

Análisis morfológico de la afectación microestructural de material biocompuesto reforzado con fibra de fique debido a corte con herramienta convencional, láser y chorro de agua¹

Morphologic Analysis of the microstructural affectation of biocomposite material reinforced with fique fiber due to cutting with conventional tool, laser and water jet

S. A. Gómez, E. Córdoba, V. H. Cuellar y R. Peña.

Recibido: abril 20 de 2021 – Aceptado: febrero 10 de 2022

Resumen— Gracias a sus propiedades, el uso de materiales compuestos en aplicaciones industriales se ha incrementado en las últimas décadas especialmente los que cuentan con refuerzos de fibras naturales debido a su menor impacto ambiental, sin embargo, uno de los grandes desafíos que presentan este tipo de material es darles forma por medio de corte ya que se puede comprometer su integridad superficial. En el presente trabajo se realiza un análisis morfológico a material compuesto con fibra de fique evaluando la afectación superficial por corte realizado con herramienta convencional, láser y chorro de agua. El material se fabricó con seis capas de fibra de fique y resina poliéster. El estudio morfológico se llevó a cabo por medio de microscopía electrónica de barrido donde se evidenciaron altos defectos con la herramienta convencional, una afectación a la matriz en el corte

con láser y un bajo impacto superficial utilizando el chorro de agua.

Palabras clave— Análisis morfológico, Compuesto, Corte chorro agua, Corte laser, Fique.

Abstract— Thanks to their properties, the use of composite materials in industrial applications has increased in recent decades, especially those with natural fiber reinforcements due to their lower environmental impact; however, one of the great challenges presented by this type of material is to shape them by cutting as their surface integrity can be compromised. In the present work, morphological analysis is carried out on a composite material with fique fiber, evaluating the superficial affectation by cutting made with a conventional tool, laser, and water jet. The material was made with six layers of fique fiber and polyester resin. The morphological study was carried out through scanning electron microscopy, where high defects were evidenced with the conventional tool, an affectation to the matrix in laser cutting, and a low surface impact using the water jet.

Keywords— Morphological analysis, Composite, Water jet cutting, Laser cutting, Fique.

¹Producto apoyado por la Universidad Pontificia Bolivariana a través de la Facultad de Ingeniería Mecánica y las Unidades tecnológicas de Santander a través del programa producción industrial.

S. A. Gómez, Universidad Pontificia Bolivariana, Bucaramanga, Colombia, email: sergio.gomez@upb.edu.co.

E. Córdoba, Universidad Pontificia Bolivariana, Bucaramanga, Colombia, email: edwin.cordoba@upb.edu.co.

V. H. Cuellar, Universidad Pontificia Bolivariana, Bucaramanga, Colombia, email: victor.cuellar@upb.edu.co.

R. Peña, Unidades tecnológicas de Santander, Bucaramanga, Colombia, email: industrial@correo.uts.edu.co.

Como citar este artículo: S. A. Gómez, E. Córdoba, V. H. Cuellar y R. Peña. Análisis morfológico de la afectación microestructural de material biocompuesto reforzado con fibra de fique debido a corte con herramienta convencional, láser y chorro de agua, *Entre Ciencia e Ingeniería*, vol. 16, no. 31, pp. 9-16, enero-junio 2022. DOI: <https://doi.org/10.31908/19098367.2372>.

I. INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas la manufactura de materiales compuestos reforzados con fibras ha venido creciendo exponencialmente, gracias a su comportamiento a alteraciones externas y sus excelentes propiedades, utilizándose en diversos sectores industriales que van desde aplicaciones aeroespaciales hasta aplicaciones médicas [1].

Sin embargo, uno de los desafíos que presentan estos materiales es darle forma por medio de corte según dimensiones preestablecidas, debido a que normalmente se compromete la integridad de las superficies [2].

Esto se debe a que en su gran mayoría se preparan en forma laminada y a su naturaleza no homogénea y anisotrópica que



conlleva adicionalmente a un desgaste abrasivo en las herramientas de corte utilizadas [3].

Una de las principales desventajas de utilizar herramientas de corte tradicional en los compuestos es la producción de una superficie de mala calidad produciendo adicionalmente deshilachado, delaminación y agrietamiento al material compuesto [4].

Con el objeto de impactar en una menor escala la superficie cuando se realiza los cortes se han implementado el uso de herramientas no tradicionales como son el corte con láser y con chorro de agua [5].

En el corte con chorro de agua, el material a remover, se elimina por el impacto de agua, acompañada normalmente con partículas abrasivas, con un alto caudal, velocidad y presión, la cual se expulsa a través de una tobera estrecha [6].

El corte laser se produce por un haz de luz intensivo que posee una longitud de onda en el rango infrarrojo el cual se enfoca a través de lentes hacia el área de corte elevando la temperatura del material hasta su punto de fusión provocando la degradación local del material [7].

En la literatura la gran mayoría de investigaciones de corte a compuestos con la técnica láser y chorro de agua se ejecutan a materiales con refuerzos sintéticos [8]–[11], sin embargo, son pocos a los reforzados con fibra naturales y nulos a compuestos donde se utilice la fibra natural de fique.

La fibra de fique se cultiva principalmente en países suramericanos como Colombia, Ecuador, Costa Rica, Brasil, Venezuela, y Antillas, usándose principalmente para la elaboración de sacos de cafés y cuerdas, sin embargo, se han realizado estudios mecánicos que evidencia su gran potencial para uso como refuerzo de materiales compuestos [12]–[16].

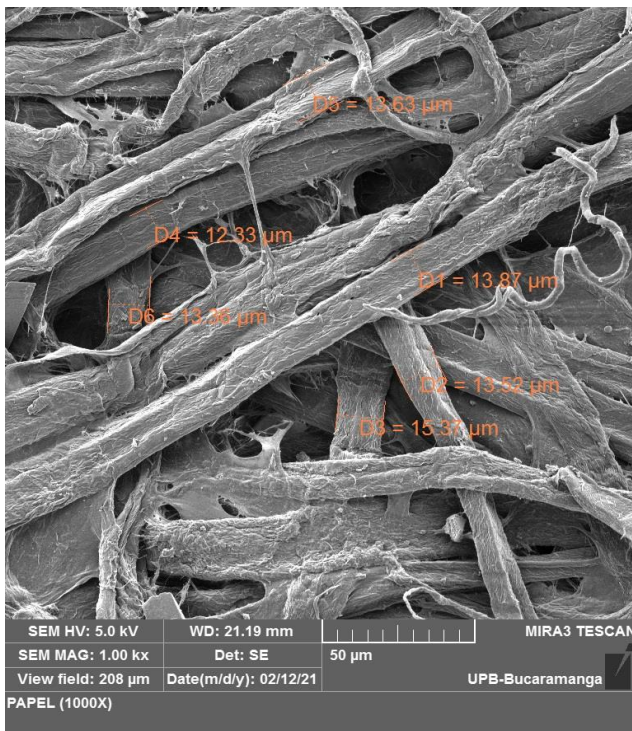


Fig.1. Diametro fibra de fique.

En el presente trabajo se realiza un análisis morfológico por medio de microscopia electrónica de barrido a material compuesto reforzado con fibra de fique para evaluar la afectación superficial por el corte ejecutado con herramienta convencional, láser y chorro de agua.

II. MÉTODOS

A. Materiales

Para la elaboración del material compuesto se utilizó como refuerzo fibra de fique en configuración aleatoria, la misma se obtuvo de la fundación San Lorenzo de Barichara, Santander Colombia.

La fibra natural de fique presentaba un diámetro de $13.68 \pm 0.90 \mu\text{m}$ y una longitud de $1023.85 \pm 558.4 \mu\text{m}$ como se observa en las micrografías de la Fig. 1. y 2. respectivamente.

Como matriz se utilizó resina termoestable poliéster buscándose en el mercado la de menor viscosidad para una mejor aplicación, siendo la de referencia 856 (Pre acelerada) suministrada por la empresa Ingequímicas de Bucaramanga, Santander, Colombia. El porcentaje de catalizador utilizado fue de un 2% del peso de la resina.

B. Manufactura del compuesto

Seis capas de fibra de fibra correspondiente al 18.3% del peso total del compuesto fueron utilizadas para su manufactura. El material se fabricó utilizando la técnica denominada hand lay up.

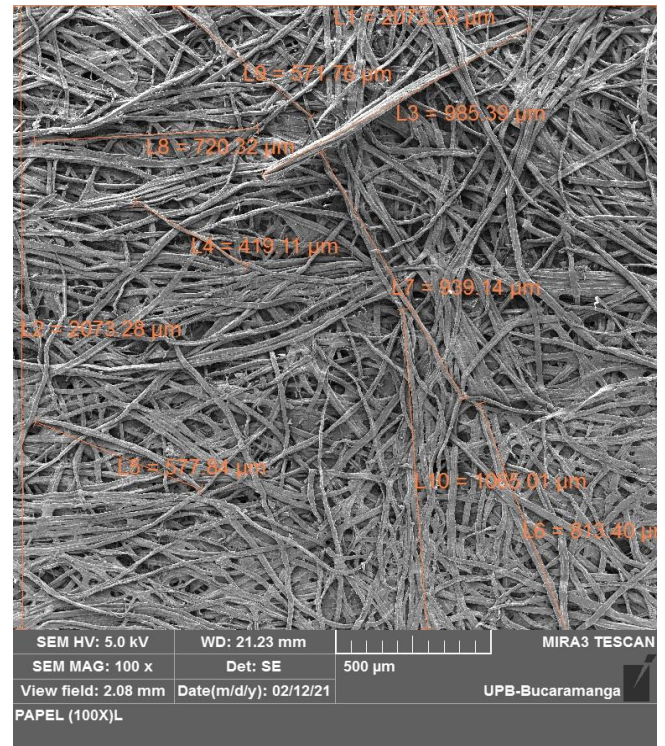


Fig.2. Longitud fibra de fique.

Cada una de las capas de fibra de fique fueron pre impregnadas con la resina poliéster apilándose una sobre la otra hasta completar el arreglo predefinido. Un rodillo metálico se utilizó para ejercer presión entre las capas procurando eliminar excesos y burbujas residuales. El arreglo se formó sobre un molde polimérico plano el cual se impregno con cera desmoldante previamente. en la Fig. 3 se observa el proceso de fabricación.



Fig. 3. Manufactura del compuesto.

La geometría final del compuesto fue de 9 cm de ancho por 9 cm de largo y 4.30 mm de espesor.

El curado del material se realizó a temperatura de 23.3 ± 3.2 °C con una humedad $75.8 \pm 10.2\%$ durante 72 horas.

C. Corte del material compuesto

Los cortes del material compuesto se realizaron por medio de caladora de banco, máquina de corte laser y máquina con corte por chorro de agua.

Se realizaron probetas con una geometría de 1cm x 1cm para poder ser analizadas posteriormente por microscopia electrónica de barrido.

La caladora de banco utilizada fue la Bauker modelo SS406 con potencia de 120W, el corte se realizó a la velocidad 2 predefinida en la herramienta aproximadamente 800 cpm. En la Fig. 4 se observa el proceso de corte con la caladora de banco.

El corte laser se realizó en máquina Liao cheng Worldslaser, modelo CH7050B, con una potencia de laser de 60 W a una velocidad de 12 mm/s, con onda continua. En la Fig. 5 se observa el corte con maquina laser.

El corte con chorro de agua se ejecutó por la empresa Hydro Bas de Bucaramanga, Santander, Colombia. Los parámetros de corte definidos fueron, tamaño de grano abrasivo malla 120, presión de agua de 150 MPa, distancia de corte de 3 mm y velocidad transversal de 30 mm / min.



Fig. 4. Corte convencional.

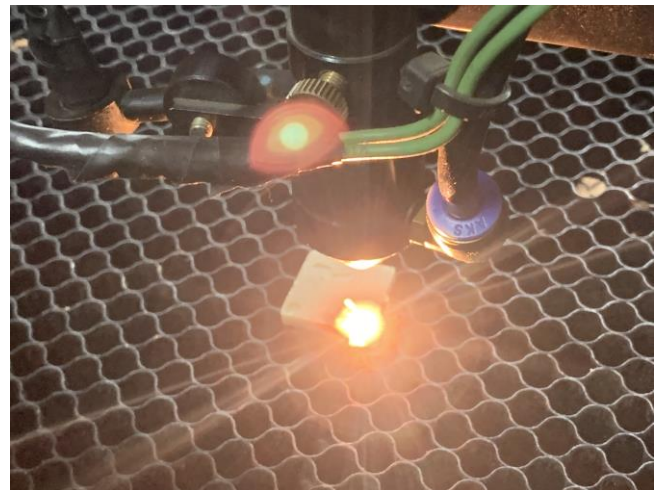


Fig. 5. Corte con máquina laser.

D. Analisis morfologico

El análisis morfológico se realizó utilizando microscopio electrónico de barrido marca MIRA 3 FEG-SEM capturando las micrografías a distintos planos focales, con aumentos de 18X, 30X, 100X, 250X y 500X.

Con el fin de mejorar la conductividad eléctrica, las muestras fueron metalizadas previamente en un baño de oro. En la Fig. 6 se observa el recubrimiento en oro a las tres muestras producto de los diferentes cortes.

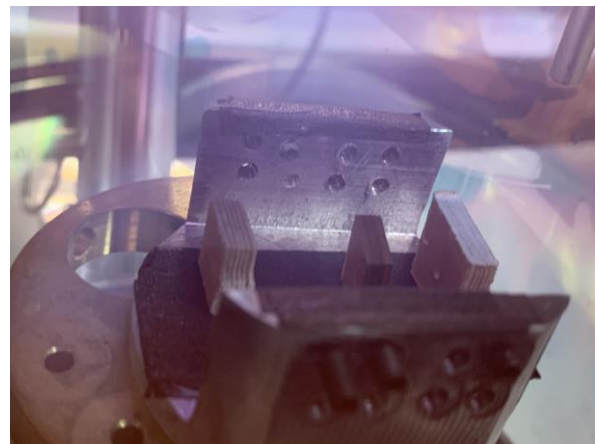


Fig. 6. Recubrimiento en oro.

III.RESULTADOS

A. Corte con herramienta convencional

En las Fig. 7, 8, 9 y 10 se observan las micrografías del corte del material compuesto con la herramienta convencional a aumentos de 30X, 100X, 250X y 500X respectivamente.

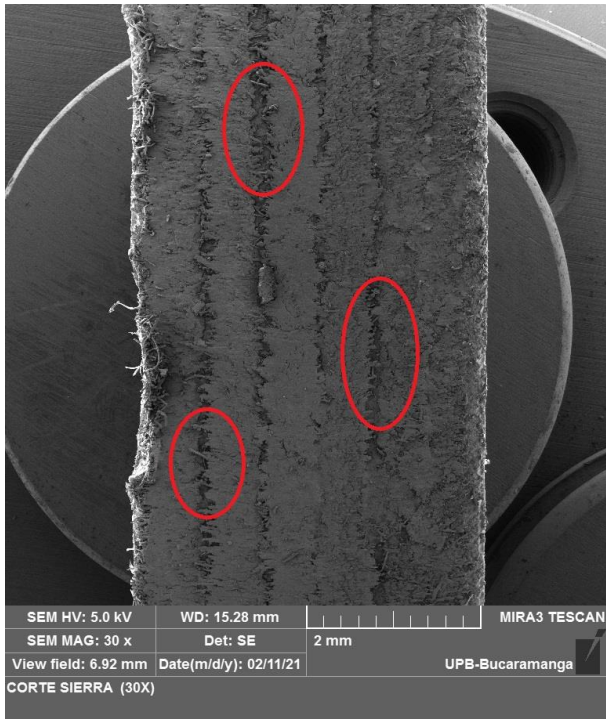


Fig. 7. Corte convencional a 30X.

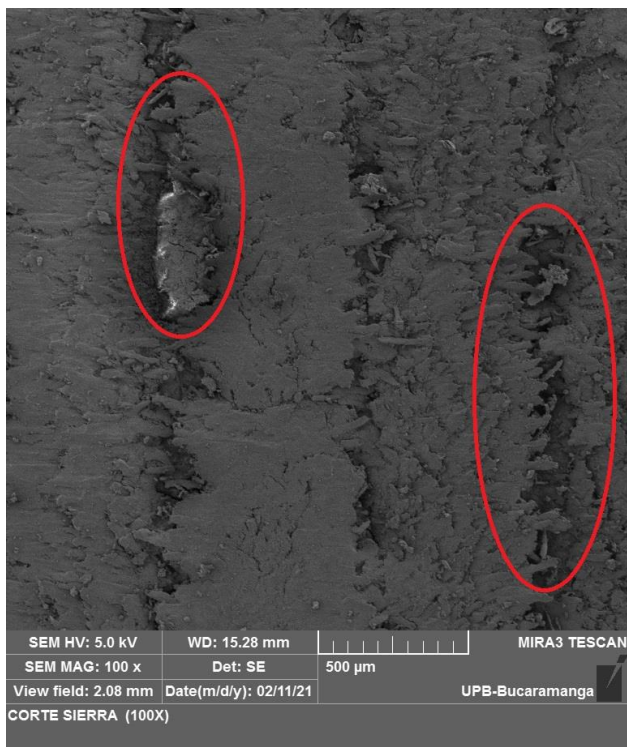


Fig. 8. Corte convencional a 100X.

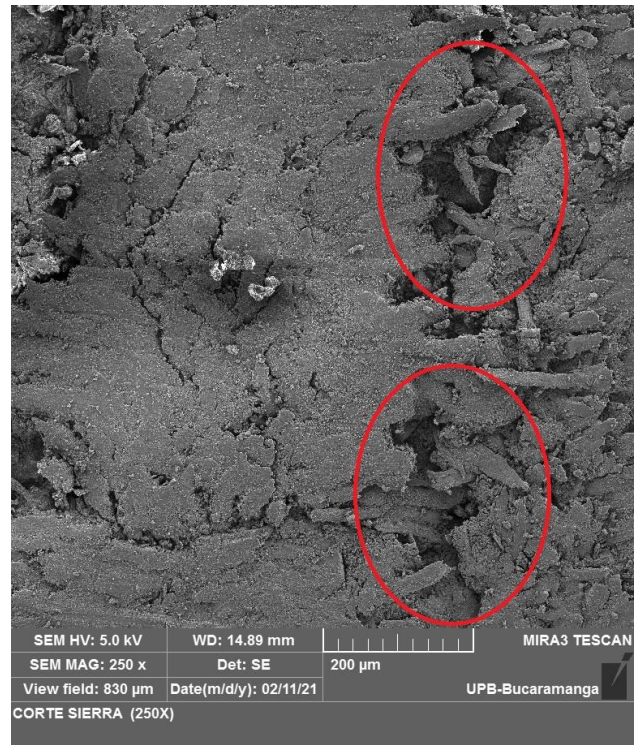


Fig. 9. Corte convencional a 250X.

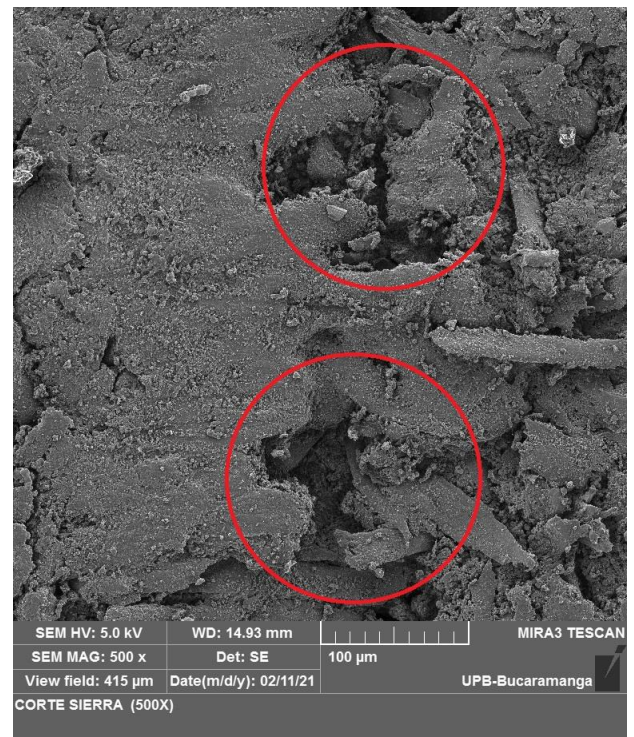


Fig. 10. Corte convencional a 500X.

En el corte se evidencia deshilachado, de laminación, y agrietamiento del material debido a las fuerzas de corte que acompañan al proceso.

Estos mismo fenómenos los presenta Díaz et al [17] en biocompuesto de fibras tejidas de algodón, lino y yute con una matriz de PLA cuando indujeron daño por perforación, así como Solati et al [4] en corte con broca convencional a compuesto de fibra de vidrio.

La velocidad de avance, la geometría y el ángulo de corte de la herramienta son los parámetros principales que afectan la calidad de la superficie de los materiales compuestos cuando se utiliza este tipo de tecnología convencional [18]–[21]; por lo que para estudios posteriores se recomienda evaluar los efectos de la variación de los mismos, sobre materiales compuestos con fibra de fique para identificar la configuración que impacte en menor medida el material.

B. Corte con laser

En las Fig. 11, 12, 13 y 14 se observa las micrograffías del corte del material compuesto con láser de 30X, 100X, 250X y 500X respectivamente.

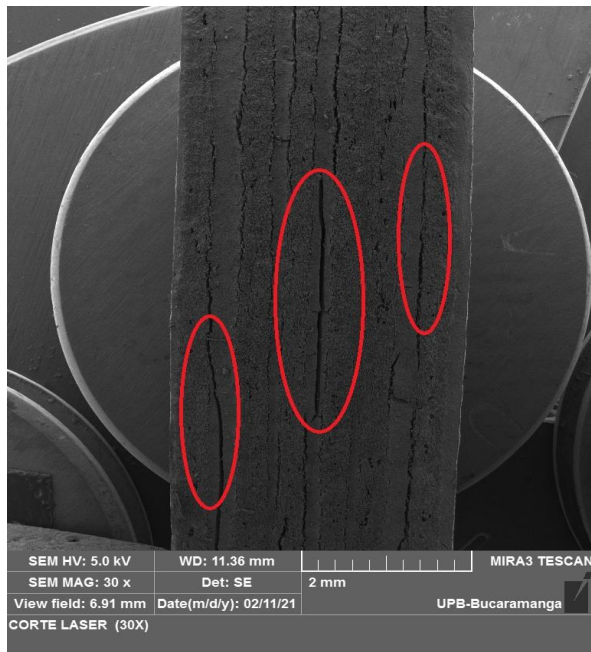


Fig. 11. Corte laser a 30X.

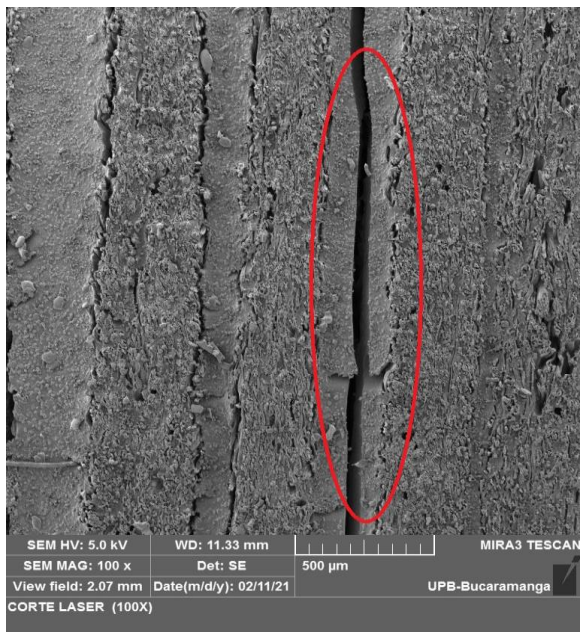


Fig. 12. Corte laser a 100X.

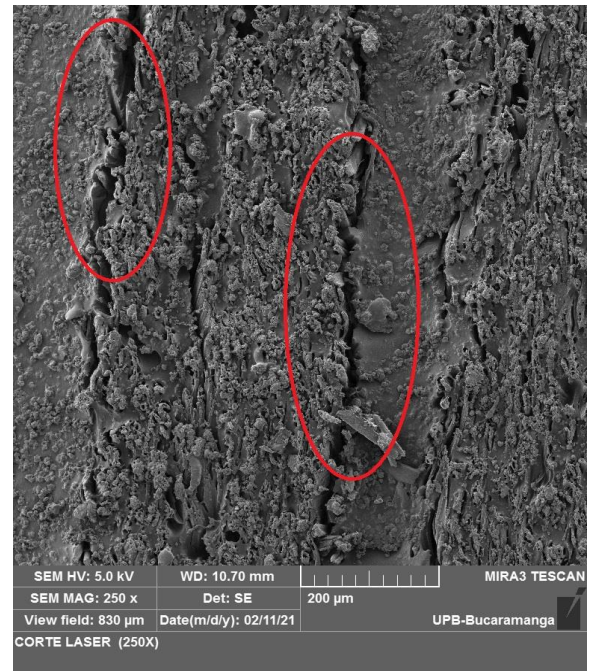


Fig. 13. Corte laser a 250X.

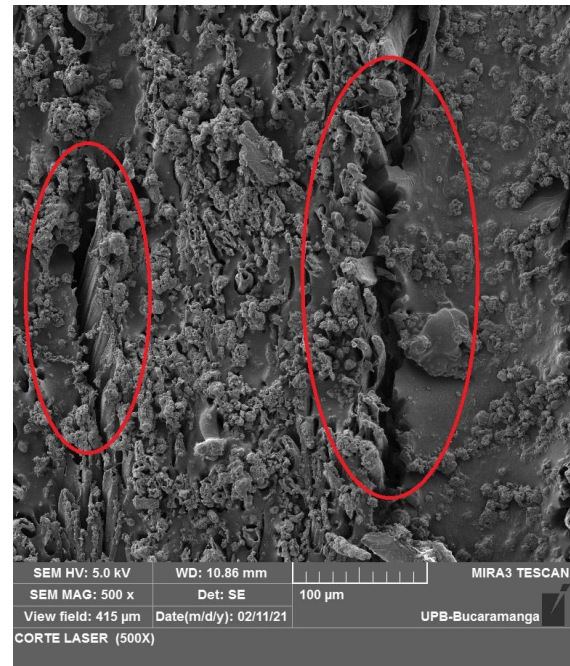


Fig. 14. Corte laser a 500X.

En el corte realizado con láser se observa la descomposición y delaminación de la matriz.

Esto se debe a como lo menciona Riveiro et al. [22] la cantidad de energía que se requiere para fundir la fibra es difiere de la que se requiere para la matriz polimérica, adicionalmente la conductividad térmica de las fibras usualmente es más alta que la matriz por lo que la energía térmica se puede transferir más fácilmente mientras que en la matriz se concentra afectando la zona del corte.

Perez-salinas et al [23] realizaron estudio con corte láser en a compuestos con el mismo tipo de matriz, poliéster, pero con fibras naturales de abacá y cascarilla de arroz, obteniendo una

afectación térmica muy similar a la del presente estudio.

Cabe resaltar que para lograr mejor calidad en el corte en los materiales compuestos con fibras naturales, como lo es la del fique, la potencia del láser, la velocidad de corte, la presión del gas, la posición del punto focal, la frecuencia de la onda láser, el tipo de láser y el tipo de onda son los parámetros que deben ser regulados principalmente como lo menciona El-Hofy et al [24].

C. Corte con chorro de agua

En las Fig. 15, 16, 17 y 18 se observa las micrografías del corte del material compuesto con chorro de agua a aumentos de 18X, 100X, 250X y 500X respectivamente.

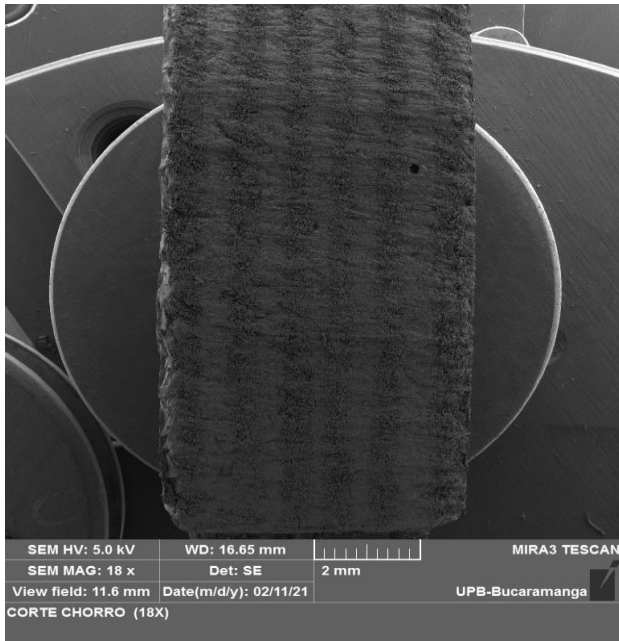


Fig. 15. Corte chorro de agua a 18X.

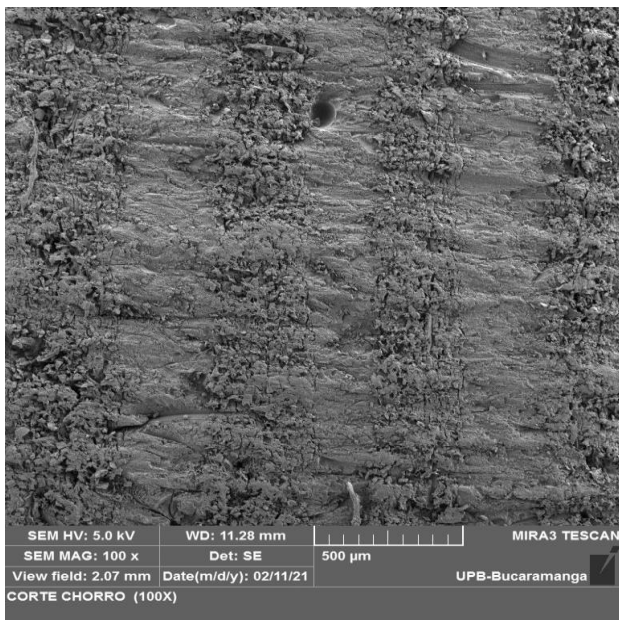


Fig. 16. Corte chorro de agua a 100X.

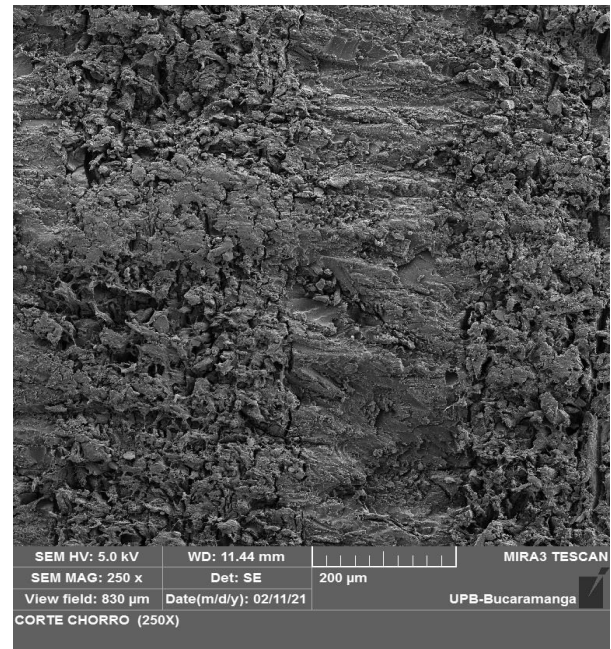


Fig. 17. Corte chorro de agua a 250X.

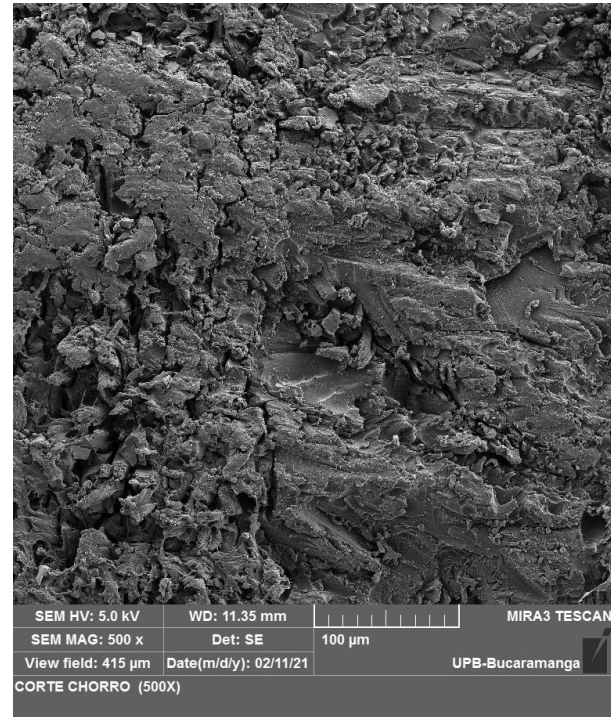


Fig. 18. Corte chorro de agua a 500X.

En el corte realizado con chorro de agua no se evidencia defectos de alto impacto. Vinayagamoorthy et al [25], lo justifican porque en el chorro de agua se utiliza la erosión para realizar el corte, por lo que no hay contacto entre la herramienta y el material, lo que no produce el alto impacto de las fuerzas de corte relacionados con daños por delaminación.

Sin embargo, Dhanawade et al [26] explican que en caso de que se produzca delaminación se debe a que una cuña de agua hizo grietas entre dos capas adyacentes del material compuesto.

Estudios realizados con corte con chorro de agua a material

compuesto con fibras de piña y lino con relleno de celulosa [27], junto a material de fibra de banana y matriz de poliéster [28] mostraron igualmente una buena calidad de superficie sin deslaminación.

La velocidad transversal, presión del agua, caudal, tipo y tamaño de granos abrasivos y distancia de corte son los parámetros que se deben evaluar para mejorar la calidad del corte por chorro de agua en posteriores estudios [29], sobre este tipo de material con fique.

IV. CONCLUSIONES

Se evidenció diferente afectación en la superficie del material compuesto reforzado con fibra de fique al realizarse el corte con las diferentes técnicas (Herramienta convencional, laser y chorro de agua) cuando se evaluó por medio del análisis morfológico con microscopia electrónica de barrido. En el corte con herramienta convencional se presenta la peor calidad superficial ya que se produjeron fenómenos de deshilachado, de laminación, y agrietamiento del material. En el corte con láser el impacto es menor comparado contra el realizado con caladora de banco sin embargo se observa defectos en la matriz debido a la cantidad de energía que utiliza la técnica, por último, en el corte con chorro de agua se obtuvo la mejor calidad superficial sin evidenciarse afectaciones de alta relevancia sobre el material compuesto.

AGRADECIMIENTOS

Los autores reconocen la contribución al programa de Tecnología de Producción Industrial de las Unidades Tecnológicas de Santander quienes suministraron los materiales para la fabricación del material compuesto adicionalmente agradecen al Laboratorio de Nanociencia y Nanotecnología de la Universidad Pontificia Bolivariana seccional Bucaramanga donde se capturaron las micrografías por medio de microscopia electrónica de barrido que permitieron realizar el análisis morfológico.

REFERENCIAS

- [1] C. Ganesan, P. S. Joanna, and D. Singh, "Fatigue life modeling of FRP composites: A comprehensive review," *Mater. Today Proc.*, 2021, doi: 10.1016/j.matpr.2020.11.119.
- [2] C. Kuo, J. Liu, T. Chang, and S. Ko, "The effects of cutting conditions and tool geometry on mechanics, tool wear and machined surface integrity when routing CFRP composites," *J. Manuf. Process.*, vol. 64, no. June 2020, pp. 113–129, 2021, doi: 10.1016/j.jmapro.2021.01.011.
- [3] C. Pereszlai, N. Geier, D. I. Poór, B. Z. Balázs, and G. Póka, "Drilling fibre reinforced polymer composites (CFRP and GFRP): An analysis of the cutting force of the tilted helical," *Compos. Struct.*, p. 113646, 2021, doi: 10.1016/j.compstruct.2021.113646.
- [4] A. Solati, M. Hamed, and M. Safarabadi, "Comprehensive investigation of surface quality and mechanical properties in CO₂ laser drilling of GFRP composites," *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, vol. 102, 2019, doi: 10.1007/s00170-018-3164-6.
- [5] S. Marimuthu, J. Dunleavey, Y. Liu, M. Antar, and B. Smith, "Laser cutting of aluminium-alumina metal matrix composite," *Opt. Laser Technol.*, vol. 117, no. March, pp. 251–259, 2019, doi: 10.1016/j.optlastec.2019.04.029.
- [6] U. A. Kumar, S. M. Alam, and P. Laxminarayana, "Influence of abrasive water jet cutting on glass fibre reinforced polymer (GFRP) composites," *Mater. Today Proc.*, vol. 27, pp. 1651–1654, 2020, doi: 10.1016/j.matpr.2020.03.554.
- [7] F. Masoud, S. M. Sapuan, M. K. A. Mohd Ariffin, Y. Nukman, and E. Bayraktar, "Cutting processes of natural fiber-reinforced polymer composites," *Polymers (Basel)*, vol. 12, no. 6, pp. 15–17, 2020, doi: 10.3390/POLYM12061332.
- [8] I. A. Choudhury and P. C. Chuan, "Experimental evaluation of laser cut quality of glass fibre reinforced plastic composite," *Opt. Lasers Eng.*, vol. 51, no. 10, pp. 1125–1132, 2013, doi: 10.1016/j.optlaseng.2013.04.017.
- [9] P. Patel, S. Sheth, and T. Patel, "Experimental Analysis and ANN Modelling of HAZ in Laser Cutting of Glass Fibre Reinforced Plastic Composites," *Procedia Technol.*, vol. 23, pp. 406–413, 2016, doi: 10.1016/j.protcy.2016.03.044.
- [10] K. Ramraji, K. Rajkumar, M. Dhananchezian, and P. Sabarinathan, "Key Experimental Investigations of cutting dimensionality by Abrasive Water Jet Machining on Basalt Fiber/Fly ash Reinforced Polymer Composite," *Mater. Today Proc.*, vol. 22, pp. 1351–1359, 2019, doi: 10.1016/j.matpr.2020.01.428.
- [11] D. R. Tripathi, K. H. Vachhani, S. Kumari, Dinbandhu, and K. Abhishek, "Experimental investigation on material removal rate during abrasive water jet machining of GFRP composites," *Mater. Today Proc.*, vol. 26, pp. 1389–1392, 2019, doi: 10.1016/j.matpr.2020.02.280.
- [12] D. P. Navia and N. Bejarano, "Evaluación de propiedades físicas de bioplásticos termo-comprimidos elaborados co harina de yuca," *Rev. del Inst. Nac. Hig. Rafael Rangel*, vol. 12, pp. 40–48, 2014.
- [13] G. R. Altoé, P. A. Netto, M. Barcelos, A. Gomes, F. M. Margem, and S. N. Monteiro, "Bending mechanical behavior of polyester matrix reinforced with fique fiber," *Charact. Miner. Met. Mater. 2015*, pp. 117–121, 2016, doi: 10.1007/978-3-319-48191-3_14.
- [14] P. Gañán and I. Mondragon, "Thermal and degradation behavior of fique fiber reinforced thermoplastic matrix composites," *J. Therm. Anal. Calorim.*, vol. 73, no. 3, pp. 783–795, 2003, doi: 10.1023/A:1025830430267.
- [15] M. S. Oliveira *et al.*, "Statistical analysis of notch toughness of epoxy matrix composites reinforced with fique fabric," *J. Mater. Res. Technol.*, vol. 8, no. 6, pp. 6051–6057, 2019, doi: 10.1016/j.jmrt.2019.09.079.
- [16] S. Gómez, B. Ramón, and R. Guzman, "Comparative study of the mechanical and vibratory properties of a composite reinforced with fique fibers versus a composite with E-glass fibers," *Rev. UIS Ing.*, vol. 17, no. 1, pp. 43–50, 2018, doi: https://doi.org/10.18273/revuin.v17n1-2018004.
- [17] A. Díaz-Álvarez, Á. Rubio-López, C. Santiuste, and M. H. Miguélez, "Experimental analysis of drilling induced damage in biocomposites," *Text. Res. J.*, vol. 88, no. 22, pp. 2544–2558, 2018, doi: 10.1177/0040517517725118.
- [18] T. B. Yallow, P. Kumar, and I. Singh, "A study about hole making in woven jute fabric-reinforced polymer composites," *Proc. Inst. Mech. Eng. Part L J. Mater. Des. Appl.*, vol. 230, no. 4, pp. 888–898, 2016, doi: 10.1177/1464420715587750.
- [19] H. R. Maleki, M. Hamed, M. Kubouchi, and Y. Arao, "Experimental investigation on drilling of natural flax fiber-reinforced composites," *Mater. Manuf. Process.*, vol. 34, no. 3, pp. 283–292, 2019, doi: 10.1080/10426914.2018.1532584.
- [20] N. Venkateshwaran and A. ElayaPerumal, "Hole quality evaluation of natural fiber composite using image analysis technique," *J. Reinf. Plast. Compos.*, vol. 32, no. 16, pp. 1188–1197, 2013, doi: 10.1177/0731684413486847.
- [21] G. D. Babu, K. Babu, and U. M. Gowd, "Effect of Machining Parameters on Milled Natural Fiber-Reinforced Plastic Composites," *J. Adv. Mech. Eng.*, vol. 1, pp. 1–12, 2013, doi: 10.7726/jame.2013.1001.
- [22] A. Riveiro *et al.*, "Experimental study on the CO₂ laser cutting of carbon fiber reinforced plastic composite," *Compos. Part A Appl. Sci. Manuf.*, vol. 43, no. 8, pp. 1400–1409, 2012, doi: 10.1016/j.compositesa.2012.02.012.
- [23] C. Pérez-Salinas, M. Riera, and C. Tonato, "Estudio experimental sobre el corte con láser de CO₂ a baja potencia del compuesto de plástico reforzado con fibras naturales," *Enfoque UTE*, vol. 11, no. 3, pp. 55–68, 2020, doi: 10.29019/enfoqueute.v11n3.572.
- [24] M. El-Hofy and H. El-Hofy, "Laser Beam Machining of CFRP Composites: A Review," *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, 2019, doi: 10.1007/s00170-018-2978-6.

- [25] R. Vinayagamorthy and T. Rajmohan, "Machining and its challenges on bio-fibre reinforced plastics: A critical review," *J. Reinf. Plast. Compos.*, vol. 37, no. 16, pp. 1037–1050, 2018, doi: 10.1177/0731684418778356.
- [26] A. Dhanawade and S. Kumar, "Experimental study of delamination and kerf geometry of carbon epoxy composite machined by abrasive water jet," *J. Compos. Mater.*, vol. 51, no. 24, pp. 3373–3390, 2017, doi: 10.1177/0021998316688950.
- [27] K. R. Sumesh, K. Kanthavel, and V. Kavimani, "Machinability of hybrid natural fiber reinforced composites with cellulose micro filler incorporation," *J. Compos. Mater.*, vol. 54, no. 24, pp. 3655–3671, 2020, doi: 10.1177/0021998320918020.
- [28] V. A. Prabu, S. T. Kumaran, and M. Uthayakumar, "Performance Evaluation of Abrasive Water Jet Machining on Banana Fiber Reinforced Polyester Composite," *J. Nat. Fibers*, vol. 14, no. 3, pp. 450–457, 2017, doi: 10.1080/15440478.2016.1212768.
- [29] K. Ramesha, N. Santhosh, K. Kiran, N. Manjunath, and H. Naresh, "Effect of the Process Parameters on Machining of GFRP Composites for Different Conditions of Abrasive Water Suspension Jet Machining," *Arab. J. Sci. Eng.*, vol. 44, no. 9, pp. 7933–7943, 2019, doi: 10.1007/s13369-019-03973-w.



Sergio Andrés Gómez S. Nació en Bucaramanga, Colombia en 1988. Se tituló como ingeniero mecánico e ingeniero industrial en la Universidad Pontificia Bolivariana. Magister en ingeniería industrial de la Universidad Pamplona, Colombia. Actualmente es profesor e investigador de la facultad de ingeniería de la Universidad Pontificia Bolivariana.
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6425-7062>.



Edwin Córdoba Tuta. Nació en Bucaramanga, Colombia en 1974. Se tituló como ingeniero mecánico de la Universidad Industrial de Santander. Magister en ingeniería mecánica de la Universidad industrial de Santander, Colombia. Actualmente es profesor e investigador de la facultad de ingeniería de la Universidad Pontificia Bolivariana.
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8298-5007>.



Víctor Cuellar Carreño. Nació en Barrancabermeja, Colombia en 1974. Se tituló como ingeniero mecánico de la Universidad Pontificia Bolivariana. Magister en energías renovables y sostenibilidad energética de la Universidad de Barcelona, España. Actualmente es coordinador de los laboratorios de la facultad de ingeniería de la Universidad Pontificia Bolivariana.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1374-416X>.



Roger Peña Meza. Nació en Bucaramanga, Colombia en 1973. Se tituló como ingeniero mecánico en la Universidad Industrial de Santander. Magister en gestión de los hidrocarburos en la Universidad Viña del mar, Chile. Actualmente es el coordinador del programa de producción industrial de las Unidades Tecnológicas de Santander.
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2106-7645>.