

COMPUESTOS POLIMÉRICOS REFORZADOS CON FIBRAS OBTENIDAS DE BAGAZO DE AGAVE *ANGUSTIFOLIA* HAW COMO MATERIALES PARA PLACAS BIPOLARES

POLYMERIC COMPOSITES REINFORCED WITH FIBERS OBTAINED FROM AGAVE *ANGUSTIFOLIA* HAW BAGASSE AS MATERIALS FOR BIPOLAR PLATES

Alejandro Gomez-Sanchez¹, Luis H. Robledo Taboada², Víctor A. Franco-Luján³,
Rita T. Martínez-Salgado⁴, Heriberto Cruz-Martínez⁵ *

<https://doi.org/10.61117/ipsumtec.v8i1.367>

¹Doctorado en Nanociencias y Nanotecnología, Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico del Valle de Etlá, alejandro.gs@itvalletla.edu.mx, Abasolo S/N, Barrio del Agua Buena, Santiago Suchilquitongo, Oaxaca, C.P. 68230, México. <https://orcid.org/0000-0001-9047-4805>

² Doctorado en Ciencias en Desarrollo Regional y Tecnológico, Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Oaxaca Valle de Etlá, luis.rt@itoaxaca.edu.mx, Avenida Ing. Víctor Bravo Ahuja No. 125 Esquina Calzada Tecnológico, Oaxaca de Juárez, Oaxaca, C.P. 68030, México. <https://orcid.org/0000-0003-0760-9508>

³Doctor en Ciencias en Conservación y Aprovechamiento de Recursos Naturales, Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico del Valle de Etlá, victor.fl@itvalletla.edu.mx, Abasolo S/N, Barrio del Agua Buena, Santiago Suchilquitongo, Oaxaca, C.P. 68230, México. <https://orcid.org/0000-0002-9929-1770>

⁴Maestría en Ingeniería y Tecnología Ambiental, Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico del Valle de Etlá, rita.ms@itvalletla.edu.mx, Abasolo S/N, Barrio del Agua Buena, Santiago Suchilquitongo, Oaxaca, C.P. 68230, México. <https://orcid.org/0009-0003-7703-142X>

⁵Doctorado en Nanociencias y Nanotecnología, Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico del Valle de Etlá, heriberto.cm@itvalletla.edu.mx, Abasolo S/N, Barrio del Agua Buena, Santiago Suchilquitongo, Oaxaca, C.P. 68230, México. Autor para la correspondencia. <https://orcid.org/0000-0001-8967-1481>

Resumen – Las Placas Bipolares (BPs) son uno de los componentes que tienen más importancia en las Celdas de Combustible de Membrana de Electrolito Polimérico (PEMFCs), ya que juegan un rol fundamental en la gestión de agua y gas, rendimiento eléctrico y estabilidad mecánica en las PEMFCs. Actualmente, el grafito es el material más utilizado en las BPs debido a su satisfactoria resistencia a la corrosión, altas conductividades térmicas y eléctricas y propiedades químicas estables. Sin embargo, este material presenta diversos inconvenientes tales como propiedades mecánicas limitadas, peso y volumen elevado, así como alto costo de fabricación.

Por lo tanto, para abordar estos inconvenientes, los compuestos poliméricos reforzados con fibras han sido ampliamente estudiados, ya que ofrecen varias ventajas, como un peso ligero, fácil maquinabilidad y resistencia a la corrosión. Por lo tanto, en este estudio se propone el diseño y producción de compuestos poliméricos reforzados con fibras obtenidas del bagazo de Agave *angustifolia* Haw. Se exploraron diferentes concentraciones de fibras (0.0, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0, 3.5, y 4.0, en % peso) en los compuestos poliméricos.

Sobre la distribución de las fibras en los compuestos, se observó una buena distribución de las fibras en los compuestos poliméricos. En lo que se refiere a las propiedades mecánicas, el módulo elástico tiende a aumentar con el incremento en el porcentaje de las fibras, lo cual sugiere que los compuestos poliméricos

reforzados con las fibras de bagazo pueden ser buenos candidatos para ser usados en las placas bipolares de las celdas de combustible.

Palabras Clave: Celdas de combustible, Residuos agroindustriales, Conversión de energía, Hidrógeno.

Abstract -- Bipolar plates (BPs) are one of the most relevant components in the Polymer electrolyte membrane fuel cells (PEMFCs), as they play a fundamental role in water and gas management, mechanical stability, and electrical performance in this technology. Currently, graphite is widely used in BPs due to its high thermal and electrical conductivities satisfactory corrosion resistance, and good chemical properties. However, this material suffers several drawbacks such as high manufacturing cost, high weight and volume, limited mechanical properties.

Consequently, to address these drawbacks, fiber-reinforced polymer composites have been widely investigated, as these offer several advantages such as easy machinability, corrosion resistance, and light weight. Therefore, in this investigation, the design and production of fiber-reinforced polymer composites obtained from the bagasse of Agave *angustifolia* Haw is proposed. Different fiber concentrations (0.0, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0, 3.5, and 4.0, in % wt.) in the polymer composites were explored.

On the distribution of the fibers in the polymer composites, a good distribution of the fibers in the composites was observed. Regarding the mechanical properties, it can be observed that when the fibers are added, the elastic modulus tends to increase considerably, which suggests that the polymer composites reinforced with bagasse fibers may be better candidates to be employed in the BPs plates for PEMFCs.

Key words: Fuel cells, Agroindustrial waste, Energy conversion, Hydrogen.

INTRODUCCIÓN

Actualmente, nuestra sociedad depende principalmente de los combustibles fósiles; sin embargo, esta fuente de energía es finita y los subproductos de la combustión puede producir diversos problemas ambientales, como el cambio climático [1, 2]. Por lo tanto, es necesario avanzar hacia el uso de energías menos contaminantes y amigables con el medio ambiente para reducir el impacto de las actividades antropogénicas asociadas con la conversión y producción de energía convencional. En este sentido, el hidrógeno puede cobrar un papel muy importante para lograr la transición energética, ya que tiene un mayor poder calorífico en comparación con los combustibles convencionales [3,4]. Debido a este interés, se han propuesto diferentes tecnologías para poder obtener energía eléctrica a partir del hidrógeno, destacando las Celdas de Combustible de Membrana de Electrolito Polimérico (PEMFCs), ya que permiten convertir la energía química contenida en el hidrógeno en energía eléctrica [5-7]. No obstante, es necesario mejorar el rendimiento y reducir el costo de la manufactura de varios de sus componentes para lograr su uso masivo [5-7]. En particular, las Placas Bipolares (BPs) son uno de los componentes que más importancia ha cobrado debido a su rol en la gestión de gas y agua, rendimiento eléctrico y estabilidad mecánica de las PEMFCs [8-10]. Por lo tanto, los materiales más prometedores para su uso como BPs deben cumplir con varios objetivos técnicos establecidos por el Departamento de Energía de los Estados Unidos (DOE) [11].

Hasta la fecha, se han propuesto diversos materiales para ser utilizados en las BPs. En la actualidad el grafito es el material más utilizado para las BPs debido a su resistencia a la corrosión, altas conductividades térmicas y eléctricas, así como a sus propiedades químicas estables [9,10]. Sin embargo, el grafito presenta varios inconvenientes como propiedades mecánicas limitadas y costos elevados de fabricación [12,13]. Por lo tanto, para abordar estos inconvenientes, los compuestos de poliméricos reforzados con fibras han sido estudiadas recientemente, ya que ofrecen varias ventajas, como un peso ligero, fácil manufactura y alta resistencia a la corrosión [14-17]. Debido a la importancia que tienen los compuestos poliméricos reforzados con fibras como materiales para

ser utilizados como BPs para PEMFCs, en este estudio se propone el diseño y producción de compuestos poliméricos reforzados con fibras obtenidas del bagazo de Agave *angustifolia* Haw. La presente investigación propone el uso del bagazo como materia prima para la obtención de microfibras, ya que el estado de Oaxaca es uno de los principales productores de mezcal y de su proceso de producción una cantidad significativa de bagazo es desechado y vertido como residuo [18]. Por lo tanto, investigaciones sobre el reúso del bagazo en la producción de energías menos contaminantes son de gran importancia.

DESARROLLO

Materiales

El polímero utilizado fue el Acrilonitrilo Butadieno Estireno (ABS), el cual fue adquirido de 3D Anycubic. La materia prima utilizada para la obtención de las microfibras fue el bagazo de Agave *angustifolia* Haw que fue recolectada de los residuos del proceso de producción de mezcal en los Valles Centrales de Oaxaca, México.

Obtención de microfibras

Las fibras de bagazo de agave fueron limpiadas y procesadas buscando separar los componentes no fibrosos con base en la metodología propuesta por la referencia [19]. Para esto, fueron lavadas en una solución de HCl al 2% a 60 °C durante 2 h, en una proporción de 1:100 (p/v) de fibra y solución, respectivamente. Posteriormente, la mezcla se neutralizó a un pH de 7.0 con una solución alcalina (NaOH al 20%) y después a las fibras obtenidas fueron lavadas con agua destilada hirviendo. Una vez terminado el proceso, se le agregaron 200 ml de alcohol etílico al 95% dejándose reposar a 5 °C por 12 h para su secado. Para reducir el tamaño de las fibras, éstas se molieron en un high speed multifunction comminutor 800A (Figura 1).



Figura 1. Molino para la reducción del tamaño de las fibras de bagazo.

Diseño de probetas

Las probetas fueron diseñadas en el software de SolidWorks, considerando las dimensiones, tolerancias y características necesarias para las pruebas mecánicas según la norma ASTM D638 [20] para determinar tracción. Las dimensiones de las probetas son indicadas en la Figura 2.

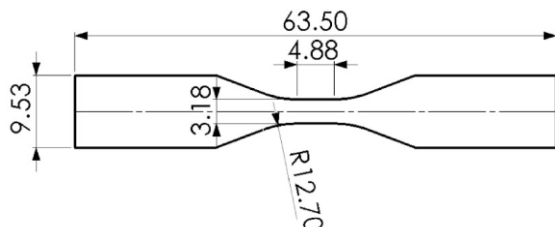


Figura 2. Dimensiones de las probetas. Las dimensiones son reportadas en mm.

Producción de las probetas

Las probetas fueron obtenidas mezclando diferentes concentraciones de la matriz polimérica de ABS y las fibras de bagazo, como se indica en la Tabla 1. Las probetas fueron obtenidas utilizando una impresora 3D modelo ANYCUBIC PHOTON MONO M5 (Figura 3a). Después de producir las probetas, estas se sometieron bajo luz UV durante 15 min para endurecer completamente la resina y obtener las propiedades mecánicas finales (Figura 3b).

Tabla 1. Composición de las probetas poliméricas de ABS reforzadas con fibra de bagazo. Las composiciones están indicadas en % en peso.

Probeta	ABS	Fibra de bagazo
1	100	0
2	99	1
3	98.5	1.5
4	98	2
5	97.5	2.5
6	97	3
7	96.5	3.5
8	96	4

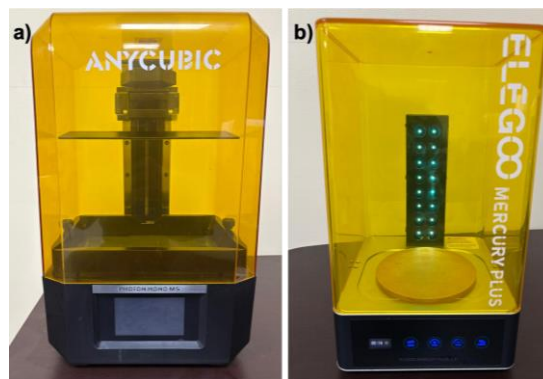


Figura 3. Equipo para producción de probetas. a) Impresora 3D y b) secador de probetas.

Ensayos mecánicos

Se realizaron ensayos de tracción con base en la norma ASTM D638 [20] utilizando una máquina universal de 500 N de capacidad, la cual fue adaptada para probetas tipo mancuerna. Se adhirió un extensómetro a la superficie de la probeta para medir el alargamiento y calcular el módulo de elasticidad y el esfuerzo a la tensión. Los ensayos mecánicos se llevaron a cabo a temperatura ambiente. Se emplearon diez probetas para cada composición del compuesto en los ensayos mecánicos para asegurar la reproducibilidad.

RESULTADOS

Análisis estructural de los compuestos

La Figura 4 muestra las probetas obtenidas, variando la concentración de las fibras de bagazo en los compuestos. Se observa que cuando la concentración de las fibras aumenta, las probetas pasan de un color claro a un color amarillo, lo cual indica la presencia de las fibras de bagazo en las probetas. Cuando la concentración de las fibras es superior al 2%, ya no se observa un cambio sustancial en el color de estas, lo cual indica que las probetas se saturan de fibras. Para observar en detalle la distribución de las fibras en los compuestos, en la Figura 5 se ilustra la distribución de las fibras en el compuesto formado de 2.5% de fibras de bagazo. De acuerdo con esta figura, se observa una adecuada distribución de las fibras de bagazo, lo cual puede favorecer las propiedades mecánicas de las probetas producidas. Dichas propiedades son presentadas y discutidas a continuación.

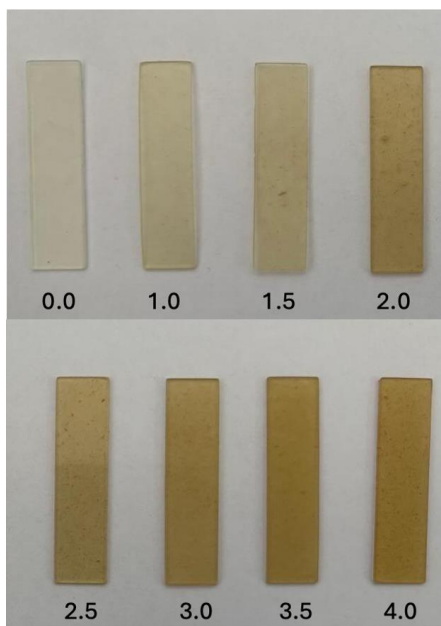


Figura 4. Probetas variando la concentración de fibras de bagazo en los compuestos. Los valores reportados en la figura son los porcentajes de fibra en el probeta, los cuales son reportados en % en peso.

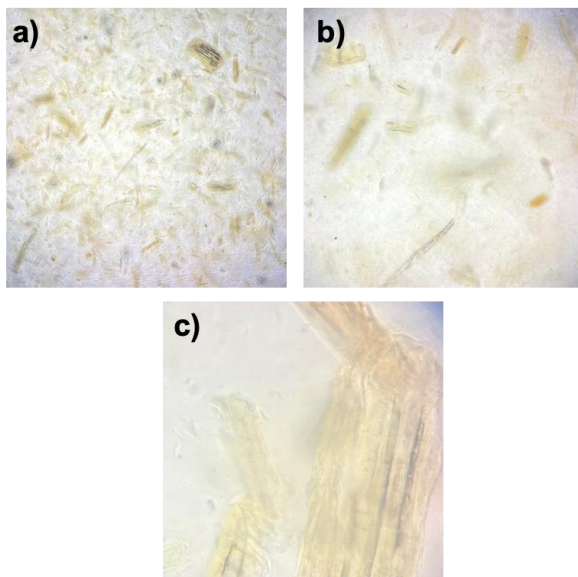


Figura 5. Distribución de las fibras de bagazo en las probeta con 2.5% de fibra en el compuesto con diferentes magnificaciones. a) 40x, b) 100x, c) 400x.

Propiedades mecánicas de los compuestos

En primera instancia, se analizó el efecto de la composición de los compuestos sobre el módulo elástico. De acuerdo con la Figura 6, se puede observar que la adición de 1% de fibra decrece el módulo de elasticidad de compuesto polimérico; sin embargo, los porcentajes de 1.5% y 2% no tienen un efecto negativo en dicha propiedad mecánica respecto al control. A porcentajes de

2.5%, 3.0%, 3.5% y 4.0% de fibras, el módulo elástico del compuesto polimérico incrementa significativamente. Este efecto benéfico puede ser atribuido a que una mayor concentración de fibras permite una mejor distribución de estas a lo largo de todo el compuesto. Lo anterior sugiere que una adición superior al 2.5% de fibras en compuestos polímeros puede producir materiales con mejores propiedades mecánicas para ser empleados en las placas bipolares de las PEMFCs.

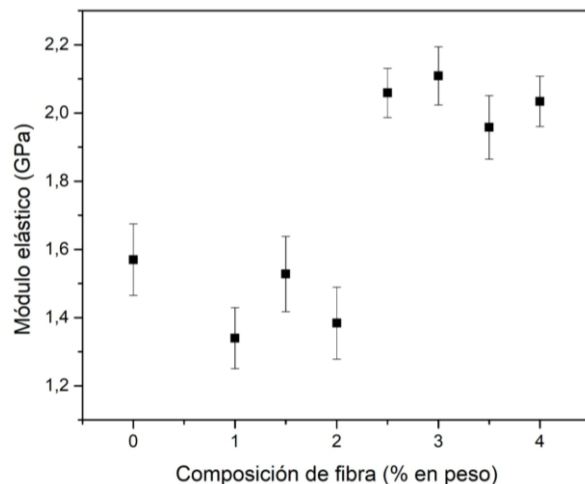


Figura 6. Módulo elástico de compuestos poliméricos reforzados con fibra de bagazo variando la composición de las fibras.

La Figura 7 presenta la relación entre el esfuerzo a tensión y la composición de fibras de los compuestos poliméricos bajo estudio. A medida que aumenta el porcentaje de fibra de agave, se observa un incremento general en el esfuerzo a tensión que puede soportar el material compuesto, dicho incremento se observa hasta un 2% de porcentaje de fibra. A porcentajes mayores la tensión del compuesto decrece con forme el porcentaje de fibras aumenta. Esto sugiere que la adición de fibra de agave mejora la resistencia a la tracción cuando la fibra es añadida hasta en un 2%.

Basados en los resultados presentados en la presente investigación se puede afirmar que la adición de fibras de bagazo hasta en un 2% mejora las propiedades mecánicas de módulo de elasticidad y esfuerzo a la tensión de compuestos poliméricos. Lo anterior sugiere que dichos compuestos pueden ser empleados en la manufactura de BPs y con ellos la posibilidad de obtener fuentes de energía de menor impacto ambiental. Además, el mejoramiento de las propiedades mecánicas estudiadas al añadir fibras de bagazo permite la posibilidad de reusar dicho diseño agroindustrial que por si solo ya no tiene valor comercial en la industria del mezcal.

No obstante, es importante mencionar que para poder utilizar estos compuestos en las BPs, es necesario investigar otras propiedades establecidas por la DOE,

tales como la conductividad térmica y eléctrica además de la resistencia a la corrosión).

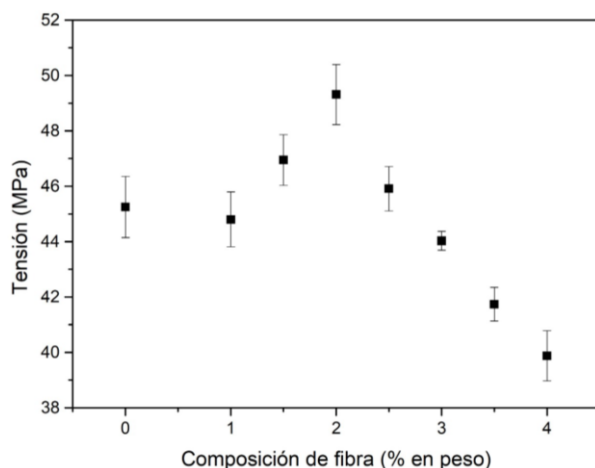


Figura 7. Tensión de compuestos poliméricos reforzados con fibra de bagazo variando la composición de las fibras.

DISCUSIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

Los resultados obtenidos en este estudio demuestran que la adición de fibras de bagazo de *Agave angustifolia* Haw mejora significativamente las propiedades mecánicas de los compuestos de ABS, especialmente el módulo elástico y la resistencia a la tracción en concentración de fibras de 2% en peso. Estos hallazgos coinciden con investigaciones previas que destacan el potencial de las fibras naturales como refuerzo en matrices poliméricas. Por ejemplo, Annandarajah et al. [21] señalaron que los materiales con fibras de agave en concentraciones del 10-20% aumenta las propiedades mecánicas en resinas termoplásticas y de polipropileno. Asimismo, reportaron la incorporación de fibras en compuestos poliméricos de ácido poliláctico aumentando algunas propiedades mecánicas [22-24].

Por otro lado, Antunes et al. [9] destacaron que los compuestos basados en polímeros pueden superar las limitaciones mecánicas del grafito, pero enfatizaron la necesidad de ajustar la proporción de refuerzo para evitar la disminución de otras propiedades. Sin embargo, a diferencia de esos trabajos, aquí se empleó un residuo agroindustrial, lo que no solo mejora las propiedades mecánicas, sino que también aporta un enfoque sostenible al revalorizar desechos.

Finalmente, la disminución en la resistencia a la tracción con concentraciones de fibra superiores al 2% podría relacionarse con la formación de aglomerados, un fenómeno reportado [25] en compuestos con altos porcentajes de refuerzo. Esto subraya la importancia de optimizar la interfaz fibra-matriz, aspecto que futuros

estudios podrían explorar mediante tratamientos químicos o físicos de las fibras para mejorar su adhesión.

CONCLUSIONES

El presente estudio reportó la producción de compuestos poliméricos reforzados con fibras de bagazo, variando la composición de las fibras en los compuestos. Los compuestos producidos presentan una buena distribución de las fibras de bagazo en la matriz polimérica. Las propiedades mecánicas de los compuestos poliméricos mejoran significativamente con la incorporación de las fibras, lo cual los hace posibles candidatos para los BPs. Sin embargo, para poder utilizar estos compuestos en las BPs, es necesario medir otras propiedades establecidas por la DOE tales como conductividad térmica, la eléctrica y la resistencia a la corrosión.

Adicionalmente, se propone explorar el efecto de tratamientos superficiales en las fibras de bagazo, como acoplamientos químicos, para optimizar la interacción fibra-matriz y mitigar la reducción de resistencia a la tracción observada en concentraciones altas. Estudios en esta línea podrían incrementar la eficiencia de los compuestos y extender su aplicabilidad a otros componentes de sistemas de energía limpia, consolidando así su papel en la transición hacia tecnologías sostenibles.

AGRADECIMIENTOS

Los autores reconocen y agradecen el financiamiento recibido por el Tecnológico Nacional de México a través del proyecto titulado “CONTINUIDAD DE: Diseño de compuestos poliméricos reforzados con residuos agroindustriales y alótopos de carbono para su aplicación en celdas de combustible poliméricas”, con clave 20553.24-P.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Höök, M., & Tang, X. (2013). Depletion of fossil fuels and anthropogenic climate change—A review. *Energy policy*, 52, 797-809. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2012.10.046>
- [2] Liew, W. H., Hassim, M. H., & Ng, D. K. (2014). Review of evolution, technology and sustainability assessments of biofuel production. *Journal of Cleaner Production*, 71, 11-29. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.01.006>
- [3] Abidin, Z., Zafaranloo, A., Rafiee, A., Mérida, W., Lipiński, W., & Khalilpour, K. R. (2020). Hydrogen as an energy vector. *Renewable and sustainable energy reviews*, 120, 109620. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.109620>
- [4] Nazir, H., Louis, C., Jose, S., Prakash, J., Muthuswamy, N., Buan, M. E., ... & Kannan, A. M. (2020). Is the H2 economy realizable in the foreseeable

- future? Part I: H₂ production methods. *International Journal of Hydrogen Energy*, 45(27), 13777-13788. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2020.03.092>
- [5] Cruz-Martínez, H., Guerra-Cabrera, W., Flores-Rojas, E., Ruiz-Villalobos, D., Rojas-Chávez, H., Peña-Castañeda, Y. A., & Medina, D. I. (2021). Pt-free metal nanocatalysts for the oxygen reduction reaction combining experiment and theory: An overview. *Molecules*, 26(21), 6689. <https://doi.org/10.3390/molecules26216689>
- [6] Das, V., Padmanaban, S., Venkitusamy, K., Selvamuthukumaran, R., Blaabjerg, F., & Siano, P. (2017). Recent advances and challenges of fuel cell based power system architectures and control—A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 73, 10-18. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.01.148>
- [7] Cruz-Martínez, H., Rojas-Chávez, H., Matadamas-Ortiz, P. T., Ortiz-Herrera, J. C., López-Chávez, E., Solorza-Feria, O., & Medina, D. I. (2021). Current progress of Pt-based ORR electrocatalysts for PEMFCs: An integrated view combining theory and experiment. *Materials Today Physics*, 19, 100406. <https://doi.org/10.1016/j.mtphys.2021.100406>
- [8] Hermann, A., Chaudhuri, T., & Spagnol, P. (2005). Bipolar plates for PEM fuel cells: A review. *International journal of hydrogen Energy*, 30(12), 1297-1302. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2005.04.016>
- [9] Antunes, R. A., De Oliveira, M. C., Ett, G., & Ett, V. (2011). Carbon materials in composite bipolar plates for polymer electrolyte membrane fuel cells: A review of the main challenges to improve electrical performance. *Journal of Power Sources*, 196(6), 2945-2961. <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2010.12.041>
- [10] de Oliveira, M. C. L., Ett, G., & Antunes, R. A. (2012). Materials selection for bipolar plates for polymer electrolyte membrane fuel cells using the Ashby approach. *Journal of power sources*, 206, 3-13. <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2012.01.104>
- [11] DOE Technical Targets for Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cell Components. Department of Energy. Available online: <https://www.energy.gov/eere/fuelcells/doe-technical-targets-polymer-electrolyte-membrane-fuel-cell-components> (accessed on 22 December 2024).
- [12] Boyaci San, F. G., & Tekin, G. (2013). A review of thermoplastic composites for bipolar plate applications. *International journal of energy research*, 37(4), 283-309. <https://doi.org/10.1002/er.3005>
- [13] Alo, O. A., Otunniyi, I. O., Pienaar, H., & Iyuke, S. E. (2017). Materials for bipolar plates in polymer electrolyte membrane fuel cell: performance criteria and current benchmarks. *Procedia Manufacturing*, 7, 395-401. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2016.12.011>
- [14] Radzuan, N. A. M., Sulong, A. B., & Sahari, J. (2017). A review of electrical conductivity models for conductive polymer composite. *International Journal of Hydrogen Energy*, 42(14), 9262-9273. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2016.03.045>
- [15] Song, Y., Zhang, C., Ling, C. Y., Han, M., Yong, R. Y., Sun, D., & Chen, J. (2020). Review on current research of materials, fabrication and application for bipolar plate in proton exchange membrane fuel cell. *International Journal of Hydrogen Energy*, 45(54), 29832-29847. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2019.07.231>
- [16] Mathew, C., Naina Mohamed, S., & Devanathan, L. S. (2022). A comprehensive review of current research on various materials used for developing composite bipolar plates in polymer electrolyte membrane fuel cells. *Polymer Composites*, 43(7), 4100-4114. <https://doi.org/10.1002/pc.26691>
- [17] Gomez-Sanchez, A., Franco-Luján, V. A., Alfaro-López, H. M., Hernández-Sánchez, L., Cruz-Martínez, H., & Medina, D. I. (2024). Carbon Material-Reinforced Polymer Composites for Bipolar Plates in Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cells. *Polymers*, 16(5), 671. <https://doi.org/10.3390/polym16050671>
- [18] Lira, M. G., Davidson-Hunt, I. J., & Robson, J. P. (2022). Artisanal products and land-use land-cover change in indigenous communities: The case of mezcal production in Oaxaca, Mexico. *Land*, 11(3), 387. <https://doi.org/10.3390/land11030387>
- [19] Saucedo-Luna, J., Castro-Montoya, A. J., Martinez-Pacheco, M. M., Sosa-Aguirre, C. R., & Campos-Garcia, J. (2011). Efficient chemical and enzymatic saccharification of the lignocellulosic residue from Agave tequilana bagasse to produce ethanol by *Pichia caribbica*. *Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology*, 38(6), 725-732. <https://doi.org/10.1007/s10295-010-0853-z>
- [20] Anand Kumar, S., & Shivraj Narayan, Y. (2019). Tensile testing and evaluation of 3D-printed PLA specimens as per ASTM D638 type IV standard. In *Innovative Design, Analysis and Development Practices in Aerospace and Automotive Engineering (I-DAD 2018) Volume 2* (pp. 79-95). Springer Singapore.
- [21] Annandarajah, C., Li, P., Michel, M., Chen, Y., Jamshidi, R., Kiziltas, A., Hoch, R., Grewell, D., & Montazami, R. (2019). Study of Agave Fiber-Reinforced Biocomposite Films. *Materials*, 12(1), 99. <https://doi.org/10.3390/ma12010099>
- [22] Huerta-Cardoso, O., Durazo-Cardenas, I., Longhurst, P., Simms, N. J., & Encinas-Oropesa, A. (2020). Fabrication of agave tequilana bagasse/PLA composite and preliminary mechanical properties assessment. *Industrial Crops and Products*, 152, 112523. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.112523>
- [23] Langhorst, A. E., Burkholder, J., Long, J., Thomas, R., Kiziltas, A., & Mielewski, D. (2018). Blue-agave fiber-reinforced polypropylene composites for automotive applications. *BioResources*, 13(1), 820-835. <https://doi.org/10.15376/biores.13.1.820-835>

- [24] Cisneros-López, E. O., Pérez-Fonseca, A. A., González-García, Y., Ramírez-Arreola, D. E., González-Núñez, R., Rodrigue, D., & Robledo-Ortíz, J. R. (2018). Polylactic acid–agave fiber biocomposites produced by rotational molding: A comparative study with compression molding. *Advances in Polymer Technology*, 37(7), 2528-2540. <https://doi.org/10.1002/adv.21928>
- [25] Pérez-Fonseca, A. A., Robledo-Ortíz, J. R., González-Núñez, R., & Rodrigue, D. (2016). Effect of thermal annealing on the mechanical and thermal properties of polylactic acid–cellulosic fiber biocomposites. *Journal of Applied Polymer Science*, 133(31). <https://doi.org/10.1002/app.43750>
- [25] Ku, H., Wang, H., Pattarachaiyakoo, N., & Trada, M. (2011). A review on the tensile properties of natural fiber reinforced polymer composites. *Composites Part B: Engineering*, 42(4), 856-873. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2011.01.010>

Tabla de roles de contribución

Rol	Autor(es)
Conceptualización	Alejandro Gomez-Sanchez Heriberto Cruz-Martínez Rita T. Martínez-Salgado
Metodología	Alejandro Gomez-Sanchez Heriberto Cruz-Martínez Rita T. Martínez-Salgado
Administración del proyecto	Alejandro Gomez-Sanchez Heriberto Cruz-Martínez
Curación de datos	Alejandro Gomez-Sanchez Luis H. Robledo Taboada
Validación	Víctor A. Franco-Luján Luis H. Robledo Taboada
Escritura – Preparación del borrador original	Alejandro Gomez-Sanchez Rita T. Martínez-Salgado Heriberto Cruz-Martínez
Recursos	Heriberto Cruz-Martínez



Esta obra está bajo
una licencia internacional
Creative Commons Atribución 4.0.