie aplicados a las fibras (mercerización y silanización), al ser utilizados estos como refuerzo a la matriz poliéster utilizada, siendo mayor el efecto en el

caso de los valores de resistencia máxima en tracción, ello se debería a la mayor facilidad de disminución del ángulo fibrilar, lo que permite mejor alineación entre la dirección de carga y el eje de las fibras; (2) la variable de mayor relevancia en las propiedades evaluadas en los compuestos obtenidos, es el porcentaje en peso de las fibras.



**Figura 7.** Zonas de impacto de los compuestos obtenidos y ensayados por ensayo de impacto. (a) ST= Sin tratamiento - 35% peso, (b) M-20 (20% NaOH), S2 (Silanización 2% v/v). EN ISO 179-1.



**Figura 8.** Zonas de ruptura de los compuestos obtenidos y ensayados en tracción. (a) Resina sin refuerzo, (b) ST= Sin tratamiento - 35% peso, (c) M-20 (20% NaOH), (d) M-20 (20% NaOH) y S2 (Silanización 2% v/v). ASTM D638-1.

Los porcentajes en peso de 35% generan la modificación de la forma de fractura del compuesto, pues paso de fractura de matriz y fibras en forma predominante, a un proceso de falla por delaminación, lo cual incrementa la resistencia final al impacto de los compuestos evaluados (Figura 7), mientras que el caso de los valores en tracción, la diferencia de las muestras ensayadas está en la disminución del mecanismo de arranque de fibra, propio de refuerzos de baja adherencia (Figura 8).

#### 4. Conclusiones

La modificación química de la superficie aplicada a las fibras de ST (mercerización / silanización), modificaron sus características físicas y químicas superficiales:

- ✓ Disminuyendo sus secciones longitudinales (diámetros),
- ✓ Disminuyendo su capacidad de hinchamiento en agua
- ✓ Incrementando rugosidad superficial
- ✓ Disminuyendo carácter hidrofílica inicial
- ✓ Disminuyendo contenidos de lignina y hemicelulosa, incrementando en promedio la celulosa.

La modificación química de la superficie aplicada a las fibras de ST (mercerización / silanización), modificaron los atributos mecánicos en los compuestos obtenidos en matriz poliéster:

- ✓ El incremento de los porcentajes en peso de fibras fue directamente proporcional a la resistencia al impacto y a la resistencia a la tracción, en todos los niveles evaluados en la presente investigación.
- ✓ El valor máximo de resistencia al impacto obtenido fue de 68 kJ/m<sup>2</sup> (30% en peso de fibras, mercerizado (20% p/v) – silanizado (2% v/v), fibra continua).
- ✓ El valor máximo de resistencia a la tracción fue de 121 MPa (30% en peso de fibras, mercerizado (20 % p/v) – silanizado (2% v/v), fibra continua).

#### Agradecimientos

Al Laboratorio de Materiales Compuestos de la Escuela de Ingeniería de Materiales de la Universidad Nacional de Trujillo.

#### Referencias bibliográficas

- Chen, H.; Miao, M.; Ding, X. 2009. Influence of moisture absorption on the interfacial strength of bamboo/vinyl ester composites. *Compos A Appl Sci Manuf* 40: 2013–2019.

- Dash, B.; Rana, A.; Mishra, S.; Mishra, H.; Nayak, S. 2000. Novel low cost jute–polyester composite. II. SEM observation of the fracture surfaces. *Polym Plast Technol* 39(2): 333–350.
- Hashim, Y.; Nazrul, R.; Azriszul, A.; Ahmad, M. 2012. Mercerization treatment parameter effect on natural fiber reinforced polymer matrix composite: A brief review. *World Academy of Science* 6(8): 778-784.
- Kabir, M.; Wang, H.; Lau, K.; Cardona, F. 2012. Chemical treatments on plant-based natural fibre reinforced polymer composites: An overview. *Composites Part B: Engineering* 43(7): 2883-2892.
- Madsen, B. 2004. Properties of plant fibre yarn polymer composites. Technical University of Denmark, Report BYG-DTU, R-082. 218 pp.
- Mohd, H.; Mohd, R.; Azriszul, A.; Ahmad, Z.; Saporudin, A. 2012. Mercerization Treatment Parameter Effect on Natural Fiber Reinforced Polymer Matrix Composite. *World Academy of Science, Engineering and Technology* 68: 1-7.
- Mwaikambo, L.; Ansell, M. 2006. Mechanical properties of alkali treated plant fibres and their potential as reinforcement materials. I. Hemp fibres. *Journal of Materials Science* 41: 2483-2496.
- Palova, B.; Lawrence, V.; Briesemeister, R.; Becker, D. 2007. Estudo das propriedades mecânicas de um composto de PVC modificado com fibras de bananeira. *Polimeros: Ciencia e Tecnologia* 17(1): 1-4.
- Ridzuan, M.; Sapuan, S.M.; Azli, M.; Zaid, M.; Musthafah, M.T.; Shaharuzaman, M.A. 2016. Concurrent Design of Green Composites. In Verma, D.; Jain, S.; Zhang, X.; Chandra, P. Gope. *Green Approaches to Biocomposite Materials Science and Engineering*. IGI GLOBAL. 322 pp.
- Scrivener Publishing. 2015. The heart of natural fiber composites: Adhesion at the interface. Disponible en: <http://www.scrivenerpublishing.com/wordpress/?tag=ifss>
- Sreenivasan, V.; Ravindran, D.; Manikandan, V.; Narayanasamy, R. 2012. Influence of fibre treatments on mechanical properties of short *Sansevieria*. *Materials & Design* 37: 111 - 121.
- Yan, L.; Kasal, B.; Huang, L. 2016. A review of recent research on the use of cellulosic fibres, their fibre fabric reinforced cementitious, geo-polymer and polymer composites in civil engineering. *Composites Part B: Engineering* 92: 94-132.
- Zhou, F.; Cheng, G.; Jiang, B. 2013. Effect of silane treatment on microstructure of sisal fibers. *Applied Surface Science* 292: 806-812.

