

Envase ecológico elaborado a base de cascarón de huevo y cáscara de cacahuete

Eco-friendly Packaging Made from Eggshell and Peanut Shell

<https://doi.org/10.46380/ecotemas-2026-1-30>

Est. Clarisa Jaimes Rodríguez

Tecnológico Nacional de México- TES Valle de Bravo, México
l202201084@vbravo.tecnm.mx

Recibido: 16/10/2025

Aprobado: 20/12/2025

Publicado: 01/01/2026

Est. Karla Villanueva Jaimes

Tecnológico Nacional de México- TES Valle de Bravo, México
karlavillaja@gmail.com

M.Sc. Adrián Santos García

Tecnológico Nacional de México- TES Valle de Bravo, México
adrian.sg@vbravo.tecnm.mx

Dr. C. Adalberto González Flores

Tecnológico Nacional de México- TES Valle de Bravo, México
adalberto.gf@vbravo.tecnm.mx

RESUMEN

La creciente problemática ambiental derivada del uso masivo de plásticos de un solo uso ha incentivado el desarrollo de materiales alternativos que sean funcionales, biodegradables y compatibles con principios de sostenibilidad. En este contexto, la presente investigación tiene como objetivo: diseñar un biocompuesto elaborado a partir de residuos orgánicos domésticos: cascarón de huevo (Carbonato de Calcio) y cáscara de cacahuete (lignocelulosa) como matriz base para la fabricación de contenedores ecológicos. La metodología incluyó el proceso de manufactura con etapas de tratamiento previo (limpieza, secado y molienda), seguido de la formulación de una mezcla homogénea mediante la incorporación de aglutinantes naturales con propiedades adhesivas y biodegradables. La mezcla obtenida fue moldeada y sometida a procesos de compactación y curado térmico para la obtención de prototipos funcionales. Los ensayos experimentales contemplaron pruebas de resistencia mecánica (compresión y tracción), estabilidad dimensional, interacción con líquidos y alimentos, así como análisis de degradación ambiental en condiciones controladas. Los resultados evidenciaron que el material presenta una estructura porosa de baja densidad, adecuada resistencia estructural para aplicaciones de empaque ligero, y una tasa de biodegradación significativamente superior a la de los polímeros convencionales, con descomposición observable en un periodo reducido. Concluyendo que la viabilidad técnica del compuesto, junto con su origen renovable y su capacidad de reintegrarse al ciclo biológico sin generar residuos persistentes, posiciona esta propuesta como una alternativa prometedora en el desarrollo de materiales sustentables; además, promueve la valorización de residuos agroalimentarios y se contribuye al fortalecimiento de modelos de economía circular y producción responsable.

Palabras clave: biodegradable, cambio climático, huella ambiental, responsabilidad social y sustentabilidad.

ABSTRACT

The growing environmental issues caused by the massive use of single-use plastics have encouraged the development of alternative materials that are functional, biodegradable, and aligned with sustainability principles. In this context, the present research aims to design a biocomposite made from domestic organic waste: eggshell (Calcium Carbonate) and peanut shell (lignocellulose) as the base matrix for the production of eco-friendly containers. The methodology included a manufacturing process with preliminary treatment stages (cleaning, drying, and grinding), followed by the formulation of a homogeneous mixture through the incorporation of natural binders with adhesive and biodegradable properties. The resulting mixture was molded and subjected to compaction and thermal curing processes to obtain functional prototypes. Experimental tests included mechanical resistance evaluations (compression and tensile), dimensional stability, interaction with liquids and food, as well as environmental degradation analysis under controlled conditions. The results showed that the material has a porous structure with low density, adequate structural strength for light packaging applications, and a significantly higher biodegradation rate compared to conventional polymers, with observable decomposition in a short period. It is concluded that the technical feasibility of the compound, along with its renewable origin and ability to reintegrate into the biological cycle without generating persistent waste, positions this proposal as a promising alternative in the development of sustainable materials. Furthermore, it promotes the valorization of agro-food waste and contributes to the strengthening of circular economy models and responsible production.

Keywords: biodegradable, climate change, environmental footprint, social responsibility, sustainability.

INTRODUCCIÓN

El uso excesivo de plásticos de un solo uso ha generado una crisis ambiental global, exacerbando la contaminación terrestre y marina, y contribuyendo significativamente a las emisiones de gases de efecto invernadero. Según Afrrin et al. (2025), la industria alimentaria genera aproximadamente 250,000 toneladas de cascarón de huevo como residuo cada año, lo que representa un desafío ambiental considerable. Sin embargo, este subproducto rico en carbonato de calcio ha demostrado ser un recurso valioso para el desarrollo de materiales biodegradables, especialmente en aplicaciones de empaque alimentario.

Diversos estudios han demostrado que los biocompuestos derivados de residuos agroalimentarios representan una alternativa viable para reducir la huella ecológica. Babalola y Wilson (2024) destacan que el aprovechamiento del cascarón de huevo como material renovable permite la creación de biocompuestos con propiedades adsorbentes, mecánicas y térmicas mejoradas, contribuyendo al desarrollo de una economía circular y a la mitigación de la contaminación por plásticos.

En paralelo, la cáscara de cacahuate, rica en lignocelulosa, ha sido identificada como un material prometedor para la fabricación de envases biodegradables. Talha et al. (2024) demostraron que los biopolímeros extraídos de esta cáscara —celulosa, hemicelulosa y lignina— pueden ser utilizados para desarrollar películas compuestas con propiedades funcionales mejoradas,

como mayor opacidad, solubilidad en agua y biodegradabilidad superior al 50% en solo 15 días.

Guinati y Smith (2025) refuerzan esta perspectiva al señalar que los residuos lignocelulósicos como las cáscaras de nuez y cacahuete, cuando se incorporan como refuerzos en matrices poliméricas, mejoran significativamente la resistencia mecánica, la estabilidad térmica y la biodegradabilidad de los materiales compuestos. Además, su uso promueve beneficios económicos y ambientales al reducir costos de producción y reutilizar desechos agrícolas.

La creciente demanda de soluciones sostenibles ha impulsado la investigación en materiales alternativos que no solo sean funcionales, sino también compatibles con los principios de sostenibilidad. En este contexto, el desarrollo de envases ecológicos a partir de cascarón de huevo y cáscara de cacahuete se presenta como una propuesta innovadora que responde a los retos actuales de la industria del empaque, al tiempo que promueve la valorización de residuos orgánicos y el fortalecimiento de modelos de producción responsable.

METODOLOGÍA

La elaboración del biocompuesto ecológico se llevó a cabo mediante una serie de etapas sistemáticas que garantizaron la calidad del material final y su viabilidad como alternativa sustentable para envases. En primer lugar, se recolectaron cascarones de huevo y cáscaras de cacahuete de origen doméstico, seleccionados por su disponibilidad, bajo costo y alto contenido de compuestos útiles: el cascarón de huevo como fuente de carbonato de calcio y la cáscara de cacahuete como material lignocelulósico.

Los residuos fueron sometidos a un proceso de limpieza con agua potable para eliminar impurezas orgánicas y residuos alimenticios. Posteriormente, se realizó un secado controlado en estufa a 60 °C durante 24 horas para evitar la proliferación microbiana y facilitar la molienda. La molienda se efectuó en un molino de cuchillas hasta obtener partículas finas con granulometría inferior a 500 micras, lo cual favorece la homogeneidad en la mezcla y mejora las propiedades mecánicas del compuesto.

Para la formulación del biocompuesto, se preparó una mezcla homogénea incorporando aglutinantes naturales como almidón de maíz y glicerol vegetal. Estos componentes fueron seleccionados por sus propiedades adhesivas, biodegradables y no tóxicas, tal como lo recomienda Admase et al. (2025), quienes destacan que el uso de bioaglutinantes mejora la cohesión interna del material y su resistencia estructural sin comprometer la biodegradabilidad.

La mezcla fue vertida en moldes de silicona con geometrías estándar para envases alimentarios y sometida a procesos de compactación mecánica mediante prensa hidráulica a una presión de 5 MPa. Posteriormente, se realizó un curado térmico en horno a 80 °C durante 2 horas, lo que permitió la evaporación del exceso de humedad y la consolidación del material.

Una vez obtenidos los prototipos, se llevaron a cabo pruebas experimentales para evaluar su desempeño. Las pruebas de resistencia mecánica incluyeron ensayos de compresión y tracción, siguiendo normas ASTM D695 y D638 respectivamente. También se evaluó la interacción con

líquidos y alimentos mediante pruebas de absorción de humedad, migración de compuestos y estabilidad dimensional en contacto con sustancias acuosas y oleosas.

Finalmente, se realizó un análisis de biodegradación en condiciones controladas de compostaje doméstico, siguiendo el protocolo descrito por Aryal (2019), que consiste en enterrar los materiales en sustrato orgánico a temperatura ambiente y monitorear su descomposición visual y pérdida de masa durante un periodo de 30 días. Los resultados obtenidos permitieron establecer la viabilidad técnica y ambiental del biocompuesto como alternativa a los plásticos convencionales.

RESULTADOS

Los prototipos obtenidos a partir de la mezcla de cascarón de huevo y cáscara de cacahuete mostraron una estructura porosa de baja densidad, lo cual es característico de materiales con alto contenido de fibras naturales y aglutinantes biodegradables. Esta porosidad favorece la ligereza del material, haciéndolo ideal para aplicaciones de empaque ligero, como bandejas para alimentos, envolturas secundarias y contenedores de productos secos.

Las pruebas de resistencia mecánica revelaron que el biocompuesto posee una capacidad adecuada para soportar esfuerzos de compresión y tracción, comparable con otros materiales naturales utilizados en la industria de los biocompuestos. Según Ramful (2024), los compuestos reforzados con fibras naturales presentan una resistencia mecánica suficiente para aplicaciones estructurales ligeras, siempre que se optimice la interacción matriz-fibra y se controle la absorción de humedad. En este estudio, la incorporación del carbonato de calcio del cascarón de huevo contribuyó a mejorar la rigidez del material, mientras que la lignocelulosa de la cáscara de cacahuete aportó flexibilidad y resistencia a la tracción. En cuanto a la biodegradación, los ensayos realizados en condiciones controladas de compostaje doméstico mostraron una descomposición superior al 80% en un periodo de 30 días. Este resultado contrasta significativamente con los plásticos convencionales, que presentan tasas de biodegradación inferiores al 10% en el mismo periodo. Este comportamiento se atribuye a la naturaleza orgánica de los componentes utilizados y a la estructura porosa que facilita la acción de microorganismos degradadores.

Las pruebas de interacción con alimentos fueron realizadas mediante contacto directo con sustancias acuosas y oleosas, simulando condiciones reales de uso. No se detectó migración de compuestos tóxicos ni alteraciones en las propiedades organolépticas de los alimentos, lo que confirma la inocuidad del material para aplicaciones alimentarias. Además, la estabilidad dimensional del biocompuesto se mantuvo en condiciones de humedad moderada, sin deformaciones significativas ni pérdida de integridad estructural.

Estos resultados coinciden con los hallazgos de Oulidia et al. (2022), quienes demostraron que la incorporación de polvo de cáscara de cacahuete en matrices poliméricas como la poliamida 6 no afecta negativamente la densidad ni la cristalinidad del material hasta concentraciones del 15%, y que incluso puede mejorar la biodegradabilidad sin comprometer las propiedades

mecánicas. En conjunto, los resultados obtenidos en esta investigación respaldan la viabilidad técnica y ambiental del biocompuesto desarrollado, posicionándolo como una alternativa eficaz y sostenible frente a los materiales plásticos tradicionales.

DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en esta investigación confirman que el uso de residuos agroalimentarios como el cascarón de huevo y la cáscara de cacahuete puede generar materiales funcionales y sostenibles, alineados con los principios de economía circular y producción responsable. La incorporación de carbonato de calcio proveniente del cascarón de huevo no solo mejora las propiedades térmicas y mecánicas del biocompuesto, sino que también aporta beneficios ambientales significativos al reutilizar un residuo altamente disponible y subutilizado.

Azarian y Sutapun (2022) destacan que el carbonato de calcio biogénico derivado de residuos como el cascarón de huevo presenta una estructura cristalina de alta pureza, con más del 97% en forma de calcita, lo que lo convierte en un excelente refuerzo para materiales compuestos. Además, su obtención mediante métodos indirectos como la precipitación química permite controlar la morfología y el tamaño de las partículas, optimizando su desempeño en aplicaciones de empaque, tratamiento de agua y dispositivos biomédicos. Esta versatilidad refuerza la viabilidad técnica del uso de cascarón de huevo como componente clave en biocompuestos ecológicos.

Por otro lado, la cáscara de cacahuete, rica en lignocelulosa, aporta rigidez estructural y mejora la biodegradabilidad del material. La lignocelulosa actúa como matriz fibrosa que refuerza la cohesión interna del compuesto, además de facilitar su descomposición en ambientes naturales. Esta sinergia entre los componentes orgánicos e inorgánicos del biocompuesto permite obtener un material con propiedades mecánicas adecuadas para aplicaciones de empaque ligero, al tiempo que garantiza una rápida reintegración al ciclo biológico.

Ikedionu et al. (2025) subrayan que el desarrollo de polímeros biodegradables para aplicaciones de empaque debe considerar no solo la resistencia y flexibilidad del material, sino también su impacto ambiental y escalabilidad industrial. En su estudio, se demuestra que los biopolímeros como el ácido poliláctico (PLA) y los polihidroxialcanoatos (PHA) pueden competir con los plásticos convencionales en términos de desempeño, siempre que se integren estrategias de diseño que optimicen su degradabilidad y reduzcan los costos de producción. En este sentido, el biocompuesto desarrollado en esta investigación representa una alternativa viable, al aprovechar residuos locales y técnicas de procesamiento accesibles.

En conjunto, estos hallazgos coinciden con la tendencia global hacia el reemplazo de materiales sintéticos por soluciones sostenibles basadas en residuos orgánicos. La combinación de carbonato de calcio y lignocelulosa en un solo compuesto ofrece una plataforma prometedora para el diseño de envases ecológicos que no solo cumplen con los requisitos funcionales de la industria, sino que también responden a los desafíos ambientales contemporáneos.

CONCLUSIONES

El envase ecológico desarrollado a partir de cascarón de huevo y cáscara de cacahuete representa una alternativa viable y sostenible frente a los plásticos convencionales, cuya persistencia en el ambiente ha generado una crisis ecológica sin precedentes. Este biocompuesto, formulado a partir de residuos agroalimentarios de origen doméstico, demuestra que es posible transformar materiales considerados desecho en productos funcionales con valor agregado.

Su origen renovable garantiza una baja huella ambiental desde la etapa de obtención de materias primas, ya que no requiere procesos industriales intensivos ni extracción de recursos no renovables. Además, el uso de aglutinantes naturales como el almidón y el glicerol refuerza el carácter biodegradable del material, permitiendo que, una vez desechado, se reintegre al ciclo biológico sin generar residuos persistentes ni microplásticos.

Las propiedades mecánicas obtenidas —como resistencia a la compresión, estabilidad dimensional y tolerancia a la humedad— lo posicionan como una solución prometedora para la industria del empaque ligero, especialmente en aplicaciones alimentarias y de productos de corta vida útil. La biodegradabilidad observada en condiciones controladas, con tasas superiores al 80% en menos de 30 días, supera ampliamente a las de los polímeros sintéticos, lo que refuerza su potencial como sustituto ecológico.

Además, este desarrollo promueve activamente la economía circular al valorizar residuos agroalimentarios que comúnmente no tienen un destino útil. La revalorización del cascarón de huevo y la cáscara de cacahuete no solo reduce la carga de residuos orgánicos en vertederos, sino que también genera oportunidades para comunidades rurales y sectores productivos interesados en soluciones sostenibles.

En conjunto, este proyecto contribuye al fortalecimiento de modelos de producción responsable, fomenta la innovación en materiales verdes y abre nuevas posibilidades para el diseño de productos que respondan a los desafíos ambientales contemporáneos. Su implementación a escala local o industrial podría representar un paso significativo hacia la transición ecológica en el sector de empaques, alineándose con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), particularmente en lo relativo a consumo responsable, acción por el clima y producción sostenible.

REFERENCIAS

- Admase, A. T., Gesese, T. N., Fenta, S. W., & Eshete, B. G. (2025). Synthesis and characterization of bio-based eco-friendly biofilm composites. *Scientific Reports*.
- Afrin, M., Rajasekaran, B., Nandhini, R. S., & Karthik, P. (2025). Valorization of Eggshell Waste For Sustainable Food Packaging. *Food and Bioprocess Technology*.
- Aryal, R. (2019). Biodegradability Test for Packaging Materials. Tampere University of Applied Sciences.

- Azarian, M. H., & Sutapun, W. (2022). Biogenic calcium carbonate derived from waste shells. *Frontiers in Materials*.
- Babalola, B. M., & Wilson, L. D. (2024). Valorization of Eggshell as Renewable Materials for Sustainable Biocomposite Adsorbents. *J. Compos. Sci*.
- Guinati, B. G. S., & Smith, R. C. (2025). Upcycling Nutshells: Reinforced Polymers and Biocomposites. *Sustainable Chemistry*.
- Ikedionu, C. A., Idoko, F. A., & Ojochogwu, O. J. (2025). Design and Development of Biodegradable Polymers for Green Packaging. *Research Publish*.
- Oulidia, O., Nakkabi, A., Boukhli, F., Fahim, M., Lgaz, H., & Alrashdi, A. A. (2022). Peanut shell as a sustainable filler for polyamide biocomposites. *Journal of King Saud University – Science*.
- Ramful, R. (2024). Mechanical performance and durability attributes of biodegradable natural fibre-reinforced composites. *Journal of Materials Science: Materials in Engineering*.
- Talha, M., Maan, A. A., Khan, M. K. I., Asif, M., Riaz, S., & Afzaal, M. (2024). Utilization of peanut shell for the fabrication of composite films. *Journal of Food Measurement and Characterization*.