Desde el Herbario CICY
17: 153-159 (3/julio/2025)
Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C.
http://www.cicy.mx/sitios/desde_herbario/
ISSN: 2395-8790

Cáscaras de pistache: materia prima para el diseño de nuevos materiales biocompuestos

NATALIA GUTIÉRREZ-ALDANA[1*], ISRAEL ARZATE-VÁZQUEZ[2*] Y JUAN VICENTE MÉNDEZ-MÉNDEZ[2]

[1]Facultad de Estudios Superiores Aragón (FES Aragón), Universidad Nacional Autónoma de México, Av. Universidad Nacional s.n., Bosques de Aragón, 57171, Estado de México, México.
[2]Centro de Nanociencias y Micro y Nanotecnologías, Instituto Politécnico Nacional, Luis Enrique Erro s.n., Zacatenco, 07738, Ciudad de México, México.
[1]nataliagutierrez33@aragon.unam.mx;[2] iarzate@ipn.mx

Resumen: Las cáscaras de pistache son residuos agroindustriales que tienen un gran potencial para ser utilizados en diversos tipos de aplicaciones. Las excelentes propiedades mecánicas que poseen este tipo de materiales los convierten en un material atractivo para la elaboración de nuevos materiales biocompuestos. Incluso algunos materiales biocompuestos son sostenibles cuando tienen un bajo impacto ambiental desde su fabricación hasta su desecho. En este ensayo se discutirán algunos aspectos relevantes de las cáscaras de pistache, así como algunos ejemplos de aplicación de estos residuos para la elaboración de materiales biocompuestos.

Palabras clave: Economía circular, materiales ecológicamente amigables (eco-friendly), *Pistacia vera* L., residuo agroindustrial.

Gobierno de México | Ciencia y Tecnología
Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación | CICY

Ciencia y Tecnología
Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación
CICY

Desde el Herbario CICY
17: 153-159 (3/julio/2025)
Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C.
http://www.cicy.mx/sitios/desde_herbario/
ISSN: 2395-8790

Introducción: En las últimas décadas, la generación de residuos agroindustriales se ha convertido en un grave problema ambiental a nivel mundial. Los residuos agroindustriales se definen como todos aquellos materiales biológicos generados por la industria alimentaria y agrícola durante la manipulación y procesamiento de los alimentos (FAO 2010). Algunos ejemplos de residuos agroindustriales son las cáscaras de frutas y cereales, bagazo, hojas, semillas, tallos, etc. Debido a que muchas de estas empresas siguen funcionando bajo un sistema de economía lineal, no existen estrategias o métodos para una adecuada gestión de este tipo de residuos, y muchas de estas empresas solo desechan o incineran estos materiales. Desde hace algunos años, diversos especialistas en diferentes áreas del conocimiento han dirigido su atención a este tipo de materiales debido a su potencial para ser utilizados en múltiples aplicaciones y en consecuencia revalorizarlos. Las cáscaras de pistache (*Pistacia vera* L.) son un ejemplo de un residuo agroindustrial que en años recientes ha recibido mucha atención debido a sus excelentes propiedades mecánicas y composición química (Figura 1A-B). Una de las aplicaciones propuestas para las cáscaras de pistache es como recurso o materia prima para el desarrollo de nuevos materiales biocompuestos.

Pero… ¿Por qué usar las cáscaras de pistache?: Las cáscaras de pistache son mucho más que un residuo de nuestro snack favorito. La cáscara de pistache es una cubierta rígida que protege a la semilla que es la parte comestible del fruto. Sus buenas propiedades mecánicas y composición química son dos características que lo hacen un material atractivo para ser utilizado en múltiples aplicaciones. Las propiedades mecánicas que exhibe este material dependen fuertemente de su arreglo microestructural y composición química. Estudios recientes han revelado que la cáscara de pistache está compuesta principalmente por células llamadas "esclereidas en forma de rompecabezas en 3D" (Huss *et al.* 2020, Xiao *et al.* 2021). Estas células exhiben formas complejas con múltiples lóbulos, los cuales se entrelazan con los lóbulos de células adyacentes, provocando un fuerte entrecruzamiento topológico. Este mecanismo de interacción entre las esclereidas da como resultado que se produzca un tejido vegetal fuerte capaz de soportar grandes esfuerzos de tensión similar al comportamiento de un material frágil (Huss *et al.* 2020). Asimismo, esta configuración permite que la cáscara de pistache absorba y distribuya mejor la energía de deformación, haciéndola útil para aplicaciones donde se requiera que el material soporte impactos y esfuerzos sin romperse fácilmente (Xiao *et al*. 2021). Mediante el uso de la microscopia confocal de barrido laser y tomando como ventaja la propiedad intrínseca de la lignina de autofluorescencia es posible visualizar claramente la microestructura de la cáscara de pistache como se muestra en la Figura 1C. En dicha figura se observan claramente las esclereidas y como éstas están fuertemente conectadas entre ellas; tal parece que la naturaleza ha diseñado un rompecabezas biológico con propiedades superiores. Por otra parte, la composición química es una característica relevante para muchas aplicaciones y también influye en las propiedades mecánicas a escala nanométrica. Las cáscaras de pistache son consideradas materiales lignocelulósicos, es decir, básicamente están constituidos por lignina, celulosa y hemicelulosa. Balasundar *et al.* (2019) reportaron que la composición química de las cáscaras de pistache es: 47.08% celulosa, 26.56% hemicelulosa, 13.74% lignina, 7.52% de contenido de humedad, 0.92% de ceras y 4.18% cenizas. Apoyándonos de nuevo con la técnica de microscopia confocal de barrido laser y de tinciones específicas, es posible monitorear la distribución de las principa-

Ciencia y Tecnología
Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación
CICY

Desde el Herbario CICY
17: 153-159 (3/julio/2025)
Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C.
http://www.cicy.mx/sitios/desde_herbario/
ISSN: 2395-8790

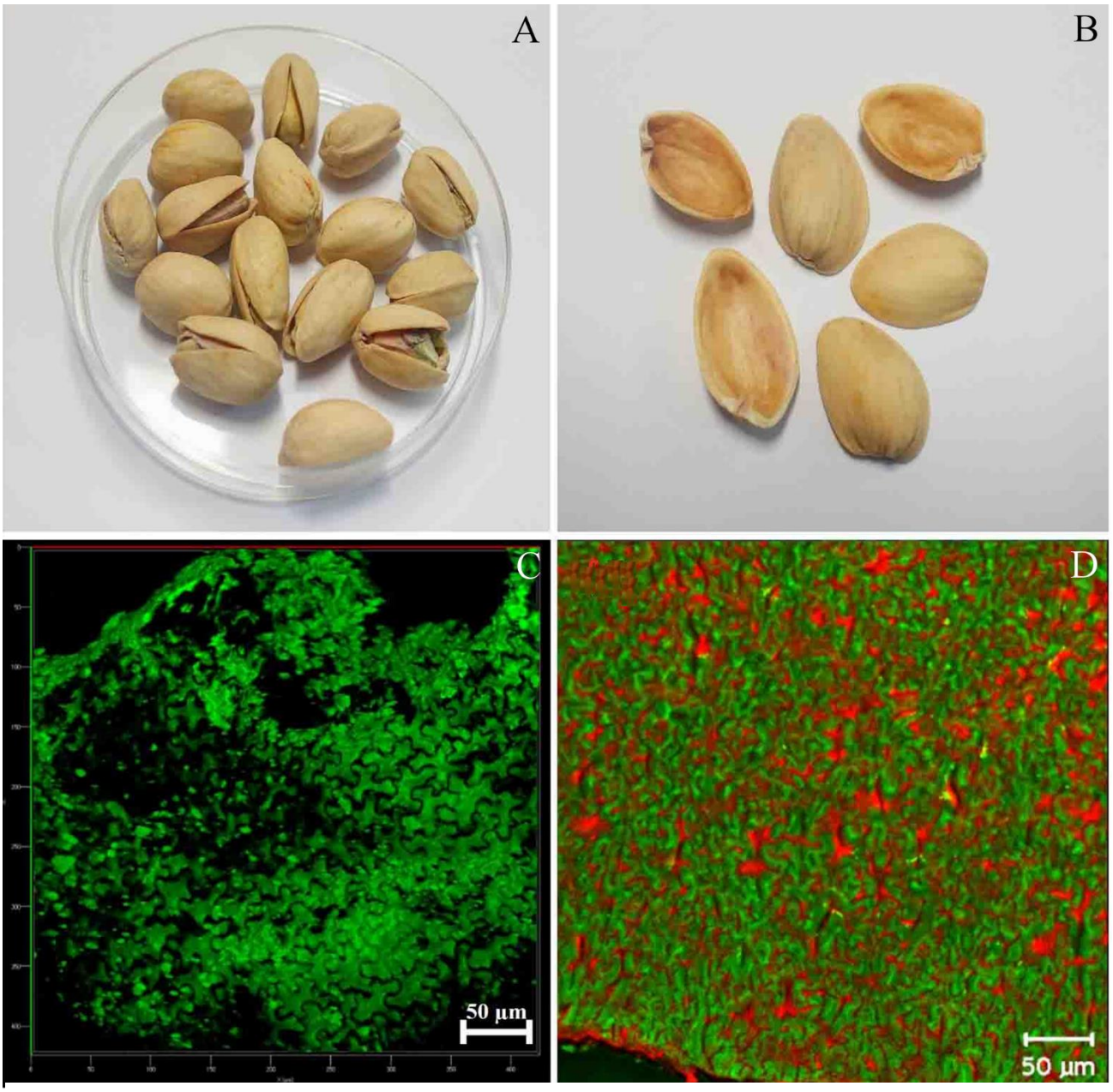

Figura 1A-B. Vista general de cascaras de pistache (*Pistacia vera*). **C-D.** Imágenes de microscopia confocal de barrido laser de la microestructura de cáscara de pistache: **C.** Imagen de autofluorescencia (lignina) donde se muestran las esclereidas en forma de rompecabezas en 3D y su entrecruzamiento. **D.** Imagen donde se visualiza la distribución de la lignina en color rojo (tinción con safranina) y la de celulosa y hemicelulosa en color verde (tinción de calcofluor). (Preparación de las muestras, captura de imágenes y ensamble: Israel Arzate-Vázquez).

Ciencia y Tecnología
Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación
CICY

Desde el Herbario CICY
17: 153-159 (3/julio/2025)
Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C.
http://www.cicy.mx/sitios/desde_herbario/
ISSN: 2395-8790

les biomoléculas que componen a las cáscaras de pistache. En la Figura 1D se muestra una imagen donde el color verde está relacionado a la presencia de celulosa y hemicelulosa (tinción con calcofluor), mientras que el color rojo está relacionado a la presencia de lignina (tinción con safranina). Como se puede observar en dicha figura, la celulosa se encuentra principalmente en las paredes celulares de las esclereidas, mientras que la lignina se localiza en la interfase entre las células, es decir, en la lamela media. Un aspecto importante por resaltar y que influye en las propiedades nanomecánicas de las células, es que la celulosa se presenta en forma de microfibrillas que están inmersas dentro de una matriz de lignina y hemicelulosa. En resumen, las excelentes propiedades mecánicas de las cáscaras de pistache dependen de su microestructura y composición química; ambas características las convierten en un material apropiado para ser utilizadas como material de refuerzo en la elaboración de materiales biocompuestos (Fereidooni *et al.* 2024).

¿Cómo se utilizan las cáscaras de pistache en la elaboración de un material biocompuesto?: Ese pequeño escudo beige que protege la semilla del pistache ha demostrado ser mucho más que un simple desecho. Antes de entrar de lleno al uso de las cáscaras de pistache para la elaboración de materiales biocompuestos, es importante destacar que las aplicaciones que tienen estos residuos son muy extensas y que impactan en diferentes campos del conocimiento. En la Figura 2A se presenta un diagrama que ejemplifica de manera general algunas de las aplicaciones que han sido propuestas para revalorizar estos residuos. Entre las aplicaciones más relevantes se encuentran: su uso como bioadsorbentes de contaminantes (colorantes y metales pesados), aislante acústico, componentes en la fabricación de paneles,

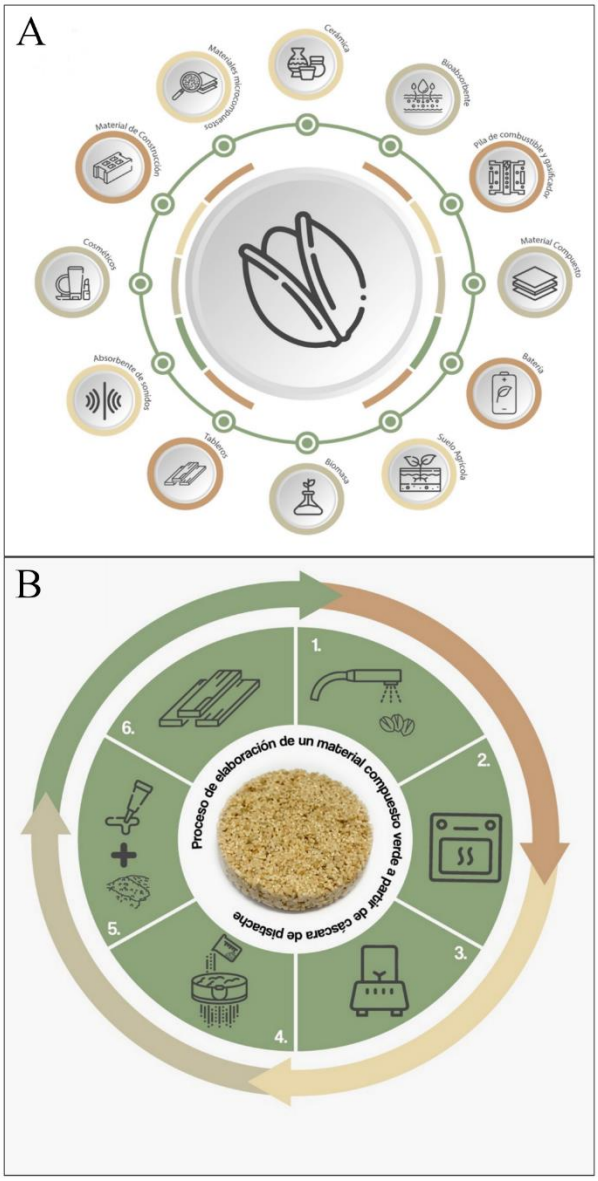

Figura 2A. Diagrama de las diferentes aplicaciones y usos que tienen las cáscaras de pistache. **B.** Esquema del proceso de elaboración de materiales biocompuestos (1 limpieza, 2 secado, 3 molienda, 4 tamizado, 5 mezcla con la matriz polimérica y 6 moldeo) (Elaboración y ensamble de figuras: Natalia Gutiérrez-Aldana).

Ciencia y Tecnología
Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación
CICY

Desde el Herbario CICY
17: 153-159 (3/julio/2025)
Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C.
http://www.cicy.mx/sitios/desde_herbario/
ISSN: 2395-8790

materiales abrasivos en cosméticos, biomasa para producción de energía e incluso como componentes en materiales de construcción. Asimismo, estos residuos se han utilizado ampliamente para la elaboración de materiales biocompuestos. Un material biocompuesto se define como aquel que está constituido por una matriz polimérica y un material de relleno, en donde al menos uno de ellos proviene de una fuente natural (Rafiee *et al*. 2021). En este caso, las cáscaras de pistache cumplen con el rol de material de relleno cuya función principal será mejorar las propiedades de la matriz polimérica donde están embebidos. De manera general para la elaboración de materiales biocompuestos hay una serie de pasos bien establecidos a seguir, los cuales se muestran en la Figura 2B. El proceso general comienza con una limpieza para eliminar contaminantes. Posteriormente, las cáscaras son secadas en una estufa para después ser molidas con la finalidad de reducir su tamaño. Las muestras molidas se pasan por tamices para seleccionar un rango de tamaño específico. Finalmente, las partículas son mezcladas con una matriz polimérica y se vierte en un molde, donde se compactan para lograr una mejor cohesión y obtener un material biocompuesto. En la literatura se han publicado varios trabajos enfocados a la elaboración y caracterización de materiales biocompuestos a partir de cáscaras de pistache. Por ejemplo, Altun *et al.* (2022) elaboraron un biocompuesto combinando poli(ácido láctico) (PLA) y cáscaras de pistache modificadas químicamente para mejorar la compatibilidad. Los resultados mostraron que el biocompuesto con las cáscaras modificadas exhibió una mayor rigidez y resistencia mecánica en comparación con las no tratadas. En otro estudio, se fabricaron espumas rígidas de poliuretano adicionadas con cáscaras molidas de diferentes frutos secos, incluidas las cáscaras de pistache (Leszczyńska *et al*. 2020). La incorporación de estas cáscaras redujo la dependencia de materiales petroquímicos, además de mejorar las propiedades térmicas y mecánicas de las espumas, mostrando su potencial como aislante sostenible en aplicaciones industriales. Por otra parte, es posible sintetizar nanomateriales (nanopartículas, nanofibras y nanocristales) a partir de las cáscaras de pistache, los cuales son utilizados como refuerzos para desarrollar materiales bionanocompuestos. En un estudio realizado por Marett *et al.* (2017) sintetizaron con hidrolisis ácida nanocristales de celulosa a partir de cáscaras de pistache, los cuales exhibieron excelentes propiedades mecánicas y por lo tanto son materiales aptos para la fabricación de bionanocompuestos. El estudio anterior demuestra que las cáscaras de pistache pueden ser una materia prima valiosa y sostenible. En este sentido, un estudio desarrollado por Movva & Kommineni (2017) demostró que al añadir nanopartículas de celulosa extraídas de la cáscara de pistache a un material de poliéster, se lograron mejoras significativas en sus propiedades mecánicas, específicamente, en la resistencia a la tracción y flexión.

Conclusión: Las cáscaras de pistache representan un recurso valioso y ecológicamente amigable, cuyo potencial para la creación de materiales biocompuestos sostenibles es prometedor. Gracias a sus excelentes propiedades mecánicas y su composición química (altas concentraciones de celulosa, lignina y hemicelulosa), estos residuos agroindustriales se posicionan como una alternativa viable para la fabricación de materiales biocompuestos. Además, su reutilización contribuye a la reducción de residuos agroindustriales y promueve modelos de economía circular. Numerosos estudios han demostrado que su incorporación como material de refuerzo en diversas matrices poliméricas mejora significativamente las propiedades me-

Desde el Herbario CICY
17: 153-159 (3/julio/2025)
Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C.
http://www.cicy.mx/sitios/desde_herbario/
ISSN: 2395-8790

cánicas del material final, abriendo el camino para su aplicación en una amplia gama de sectores como la industria automotriz y de la construcción. De esta manera, las cáscaras de pistache no solo ofrecen una solución sustentable y rentable, sino que también tienen el potencial de transformar la industria de los materiales biocompuestos.

Referencias

Altun M., Celebi M., & Ovali S. 2022. Preparation of the pistachio shell reinforced PLA biocomposites: Effect of filler treatment and PLA maleation. *Journal of Thermoplastic Composite Materials* 35(9): 1342–1357. https://doi.org/10.1177/08927057211010880

Balasundar P., Narayanasamy P., Senthil S., Al-Dhabi N.A., Prithivirajan R., Kumar R.S., Ramkumar T., & Bhat K.S. 2019. Physico-chemical study of pistachio (*Pistacia vera*) nutshell particles as a bio-filler for eco-friendly composites. *Materials Research Express* 6(10): 105339. https://doi.org/10.1088/2053-1591/ab3b9b

Fereidooni L., Morais A.R.C., & Shiflett M. 2024. Application of pistachio shell waste in composites, nanocomposites, and carbon electrode fabrication: A review. *Resources, Conservation and Recycling* 203: 107403. https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2023.107403

Huss J.C., Antreich S.J., Bachmayr J., Xiao N., Eder M., Konnerth J., Gierlinger N. 2020. Topological interlocking and geometric stiffening as complementary strategies for strong plant shells. *Advanced Materials* 32(48): 2004519. http://doi.org/10.1002/adma.202004519

Leszczyńska M., Ryszkowska J., & Szczepkowski L. 2020. Rigid polyurethane foam composites with nut shells. *Polimery* 65(10): Article 10. https://doi.org/10.14314/polimery.2020.10.8

Marett J., Aning A., & Foster E.J. 2017. The isolation of cellulose nanocrystals from pistachio shells via acid hydrolysis. *Industrial Crops and Products* 109: 869–874. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.09.039

Movva M. & Kommineni R. 2017. Extraction of cellulose from pistachio shell and physical and mechanical characterisation of cellulose-based nanocomposites. *Materials Research Express* 4(4): 045014. https://doi.org/10.1088/2053-1591/aa6863

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). 2010. *Agricultural Biotechnologies: Agroindustria*. (Consulta: 10 de noviembre de 2024). https://www.fao.org/biotech/sectoral-overviews/agro-industry/es/

Rafiee K., Schritt H., Pleissner D., Kaur G., & Brar S.K. 2021. Biodegradable green composites: It's never too late to mend. *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry* 30: 100482. https://doi.org/10.1016/j.cogsc.2021.100482

Xiao N., Felhofer M., Antreich S.J., Huss J.C., Mayer K., Singh A., Bock P., & Gierlinger N. 2021. Twist and lock: nutshell structures for high strength and energy absorption. *Royal Society Open Science* 8(8): 210399. https://doi.org/10.1098/rsos.210399

Desde el Herbario CICY, 17: 153-159 (3-julio-2025), 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/, webmas@cicy.mx.** Editores responsables: Germán Carnevali, Patricia Rivera Pérez 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 x 32 y 34 No. 130, Col. Chuburná de Hidalgo, C.P. 97205, Mérida, Yucatán, México. Fecha de última modificación: 3 de julio de 2025. 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.