

## La fibra de henequén (*Agave fourcroydes*) como una opción para materiales compuestos amigables con el medio ambiente

JOAQUÍN F. CASTILLO-LARA<sup>1</sup> & EMMANUEL A. FLORES-JOHNSON<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Unidad de Materiales, Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C.

Calle 43 x 32 y 34 No. 130, Col. Chuburná de Hidalgo, Mérida, Yucatán 97205, México.

<sup>2</sup> CONACYT – Unidad de Materiales, Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C.

Calle 43 x 32 y 34 No. 130, Col. Chuburná de Hidalgo, Mérida, Yucatán 97205, México.

[emmanuel.flores@cicy.mx](mailto:emmanuel.flores@cicy.mx)

La alta resistencia a la tensión y las buenas propiedades mecánicas de las fibras de henequén (*Agave fourcroydes*) son bien conocidas debido al auge que tuvieron durante la denominada época del “oro verde”, antes de ser desplazadas por las fibras sintéticas. Sin embargo, en la actualidad, la necesidad de utilizar cada vez más materiales amigables con el medio ambiente, ha hecho que se realicen investigaciones sobre el uso de la fibra de henequén para la fabricación de materiales compuestos sustentables. Los resultados muestran que las fibras de henequén podrían ser de nueva cuenta una opción para diversas aplicaciones ingenieriles.

**Palabras clave:** *Agave*, Agavaceae, fibra de henequén, flora de la península de Yucatán, materiales compuestos, sustentabilidad.

### Introducción

El henequén (*Agave fourcroydes* Lem., Agavaceae) es una planta, que según indican las evidencias disponibles, fue cultivada por los mayas desde la época prehispánica (Colunga Garcia-Marin y Zizumbo-Villarreal 1986). Se cree que el henequén fue domesticado a partir de la especie silvestre *Agave angustifolia* Haw., encontrada en varias partes de México y Centroamérica (Gentry 1982). Sin embargo, se han encontrado evidencias que hacen suponer que el henequén fue domesticado en sus inicios a partir de las variedades de *Agave angustifolia* encontradas en la península de Yucatán, por lo que se dice que el henequén es originario de esta región

(Colunga Garcia-Marin y Zizumbo-Villarreal 1986). Durante la época prehispánica, la producción de este agave fue muy importante ya que la fibra extraída de sus hojas se destinaba para la elaboración de productos o herramientas usados en la navegación, construcción de obras y para el comercio (Colunga y May-Pat 1993, Colunga 1998). En la segunda mitad del siglo XIX, comenzó una gran demanda a nivel internacional de la fibra de henequén para la producción de sogas, cordeles y textiles, la cual duró más de 100 años. En esa época, al henequén se le conoció como el “oro verde”, debido a la gran derrama económica que generó en Yucatán, siendo este estado el único proveedor de esta fibra en el

periodo de 1870 a 1910, convirtiendo así el campo yucateco en grandes plantaciones de henequén (Colunga 1998, García y Serrano 2012).

Después de la denominada época del “oro verde”, la industria henequenera empezó a tener una gran decadencia, atribuida principalmente a la introducción de las fibras sintéticas y al aumento de la producción de la fibra de sisal en otros países (p. ej., Brasil y Tanzania). La fibra de sisal (fibra natural muy similar a la fibra de henequén) es extraída de la planta de sisal (*Agave sisalana* Perrine), la cual es nativa de México. A principios de los años 70s, la producción de diferentes tipos de fibras sintéticas contrajo en gran manera el mercado de todas las fibras naturales (Colunga y May-Pat 1993). Comúnmente, las fibras obtenidas del henequén o del sisal se conocen en el mercado internacional únicamente como sisal (Dewey 1931, Colunga 2003), mientras que en Yucatán y en México en general, el sisal (*Agave sisalana*) es conocido popularmente como henequén verde (Yaax´ki), y el verdadero henequén (*Agave fourcroydes*) (Figura 1A) como henequén blanco (Sac´ki) (Trejo-Torres *et al.* 2017). Ambas especies son originarias de México, siendo el Sac´ki el agave que principalmente se cultiva en Yucatán para la extracción de fibras. En la Figura 1B se presenta un ejemplo de las fibras de henequén producidas en Yucatán.

### **El henequén como opción para el refuerzo de materiales compuestos sustentables**

Los materiales compuestos son aquellos que se forman a partir de la unión de dos o más materiales diferentes para mejorar las propiedades del producto final, el cual tiene

características diferentes a la de sus componentes individuales. Los tipos de componentes más comunes en los materiales compuestos son las fibras, ya sea sintéticas o naturales, y la matriz, la cual puede ser una resina, un plástico o un material a base de cemento como el concreto. En los materiales compuestos fibroreforzados, las fibras proporcionan la mayor parte de la rigidez y la fuerza, mientras que la matriz une a las fibras y las protege del ataque ambiental. Los materiales compuestos son muy utilizados en la actualidad y tienen muchas aplicaciones en la industria de la construcción (p. ej., paneles de fibrocemento), aeroespacial y automotriz (p. ej., materiales de fibra de carbono y resina epóxica), entre otras. Si bien se han hecho estudios sobre el uso de la fibra de henequén (Valadez-González *et al.* 1999) y la fibra de sisal (Li *et al.* 2000) como refuerzo en materiales compuestos, el estudio de las fibras naturales en este tipo de aplicaciones se ha visto limitado en el número de publicaciones científicas, en comparación con los trabajos realizados sobre las fibras sintéticas.

Sin embargo, el panorama mundial está cambiando y en años recientes, el interés en los materiales compuestos reforzados con fibras naturales ha crecido en gran manera. Una mayor conciencia ambiental aunado a la creciente preocupación sobre el calentamiento global, ha hecho que la industria de la construcción busque nuevas alternativas para fabricar materiales sustentables (Frazão *et al.* 2018). Las fibras naturales están siendo estudiadas por científicos de todo el mundo para entender su comportamiento como refuerzo en materiales compuestos como una alternativa sustentable, ya que estas pueden ser extraídas a un bajo cos-



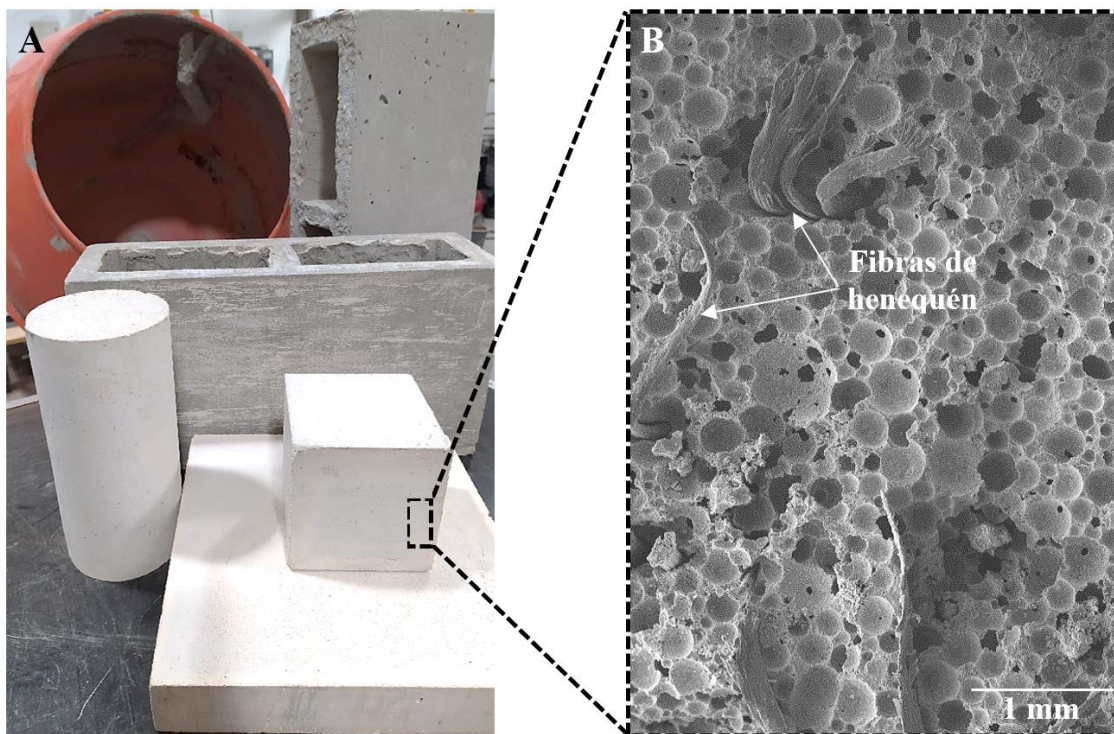
**Figura 1.** A. Planta de henequén (*Agave fourcroydes*). B. Fibras de henequén producidas en Yucatán. C. Fibras de henequén cortas para su uso como refuerzo en concreto espumado. (Fotografías: Joaquín Castillo y Emmanuel Flores).

to y con un consumo energético mínimo (Frazão *et al.* 2018). Las fibras naturales son biodegradables, renovables y promueven la sustentabilidad (Joseph *et al.* 1999). Estas fibras pueden sustituir en ciertas aplicaciones a las fibras sintéticas, las cuales dejan una huella ambiental mayor. En muchos países, se ha estudiado el refuerzo de materiales compuestos con fibras naturales como sisal, coco, jute, cáñamo, kenaf, entre otras.

El estudio de las fibras naturales como refuerzo de materiales compuestos con matriz de cemento para aplicaciones en la industria de la construcción, está teniendo un gran interés en años recientes. Fujiyama *et al.* (2014) encontraron que la inclusión de

fibras de sisal en un mortero de cemento incrementa su resistencia a la fractura. En otro estudio, Liu *et al.* (2020) encontraron que el añadir fibra de sisal al concreto espumado mejoraba sus propiedades mecánicas. En estudios recientes, se encontró que el añadir fibra de henequén (Flores-Johnson *et al.* 2018, Castillo-Lara 2019) a un concreto espumado, mejora el desempeño mecánico y la resistencia a la fractura de este material.

El concreto espumado (o celular) es un material ligero hecho a base de mortero de cemento con una estructura celular, la cual se logra por medio de la inyección de una espuma preformada (Flores-Johnson y Li 2012). En la Figura 2A se pueden observar

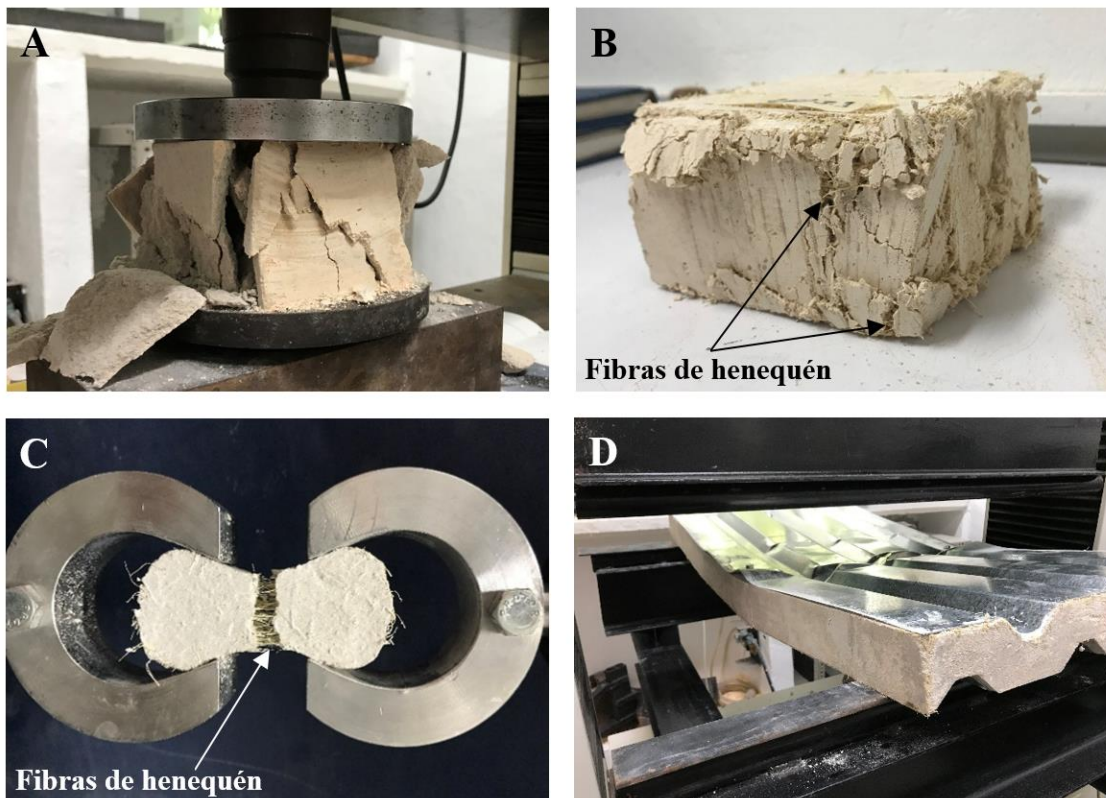


**Figura 2.** A. Materiales de concreto espumado para la industria de la construcción fabricados en la Unidad de Materiales del CICY. B. Estructura celular del concreto espumado con refuerzo de fibra de henequén observada a través de un microscopio electrónico de barrido, donde se observan las celdas de aire y las fibras de henequén. (Fotografías: Joaquín Castillo y Emmanuel Flores).

los diferentes materiales de concreto espumado reforzados con fibra corta de henequén (Figura 1C) fabricados en la Unidad de Materiales del CICY para aplicaciones en la industria de la construcción. La inyección de espuma en el concreto espumado, genera celdas de aire en su interior, lo cual se puede observar en la imagen obtenida por medio de microscopía electrónica de barrido donde también se pueden apreciar las fibras de henequén (Figura 2B). En estudios recientes (Flores-Johnson *et al.* 2018, Castillo-Lara 2019), se observó que la inclusión de fibras de henequén en un concreto espumado probado a compresión, cambia el comportamiento

frágil del concreto espumado sin refuerzo (Figura 3A) a un comportamiento dúctil con más capacidad de deformación en el material fibroreforzado (Figura 3B). El comportamiento dúctil también se observó en especímenes sujetos a tensión (Figura 3C). Esta mayor capacidad de deformación y tenacidad del concreto espumado reforzado con fibras de henequén ha propiciado que se investigue este material como núcleo de paneles aligerados tipo “sándwich” (Figura 3D) probados a flexión, para aplicaciones en la industria de la construcción.

Las investigaciones antes mencionadas demuestran el potencial que pueden tener las fibras de henequén para fabricar materiales



**Figura 3.** A. Espécimen de concreto espumado sin refuerzo probado a compresión mostrando un comportamiento frágil. B. Espécimen de concreto espumado con refuerzo de fibra de henequén después de ser probado a compresión mostrando un comportamiento dúctil. C. Espécimen de concreto espumado con refuerzo de fibra de henequén probado a tensión mostrando un comportamiento dúctil. D. Panel aligerado tipo “sándwich” con núcleo de concreto espumado con refuerzo de fibra de henequén probado a flexión. (Fotografías: Joaquín Castillo y Emmanuel Flores).

compuestos sustentables. Si bien las fibras sintéticas aún no son las más usadas, es de suma importancia estudiar las fibras de henequén y sus posibles aplicaciones, ya que la imperante necesidad de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero para contrarrestar los efectos del cambio climático, lo cual se podría lograr reemplazando a ciertas fibras sintéticas en diversas aplicaciones ingenieriles, podría impulsar en un futuro a la industria henequenera de Yucatán.

### Agradecimientos

Los autores agradecen al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el apoyo otorgado a través del proyecto CONACYT Problemas Nacionales 2017 (No. 6718).

### Referencias

**Castillo-Lara J.F. 2019.** Estudio de materiales compuestos tipo sándwich con núcleo de concreto espumado para

- aplicaciones estructurales. Tesis Maestría, Centro de Investigación Científica de Yucatán, México, Yucatán.
- Colunga P. 1998.** Origen, variación y tendencias evolutivas del henequén. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 62: 109-128.
- Colunga-GarcíaMarín P. y Zizumbo-Villarreal D. 1986.** Diversidad y uso alimenticio del henequén: implicaciones para su proceso evolutivo y perspectivas de aprovechamiento. *Boletín de la Escuela de Ciencias Antropológicas de la Universidad de Yucatán* 13(77): 30–41.
- Colunga P. 2003.** The domestication of Henequen (*Agave fourcroydes* Lem.). En: Gómez-Pompa A., Allen M., Fedick F. y Jiménez-Osornio J. Eds. *The Lowland Maya Area: Three Millennia at the Human-Wildland Interface*, pp. 439-446. The Haworth Press Inc. New York.
- Colunga P. y May-Pat F. 1993.** Agave studies in Yucatan, Mexico. I. Past and present germplasm diversity and uses. *Economic Botany* 47: 312-327.
- Dewey L. 1931.** Sisal and henequen, plants yielding fiber for binder twine. *United States Department of Agriculture, Washington, D.C. Circular No.186*
- Flores-Johnson E.A. y Li Q.M. 2012.** Structural behaviour of composite sandwich panels with plain and fibre-reinforced foamed concrete cores and corrugated steel faces. *Composite Structures* 94(5): 1555-1563.
- Flores-Johnson E.A., Yan Y.Z., Carrillo J.G., González-Chi P.I., Herrera-Franco P.I. y Li Q.M. 2018.** Mechanical Characterization of Foamed Concrete Reinforced with Natural Fibre. *Materials Research Proceedings* 7: 1-6.
- Frazão C., Barros J., Toledo Filho R., Ferreira S. y Gonçalves D. 2018.** Development of sandwich panels combining Sisal Fiber-Cement Composites and Fiber-Reinforced Lightweight Concrete. *Cement and Concrete Composites* 86: 206-223.
- Fujiyama R., Darwish F. y Pereira M.V. 2014.** Mechanical characterization of sisal reinforced cement mortar. *Theoretical and Applied Mechanics Letters* 4(6): 061002.
- García M. y Serrano H. 2012.** *Agave fourcroydes* (Lem.) y sus nuevas perspectivas <https://tecnoagro.com.mx/no.-78/agave-fourcroydes-lem-y-sus-nuevas-perspectivas> (consultado: 28 Febrero 2019).
- Gentry H.S. 1982.** *Agaves of Continental North America*. The University of Arizona Press. Tucson, Arizona.
- Joseph K., Toledo Filho R.D., James B., Thomas S. y de Carvalho L.H. 1999.** A review on sisal fiber reinforced polymer composites. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 3(3): 367-379.
- Li Y., Mai Y.W. y Ye L. 2000.** Sisal fibre and its composites: a review of recent developments. *Composites Science and Technology* 60(11): 2037-2055.
- Liu Y., Wang Z., Fan Z. y Gu J. 2020.** Study on properties of sisal fiber modified foamed concrete. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* 744: 012042.
- Trejo-Torres J.C., Gann G.D. y Christenhusz M.J.M. 2017.** The Yucatan Peninsula is the place of origin of sisal (*Agave sisalana*, Asparagaceae):

historical accounts, phytogeography and current populations. *Botanical Sciences* 96(2): 366-379.

**Valadez-González A., Cervantes-Uc J.M., Olayo R. y Herrera-Franco P.J. 1999.**

Effect of fiber surface treatment on the fiber–matrix bond strength of natural fiber reinforced composites. *Composites Part B: Engineering* 30(3): 309-320.

Desde el Herbario CICY, 12: 99–105 (21-Mayo-2020), es una publicación semanal editada por el Herbario CICY del Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C., con oficinas en Calle 43 x 32 y 34 No. 130, Col. Chuburná de Hidalgo, C.P. 97205, Mérida, Yucatán, México. Tel. 52 (999) 942-8330 Ext. 110, [www.cicy.mx/Sitios/Desde\\_Herbario/](http://www.cicy.mx/Sitios/Desde_Herbario/), [webmas@cicy.mx](mailto:webmas@cicy.mx). Editores responsables: Rodrigo Duno de Stefano y Lilia Lorena Can Itzá. Reserva de Derechos al Título Exclusivo No. 04-2016-041413195700-203, otorgado por el Instituto Nacional del Derecho de Autor, ISSN: 2395-8790. Responsable de la publicación: José Fernely Aguilar Cruz, Calle 43 x 32 y 34 No. 130, Col. Chuburná de Hidalgo, C.P. 97205, Mérida, Yucatán, México. Fecha de última modificación: 21 de mayo de 2020. Las opiniones expuestas por los autores no necesariamente expresan la postura del editor de la publicación. De la misma manera, la responsabilidad sobre la veracidad y la precisión de los contenidos, le corresponde totalmente a los autores de los ensayos.