

El cocoyol (*Acrocomia mexicana*) y la leyenda del enano de Uxmal

EMMANUEL A. FLORES-JOHNSON¹, J. GONZALO CARRILLO², RICARDO A. GAMBOA³ & LUMING SHEN⁴

¹CONACYT – Unidad de Materiales, Centro de Investigación Científica de Yucatán, Calle 43, No. 130 Col. Chuburná de Hidalgo, Mérida, Yucatán 97205, México.

²Unidad de Materiales, Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C. Calle 43 No. 130 x 32 y 34, Col. Chuburná de Hidalgo, 97205, Mérida, Yucatán, México.

³Instituto Tecnológico Superior de Motul, Carretera Mérida-Motul, Tablaje Catastral 383, 97430, Motul de Carrillo Puerto, Yucatán, México.

⁴School of Civil Engineering, The University of Sydney, NSW, 2006, Australia
emmanuel.flores@cicy.mx

La dureza del fruto de la palmera del cocoyol (*Acrocomia mexicana*) se conoce desde tiempos ancestrales. Esta dureza fue documentada por primera vez en el siglo XVI por Fray Diego de Landa, y es mencionada en la leyenda maya “El enano de Uxmal”. Si bien han existido menciones anecdóticas sobre esta dureza desde hace siglos, no fue sino hasta hace poco que se realizaron los primeros estudios científicos para verificar tal propiedad. Los estudios revelaron que el fruto del cocoyol es de hecho muy duro y tenaz comparado con otros frutos y materiales, y por microscopía se observó que estas propiedades se deben a su microestructura jerárquica multicapa.

Palabras clave: Arecaceae, dureza, flora de la península de Yucatán, fruto, leyenda maya, microestructura.

Durante su visita en 1842 a las ruinas mayas de Uxmal en Yucatán, México, John L. Stephens describió de una forma muy peculiar a la Pirámide del Adivino (o la Casa del Enano) en su libro *Incidentes de viaje en América Central, Chiapas y Yucatán* (Stephens 1845). Siendo ésta una de las primeras visitas documentadas a estas ruinas, Stephens describe en su narración: ...“*El primer objeto llamativo a la vista al salir de la selva y entrar a las ruinas, es el edificio que se ve en el lado derecho (Figura 1), el cual es una estructura de gran altura que atrae la atención*”, refiriéndose a la Casa del Enano. Stephens también narra en su libro que los indígenas de la región tenían una reverencia supersticiosa hacia esta pirámide, y que ellos no se acercaban a esta gran estructu-

ra en la noche. La Casa del Enano estaba consagrada por una leyenda Maya llamada “El Enano de Uxmal” (Gutiérrez-Estévez 1988). De forma resumida, en esta leyenda popular se describe que el rey de Uxmal, temeroso de perder el trono según la profecía, desafía al Enano de Uxmal a varias pruebas. En la última prueba el rey reta al Enano a partirse dos racimos de cocoyoles, una fruta de gran dureza, en la cabeza. Para ello el Enano lo haría primero, y seguido el rey. El Enano, al estar secretamente protegido, sobrevive la prueba, sin embargo, el rey muere en el intento, y el Enano es proclamado el nuevo rey de Uxmal.

La fruta que se menciona en la leyenda del enano de Uxmal es el cocoyol o coyol, nombre derivado de la planta del cual pro-



Figura 1. Ruinas de Uxmal. El edificio de la derecha es la Pirámide del Adivino o la Casa del Enano de Uxmal (Fotografía: E. Agaliotis).

viene, una palmera tropical (*Acrocomia mexicana* Karw. ex Mart. = *Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd. ex Mart.) (Colunga-GarcíaMarín y Zizumbo-Villarreal 2004) que se encuentra en la península de Yucatán y que pertenece a la familia Arecaceae (Figuras 2A, B). La dureza del fruto del cocoyol (Figura 2C), referida en la leyenda del Enano de Uxmal, es una característica de este fruto la cual ha dado lugar incluso a refranes populares tal como “se topó piedra con cocoyol”, el cual se refiere a cuando dos personas intransigentes en ideas o acciones se encuentran (Navarrete Muñoz 2014). La dureza del cocoyol la documentó por primera vez el misionero español Fray Diego de Landa en 1566, en su libro *Relación de las Cosas de Yucatán* (Landa 1937 [1566]), en el cual se refiere a esta fruta como “un cuesco de gran dureza”. En realidad, a lo que se refería de Landa era al endocarpio del fruto (Figura 2D). En general, el endocarpio está formado de células esclereidas compactadas de diversas formas, longitudes y orientaciones. Estas variaciones entre las células y entre capas hacen que el cocoyol sea duro y tenaz.

Si bien desde hace siglos han existido referencias anecdóticas sobre la dureza del cocoyol, no fue sino hasta hace poco que se realizaron los primeros estudios científicos para investigar a detalle tal dureza y otras propiedades mecánicas. En un primer estudio (Flores-Johnson *et al.* 2014) se hicieron pruebas de compresión a todo el fruto (Figura 2E), con lo cual se comprobó que la fuerza requerida para romper al cocoyol (normalizada por el grosor de la pared del endocarpio) era casi un 50% mayor que la fuerza requerida para romper otras frutas y corazas de nueces de tamaño similar. En otro estudio más reciente (Flores-Johnson *et al.* 2018), se obtuvieron muestras en forma anular (Figura 2F) y cilíndricas (Figura 2G) del endocarpio con las que se pudieron hacer pruebas de dureza y compresión, respectivamente, lo cual comprobó la dureza y tenacidad (resistencia a la fractura) del cocoyol.

Con el fin de entender los mecanismos que le proporcionan a este fruto tales propiedades de dureza y resistencia, Flores-Johnson *et al.* (2014, 2018) realizaron estudios de microscopía óptica (Figura 3A)

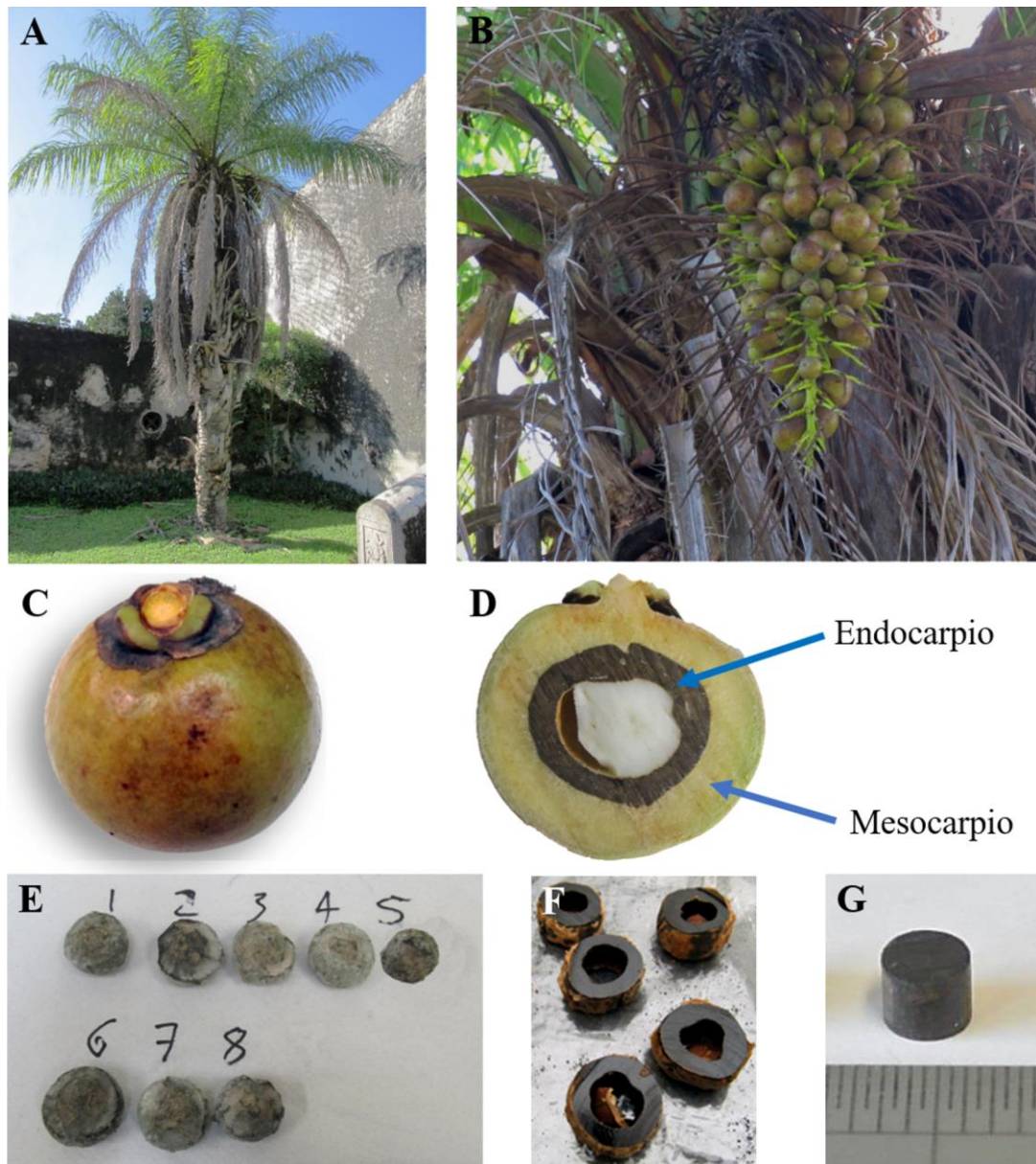


Figura 2. A) Palmera de cocoyol (*Acrocomia mexicana*). B) Racimo de frutos de cocoyol. C) Fruto del cocoyol. D) Sección transversal del fruto del cocoyol mostrando el endocarpio. E) Especímenes después de un proceso de secado para la prueba de compresión del fruto entero. F) Especímenes con forma anular para la prueba de dureza. G) Especímen cilíndrico para la prueba de compresión del endocarpio del cocoyol. (Fotografías de los autores).

y electrónica de barrido (Figura 3B) para develar la microestructura del fruto. Estos estudios permitieron observar que el endocarpio del cocoyol tiene una estructura compleja jerárquica, es decir, organizada en escalas de longitud discretas (por ejemplo: escala microscópica o escala macroscópica), en las cuales las características

geométricas y propiedades mecánicas son propias) con capas distintivas, lo que lo hace un material con un gradiente de propiedades.

Por otra parte, el *biomimetismo* es una rama de la ciencia de carácter multidisciplinario que se encarga de entender e imitar estructuras jerárquicas y sistemas

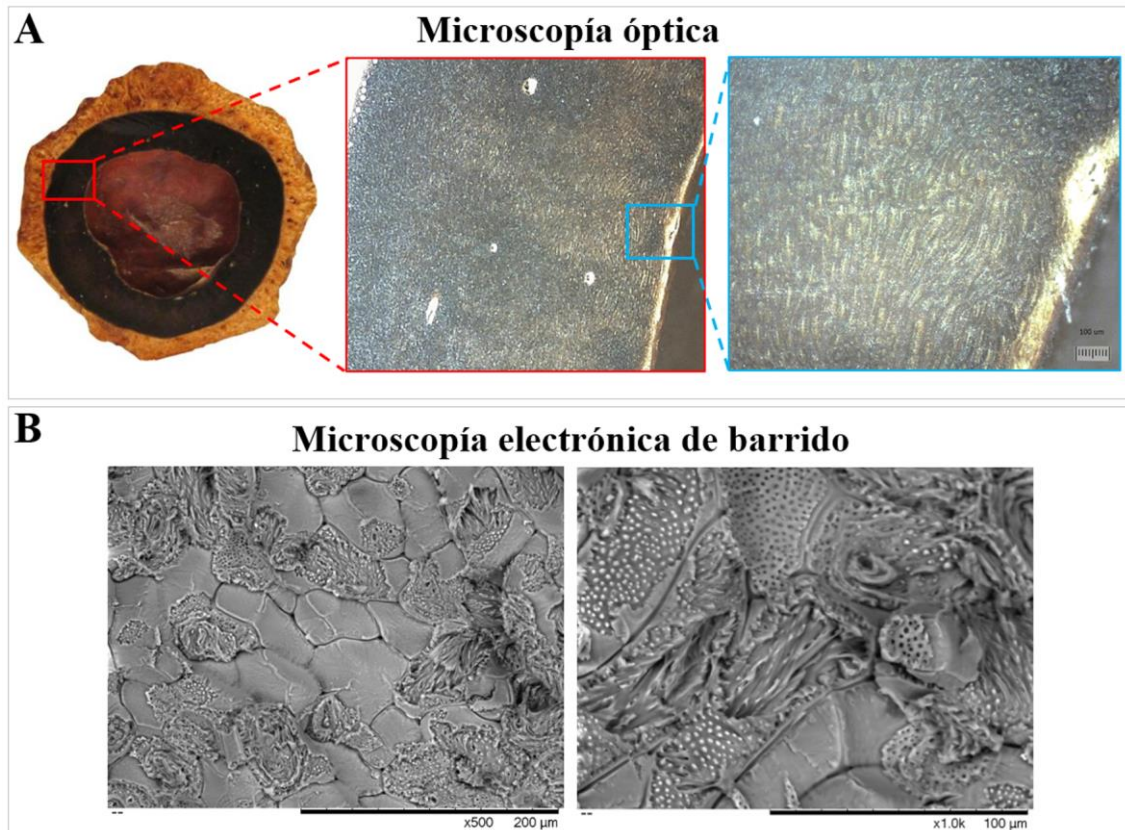


Figura 3. A. Estructura del endocarpio del cocoyol observada a través de un microscopio óptico. **B.** Microestructura del endocarpio del cocoyol observada a través de un microscopio electrónico de barrido donde se observan células esclerizadas fracturadas. (Fotografías de los autores).

encontrados en la naturaleza para la solución de problemas humanos (Espinoza *et al.* 2009, Flores-Johnson 2018), la cual está teniendo un gran auge en los últimos años dado que muchos problemas de ingeniería ya han sido resueltos por la naturaleza a través de la evolución biológica (Espinoza *et al.* 2009).

Por ejemplo, la dureza de algunas frutas, corazas de semillas y nueces es bien conocida, tal es el caso de la dureza y resistencia a la fractura del tegumento (la capa de tejido que recubre y protege a las semillas) de las semillas de macadamia (*Macadamia integrifolia* Maiden & Betche) que se debe a su microestructura jerárquica y al arreglo multicapa del esclerénquima, y las diversas geometrías y tamaños de las escleridas y fibras que se encuentran en ese tejido (Jennings and Macmillan 1986; Schüller *et al.* 2014).

Así, muchas estructuras biológicas tales como la madera, el hueso y la concha nácar (Barthelat 2007, Flores-Johnson *et al.* 2014) son una fuente de inspiración para la creación de nuevos materiales (*Materiales Bio-inspirados*). Esto debido a los desarrollos evolutivos en algunas de estas estructuras que han resultado en materiales naturales livianos y con alto desempeño mecánico a pesar de estar hechos de materiales precursores simples relativamente débiles (Meyers *et al.* 2008).

Los hallazgos encontrados hasta la fecha sobre la dureza y la microestructura del fruto del cocoyol muestran que su estructura es jerárquica. Adicionalmente se descubrió que el endocarpio está formado de varias capas, las cuales tienen características y propiedades distintivas que aportan de forma individual a las propiedades mecánicas macroscópicas tales co-

mo la dureza o tenacidad. Estos hallazgos pueden ser útiles para el diseño de nuevos materiales sintéticos inspirados en la naturaleza, que tengan propiedades multifuncionales para diversas aplicaciones ingenieriles.

Como último comentario, los hallazgos encontrados hasta la fecha sobre el cocoyol confirman que la leyenda del enano de Uxmal podría ser cierta, al menos en cuanto a su dureza.

Referencias

- Barthelat F. 2007.** Biomimetics for next generation materials. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences* 365: 2907-2919.
- Colunga-GarcíaMarín P. y Zizumbo-Villarreal D. 2004.** Domestication of plants in Maya Lowlands. *Economic Botany* 58: S101-S110.
- Espinosa H.D., Rim J.E., Barthelat F. y Buehler M.J. 2009.** Merger of structure and material in nacre and bone – Perspectives on de novo biomimetic materials. *Progress in Materials Science* 54: 1059-1100.
- Flores-Johnson E.A. 2018.** Biomimetismo: lecciones de la naturaleza para crear nuevos y mejores materiales <http://www.cronica.com.mx/notas/2018/1088448.html>. (consultado: 18 febrero 2019).
- Flores-Johnson E.A., Carrillo J.G., Gamboa R.A., Shen L. 2014.** Experimental characterisation of the mechanical properties and microstructure of *Acrocomia mexicana* fruit from the Yucatan peninsula in Mexico. *Proceedings of the 23rd Australasian Conference on the Mechanics of Structures and Materials (ACMSM23)*, Byron Bay, NSW, Australia.
- Flores-Johnson E.A., Carrillo J.G., Zhai C., Gamboa R.A., Gan Y. y Shen L. 2018.** Microstructure and mechanical properties of hard *Acrocomia mexicana* fruit shell. *Scientific Reports* 8: 9668.
- Flores-Johnson E.A., Shen L., Guimatsia I. y Nguyen G.D. 2014.** Numerical investigation of the impact behaviour of bioinspired nacre-like aluminium composite plates. *Composites Science and Technology* 96: 13-22.
- Gutiérrez-Estévez M. 1988.** Lógica social en la mitología maya-yucateca: la leyenda del enano de Uxmal. En: Gutiérrez-Estévez M. ed. *Mito y Ritual en América*, pp. 60-110. Editorial Alhambra, Madrid, España.
- Jennings J.S. y Macmillan N.H. 1986.** A tough nut to crack. *Journal of Materials Science* 21: 1517-1524.
- Landa F.D.d. 1937 [1566].** *Yucatan before and after the conquest*. (Translated Gates W.), Dover Publications, New York. 242 pp.
- Meyers M.A., Chen P.-Y., Lin A.Y.-M. y Seki Y. 2008.** Biological materials: Structure and mechanical properties. *Progress in Materials Science* 53: 1-206.
- Navarrete Muñoz G. 2014.** Significado de frases yucatecas <https://www.meridadeyucatan.com/frases-yucatecas/>. (consultado: 18 febrero 2019).
- Schüler P., Speck T., Bührig-Polaczek A. y Fleck C. 2014.** Structure-Function Relationships in *Macadamia integrifolia* Seed Coats – Fundamentals of the Hierarchical Microstructure. *PLoS One* 9: e102913.
- Stephens J.L. 1845.** *Incidents of Travel in Central America, Chiapas, and Yucatan*. Harper & Brothers, New York, USA. 548 pp.

Desde el Herbario CICY, 11: 41–46 (28-febrero-2019), es una publicación semanal editada por el Herbario CICY del Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C., con oficinas en Calle 43 No. 130, Col. Chuburná de Hidalgo, C.P. 97200, Mérida, Yucatán, México. Tel. 52 (999) 942-8330 Ext. 232, www.cicy.mx/Sitios/Desde_Herbario/, webmas@cicy.mx. Editores responsables: Germán Carnevali Fernández-Concha y José Luis Tapia Muñoz. 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 No. 130, Col. Chuburná de Hidalgo, C.P. 97200, Mérida, Yucatán, México. Fecha de última modificación: 28 de febrero de 2019. 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.