

**DESARROLLO DE UN MATERIAL SOSTENIBLE A PARTIR DE LA
CASCARA DEL CACAO PARA MANUFACTURA ADITIVA**

**KAREN SOFÍA LÓPEZ MARTÍNEZ
FELIPE TAMAYO LLANO**

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
ESCUELA DE ARQUITECTURA Y DISEÑO
FACULTAD DE DISEÑO INDUSTRIAL
PROGRAMA DE DISEÑO INDUSTRIAL
MEDELLÍN
2025**

DESARROLLO DE UN MATERIAL SOSTENIBLE A PARTIR DE LA CASCARA DEL CACAO PARA MANUFACTURA ADITIVA

**KAREN SOFÍA LÓPEZ MARTÍNEZ
FELIPE TAMAYO LLANO**

Trabajo de grado para optar al título de Diseñador Industrial

Asesor

ALEJANDRO ALBERTO ZULETA GIL

Ingeniero de materiales

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
ESCUELA DE ARQUITECTURA Y DISEÑO
FACULTAD DE DISEÑO INDUSTRIAL
PROGRAMA DE DISEÑO INDUSTRIAL
MEDELLÍN
2025**

DESARROLLO DE UN MATERIAL SOSTENIBLE A PARTIR DE LA CASCARA DEL CACAO PARA MANUFACTURA ADITIVA

López Martínez Karen Sofía, Tamayo Llano Felipe

Facultad de Diseño Industrial, Universidad Pontificia Bolivariana, Sede Medellín, Circular 1 N° 70-01, Medellín, Colombia

Resumen

El desarrollo de materiales sostenibles y renovables es una necesidad clave en la transición hacia una manufactura más ecológica y responsable. Actualmente, el uso de recursos no renovables y materiales con alto impacto ambiental sigue predominando en la fabricación de productos, lo que genera retos en términos de sostenibilidad. En este contexto, la impresión 3D ha surgido como una tecnología emergente con el potencial de optimizar el uso de materiales y reducir desperdicios. Sin embargo, la incorporación de biomateriales en esta tecnología presenta retos técnicos, especialmente en términos de formulación, extrusión y desempeño estructural.

Esta investigación propone el desarrollo de un biomaterial para manufactura aditiva a partir de recursos renovables, utilizando la cáscara de cacao reciclada (CBS) como componente principal, junto con aglutinantes naturales. Se plantea una metodología experimental que abarca la formulación del material, su caracterización y pruebas de impresión para evaluar su comportamiento en procesos de extrusión y generación de estructuras tridimensionales. Además, se analizarán sus propiedades mecánicas, estabilidad dimensional y resistencia química, con el fin de garantizar su viabilidad en aplicaciones de diseño industrial.

Finalmente, se desarrollará un prototipo funcional para validar el rendimiento del material en impresión 3D, explorando su potencial como alternativa sostenible a materiales convencionales. Con esta investigación, se busca no solo reducir el impacto ambiental mediante el uso de materiales renovables, sino también contribuir a la innovación en el uso de biomateriales en tecnologías emergentes como la fabricación aditiva.

Resumen

The development of sustainable and renewable materials is a key need in the transition to greener and more responsible manufacturing. Currently, the use of non-renewable resources and materials with high environmental impact continues to predominate in the manufacture of products, creating significant challenges in terms of sustainability. In this context, 3D printing has emerged as an emerging technology with the potential to optimize the use of materials and reduce waste. However, the incorporation of biomaterials in this technology presents technical challenges, especially in terms of formulation, extrusion and structural performance.

This research proposes the development of a biomaterial for additive manufacturing from renewable resources, using recycled cocoa shells (CBS) as the main component, together with natural binders. An experimental methodology is proposed that includes the formulation of the material, its characterization and printing tests to evaluate its behavior in extrusion processes and generation of three-dimensional structures. In addition, its mechanical properties, dimensional stability and chemical resistance will be analyzed in order to guarantee its viability in industrial design applications.

Finally, a functional prototype will be developed to validate the performance of the material in 3D printing, exploring its potential as a sustainable alternative to conventional materials. This research

seeks not only to reduce environmental impact through the use of renewable materials, but also to contribute to innovation in the use of biomaterials in emerging technologies such as additive manufacturing.

Material sostenible, cascara de cacao, diseño de producto, residuos agroindustriales, manufactura aditiva.

1. Introducción

La producción de cacao en Colombia es una de las industrias que más se mueven en el país, representando el 15% a nivel mundial y produciendo 64.281 mil toneladas en el 2021. (Colombia Registró la Mayor Producción de Cacao de la Historia, En el Último Año Cacaotero, 2021). Según cifras del Ministerio de Agricultura, más de 400 municipios de 27 departamentos producen cacao. Las principales zonas productoras son: Santander, Arauca, Antioquia, Huila, Tolima y Nariño; allí se concentra cerca del 80% de las plantaciones.

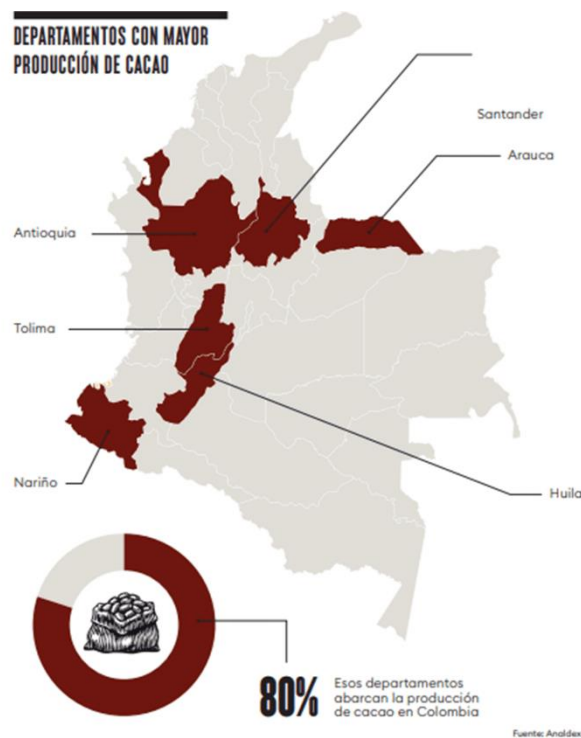


Imagen 1. Departamentos con mayor producción de cacao.

Sin embargo, son las semillas del cacao las que se están aprovechando, lo que corresponde tan solo al 20-23% del fruto, dejando a un lado el resto del material, que en la mayoría de los casos se pierde. Entre los principales subproductos de la industria del cacao se tiene la mazorca, la cacota, la placenta y el mucílago, donde la cáscara y cacota representan entre el 67-76% del peso del fruto del cacao. La cáscara del grano de cacao (CBS) es uno de los principales residuos sólidos derivados de la industria chocolatera, generando problemas ambientales como la presencia de cadmio en los suelos. El cadmio (Cd) es un metal pesado encontrado en la corteza terrestre, que llega por medio de procesos naturales como emisiones volcánicas o erosión de rocas y minerales, así como actividad humana con la explotación de minerales e hidrocarburos. Se ha encontrado que el cadmio en elevadas concentraciones y dosis ha mostrado tener efectos nocivos en la salud humana, principalmente afectando los riñones, el sistema óseo, y el sistema nervioso. (Inicia Proyecto Para la Mitigación del Cadmio En Cacao En Colombia, 2023).

El desarrollo de materiales sostenibles representa un reto en la transición en los procesos industriales para sean más responsables con el medio ambiente. Actualmente, la producción industrial sigue dependiendo en gran medida de polímeros sintéticos y otros materiales no renovables, lo que contribuye a la contaminación y al agotamiento de recursos naturales (Ghazali et al., 2022). Como alternativa, el uso de biomateriales provenientes de fuentes renovables ha sido objeto de estudio en diversas aplicaciones, incluida la manufactura aditiva o impresión 3D (Attaran, 2022). Sin embargo, la incorporación de estos materiales en procesos de impresión presenta retos técnicos relacionados con la extrusión, estabilidad dimensional y resistencia estructural (Mohammed et al., 2023). En este contexto, la cáscara de cacao (CBS por sus siglas en inglés) se consideró para el desarrollo de un material compuesto debido a su alto contenido de celulosa y lignina, componentes que pueden influir en sus propiedades estructurales (Rahman et al., 2023). Aprovechar este subproducto agroindustrial podría reducir la dependencia de materiales sintéticos y diversificar las opciones disponibles para manufactura aditiva. Si no se desarrollan biomateriales compatibles con manufactura aditiva, la dependencia de polímeros sintéticos y otros materiales no biodegradables podría aumentar, lo que intensificaría la acumulación de residuos plásticos y la presión sobre los ecosistemas. Esto podría generar afectaciones en la industria, que enfrenta el desafío de integrar alternativas sostenibles en sus procesos de producción (Müller et al., 2021). Además, la falta de estrategias para utilizar subproductos agroindustriales como la CBS representaría una oportunidad no aprovechada en términos de diversificación de materiales y economía circular (Borrelli et al., 2023). Sin alternativas que faciliten la incorporación de estos materiales en impresión 3D, el desarrollo de nuevas aplicaciones podría verse limitado, lo que restringiría su adopción en diferentes sectores.

En la actualidad, la contaminación generada por productos no biodegradables, como los polímeros sintéticos y sus residuos, representa uno de los mayores problemas ambientales a nivel global. Estos materiales, que tardan cientos de años en descomponerse, se acumulan en ecosistemas terrestres y acuáticos, afectando gravemente la biodiversidad, la calidad del agua y el equilibrio de los ecosistemas. Además, su producción y desecho contribuyen significativamente a la emisión de gases de efecto invernadero, agravando el cambio climático. Frente a esta problemática, surge la necesidad de desarrollar alternativas sostenibles que reduzcan el impacto ambiental de los productos que utilizamos diariamente. Se busca un material con la capacidad de descomponerse de manera natural al entrar en contacto con el agua, sin dejar residuos contaminantes ni afectar negativamente el medio ambiente.

El objetivo de este trabajo es desarrollar un material sostenible, utilizando como materia prima residuos de cáscara de cacao combinados con aglutinantes biodegradables. Con esto no solo se busca reducir el impacto ambiental generado por los desechos de la agroindustria del cacao, sino también crear un producto que sea completamente biodegradable, evitando así la acumulación de residuos nocivos en el medio ambiente. Además, se busca contribuir con el aprovechamiento de los desperdicios generados en la producción de cacao, transformándolos en una materia prima para la fabricación de productos funcionales para la creación de productos de diseño. Este proyecto no solo aborda una problemática ambiental crítica, sino que también propone una solución alineada con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de las Naciones Unidas, relacionado con la producción y consumo responsable. A pesar de los avances en biomateriales para impresión 3D, aún no se han definido metodologías específicas para integrar la CBS en procesos de manufactura aditiva. Investigaciones recientes han explorado el uso de fibras naturales y subproductos agrícolas en materiales compuestos, pero la CBS no ha sido ampliamente evaluada en este contexto ni se han identificado condiciones óptimas para mejorar su comportamiento en impresión 3D (Rodríguez-Lora et al., 2022). Además, persisten interrogantes sobre la relación entre la composición del material, las

condiciones de procesamiento y su desempeño en aplicaciones funcionales. Analizar estos aspectos permitiría ampliar el conocimiento sobre el potencial de la CBS y desarrollar su uso en manufactura aditiva.

2. Metodología

Para el desarrollo del biomaterial, se realizó una revisión bibliográfica exhaustiva en bases de datos con el objetivo de identificar métodos adecuados para la obtención de materiales sostenibles y su aplicación en manufactura aditiva. Posteriormente, se seleccionaron los componentes de la formulación, incluyendo cáscara de cacao reciclada (CBS) como material base, junto con aglutinantes naturales como alginato de sodio y glicerina. La CBS fue proporcionada por el laboratorio de Ingeniería Agroindustrial de la UPB y procesada mediante un molino tradicional corona, para moler granos manualmente, hasta obtener un polvo fino, el cual se tamizó y almacenó en un recipiente hermético para evitar la absorción de humedad. Paralelamente, el alginato de sodio fue hidratado en agua durante 24 horas antes de ser mezclado con los demás componentes en distintas proporciones. Las formulaciones resultantes fueron extruidas mediante una jeringa pastelera para evaluar su cohesión, integridad estructural y capacidad de secado. El proceso completo se esquematiza en la figura 1.

A partir de ensayos preliminares, realizados con una jeringa pastelera, se seleccionaron aquellas muestras que presentaban una mayor estabilidad estructural al formar estructuras verticales, considerando su viscosidad, capacidad de impresión y mantenimiento de la forma tras el secado, registradas en la tabla 1. Las mezclas obtenidas fueron impresas en un equipo 3D Creality Ender-3 modificada para impresión LDM y una impresora Eazao Potter, cada una usada dependiendo de la disponibilidad de estos en el lugar de experimentación. En ambos casos se emplearon boquillas de 3 mm y se ajustaron los parámetros de impresión a una velocidad de 800 mm/s, factor de extrusión de 2, altura de capa de 1.3 mm y altura de la primera capa de 1 mm. Se realizaron pruebas de impresión en forma de cilindros mediante patrones circulares, evaluando la resistencia del material para soportar estructuras tridimensionales y su capacidad de adaptación a la manufactura aditiva.

Proceso de obtención de la cascarilla en polvo



Formulación alginato



Formulación gelatina



Figura 1. Procesamiento de la cascara de cacao y la formulación del biomaterial. Autoría propia.

Adicionalmente, se formuló una mezcla alternativa utilizando gelatina, glicerina, vinagre y agua, con el objetivo de explorar su viabilidad como matriz polimérica. La gelatina sin sabor (60 g) fue hidratada en agua (240 g) y calentada a 60°C bajo control de temperatura para evitar su degradación. Posteriormente, se incorporó la gelatina hidratada a la CBS, añadiendo dos gotas de vinagre y glicerina para mejorar la plasticidad de la mezcla. Esta formulación fue extruida con una jeringa plástica y se evaluaron dos parámetros fundamentales: capacidad de extrusión, evitando que la mezcla se volviera demasiado rígida, y adhesión, asegurando que las muestras no colapsaran.

En tabla 1 se resumen las formulaciones empleadas a lo largo de este trabajo.

Tabla 1. Descripción de las formulaciones empleadas para cada muestra.

Muestra	Gelatina(g)	Agua (g)	Glicerina (g)	Vinagre (g)	CBS (g)
1	0	200	20	0	50
2	60	240	0	10	50
3	30	100	10	0	25
4	60	225	10	0	25
5	60	240	10	10	25
6	60	210	25	3	40

3. Resultados y discusión

En la Figura 2 se muestran las fotografías de los primeros especímenes obtenidos empleando cáscara de cacao molida, glicerina y alginato hidratado. Ambas muestras demostraron la capacidad de soportar su propio peso tras la extrusión de capas sucesivas del material, lo que sugiere, además

de una fluidez adecuada para la extrusión, una correcta capacidad estructural. Es importante anotar que estas muestras, luego de dejarlas secando por aproximadamente dos semanas, no mostraron una rigidización total, dando cuenta de las muestras aún conservaban una estructura gelatinosa, lo cual en consecuencia mostraba un material blando.

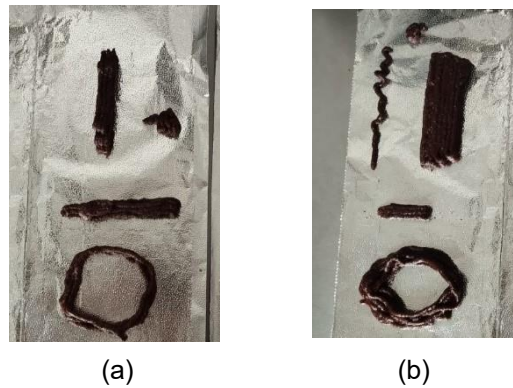


Figura 2. Fotografías de ensayos preliminares para determinar la capacidad estructural del material: (a) muestra 1 líneas sencillas (b) muestra 1 líneas sobrepuestas

3.2 Impresión 3D: Formulación a base de alginato de sodio



Figura 3. Evidencias de impresiones 3D realizadas con la impresora Creality con la formulación correspondientes para la muestra 1 probando la impresión de cilindros, y (b) Muestra 1 con una geometría estructuralmente más compleja

Con la formulación anterior se realizó una prueba de impresión 3D utilizando la impresora "EZAPO Potter" con la cual se produjeron estas muestras. Se generaron muestras adicionales, aunque la mayoría resultaron en fallos debido a la formación de grumos que impedían la impresión continua de las piezas. En la evaluación de resistencia térmica, las muestras con goma xantana mostraron un comportamiento similar a las pruebas previas, sin variaciones significativas en su desempeño

3.3 Impresión 3D: formulación a base de gelatina sin sabor

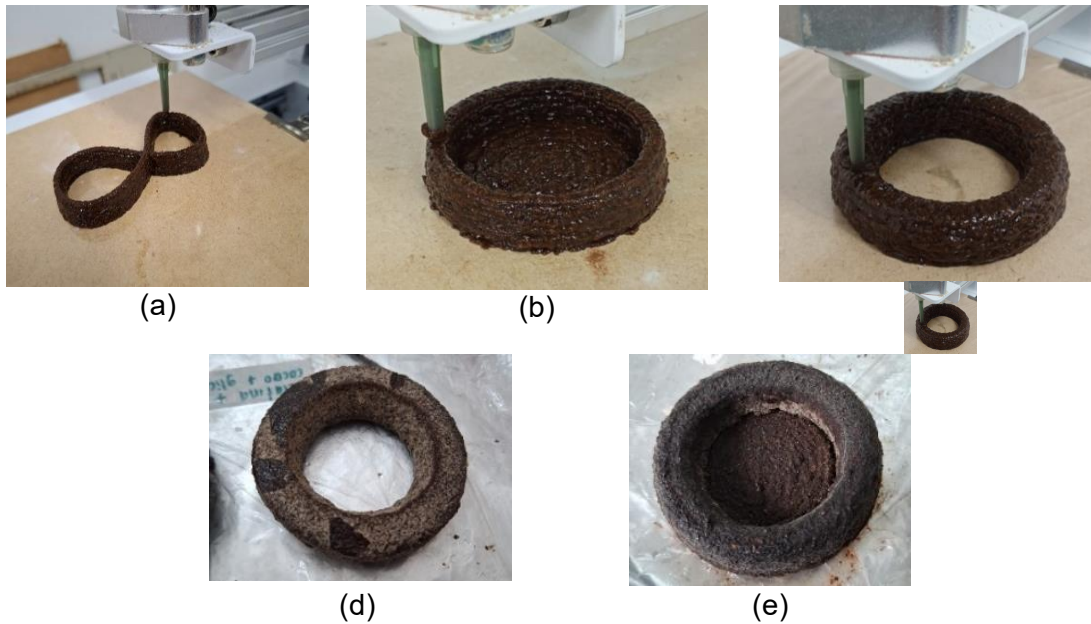


Figura 4. Fotografías de las impresiones 3D realizadas con la impresora Eazao Potter con la formulación correspondientes para la muestra 2 probando la impresión de una morfología correspondiente a (a) símbolo de infinito, (b) un cilindro con base, (c) un cilindro sin base.

Tras realizar ensayos con la formulación a base de alginato, se llevaron a cabo pruebas utilizando la mezcla a base de gelatina. Para estas primeras muestras se utilizó la muestra 2 de la tabla 1. Esta mezcla permitió realizar diferentes impresiones, mejorando la cohesión y permitiendo una extracción más eficiente, comparado con las pruebas anteriores. Sin embargo, a diferencia de la mezcla a base de alginato, se observó la presencia de hongos posterior al secado mostradas en la figura 4 (d) y (e). Posterior al secado las muestras eran muy rígidas, esto nos motivó a seguir utilizando esta formulación, con ligeros ajustes

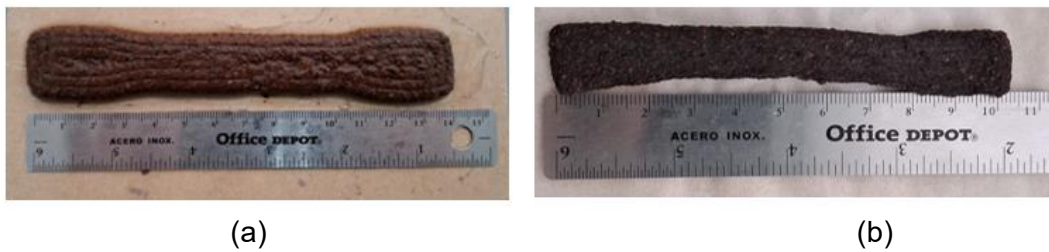
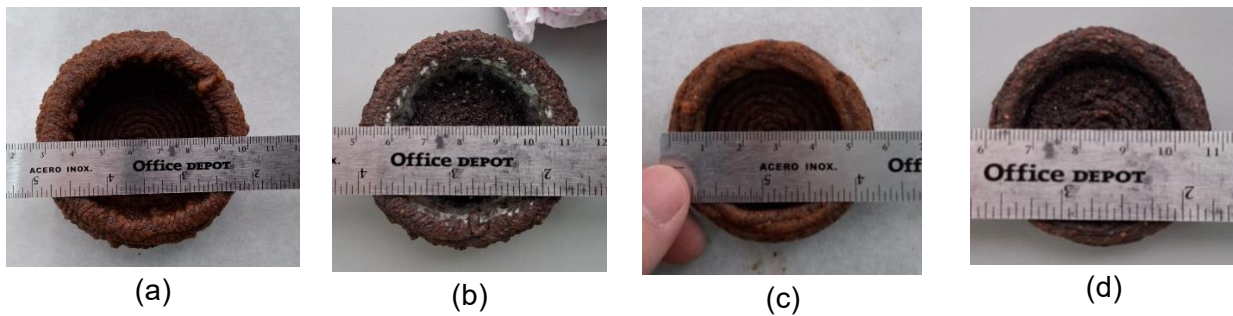


Figura 5. Evidencias de impresiones 3D realizadas con la impresora Eazao Potter con la formulación correspondientes para la muestra 3 probando la impresión de (a) un cilindro, (b) el resultado posterior al secado, (c), la impresión de un cilindro, (d) la muestra posterior al secado, (e) la impresión de una prueba de tracción, (f) resultado de la prueba de tracción posterior al secado.

Para las siguientes impresiones se utilizó la mezcla 3, con estas pruebas se realizaron cilindros y se elaboraron probetas para ensayos de tracción; sin embargo, presentaron leves deformaciones y una compresión considerable durante el proceso de secado. En estas muestras también se evidenció la aparición de hongos, lo que llevó a identificar las condiciones de secado como un factor crítico. Se considera que la humedad residual durante esta etapa podría ser el principal factor que favorece su proliferación.

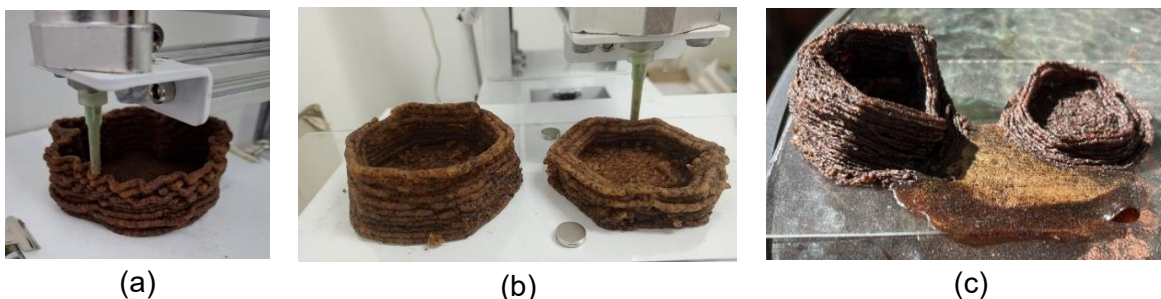


Figura 6. Evidencias de impresiones 3D realizadas con la impresora Eazao Potter con la formulación correspondientes para la muestra 4 probando la impresión de (a) un cilindro con formas irregulares, (b) la impresión de los hexágonos, (c) resultado posterior al secado de los hexágonos.

La formulación usada para estas muestras fue de 225g de agua, 60g de gelatina, 10g de glicerina, 25g de cacao. Para evitar el contacto con la humedad y evitar la prolongación de hongos, estas muestras se expusieron al sol, al calentarse ocasionó que se derritieran.

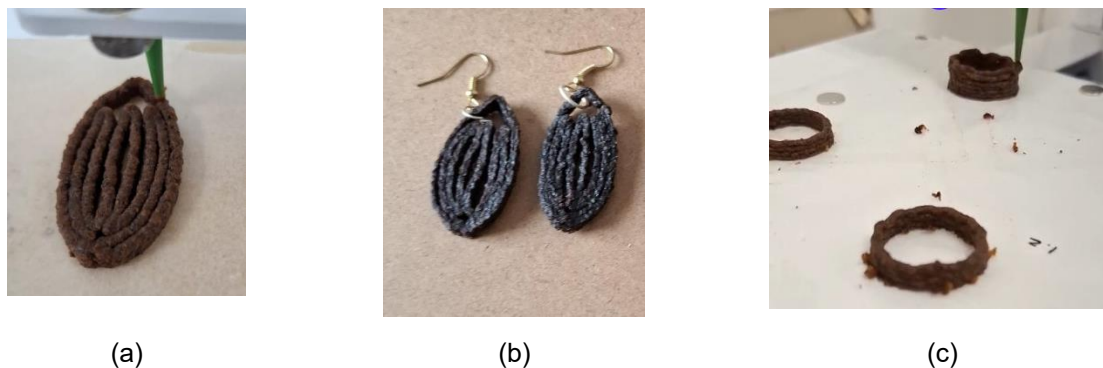


Figura 7. Evidencias de impresiones 3D realizadas con la impresora Eazao Potter con la formulación correspondientes para la muestra 5 probando la impresión de (a) la forma de una cacota de cacao, (b) la impresión posterior al secado (c) la impresión de cilindros pensados para ser usados como anillos.

La muestra utilizada para estas impresiones fue la muestra 5, se dejaron en un ambiente seco, alejadas de la luz solar directa y de fuentes de humedad. La mayoría no presentó crecimiento de hongos, a pesar de permanecer en la sombra, lo que se atribuye a un secado eficiente que resultó en piezas duras y con buena consistencia.

El diseño de estas muestras fue pensado para la elaboración de piezas de joyería, como aretes y anillos. En el caso de la muestra 11, con un diseño de la forma del grano de cacao, se obtuvo un secado óptimo y sin presencia de hongos. Por otro lado, las muestras en forma de anillo se comprimieron considerablemente durante el secado, lo que resultó en piezas demasiado delgadas

debido al uso de una boquilla de 1.5 mm. Estas fueron descartadas, no por fallas del material, sino por limitaciones en su funcionalidad final.

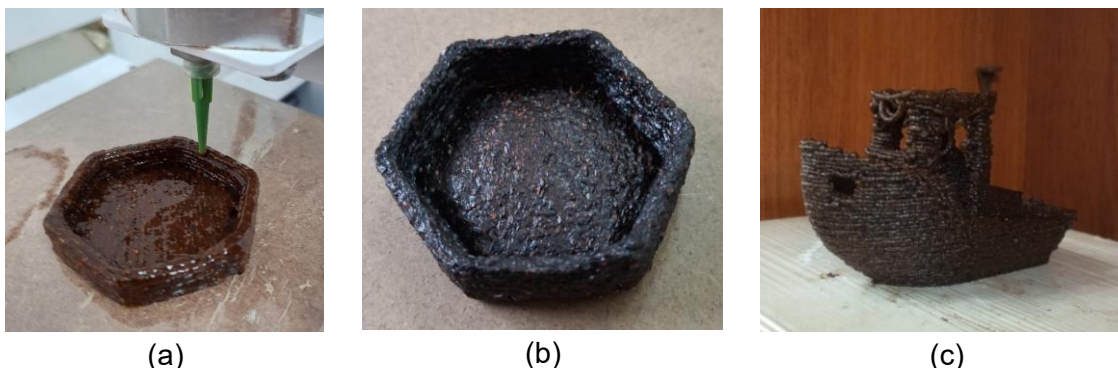


Figura 8. Evidencias de impresiones 3D realizadas con la impresora Eazao Potter con la formulación correspondientes para la muestra 6 probando la impresión de (a) un hexágono, (b) el resultado de la impresión posterior al secado (c) la impresión de un barco, siendo una geometría compleja

Finalmente se utilizó la muestra 6. La formulación presentó un secado adecuado, conservando la dureza obtenida en las pruebas anteriores. La extrusión fue fluida y permitió la impresión de estructuras más complejas y de mayor altura, como en el caso de la imagen (c). Las condiciones óptimas de secado para esta mezcla corresponden a un ambiente seco, con buena ventilación y sin exposición directa a la luz solar. Adicionalmente, la mezcla mostró buena solubilidad en agua, lo cual refuerza su viabilidad como una de las formulaciones más adecuadas para impresión mediante manufactura aditiva por deposición directa de material (LDM).

4. Conclusiones

En las primeras muestras, la ausencia de goma xantana como agente espesante resultó en una mezcla con baja viscosidad, lo que dificultó la formación de estructuras definidas. La incorporación de goma xantana mejoró la rigidez de las muestras, aunque un exceso de este compuesto, como se evidenció en pruebas posteriores, generó masas difíciles de extruir. Las pruebas de impresión 3D realizadas con la formulación basada en gelatina mostraron una mayor cohesión y una extrusión más eficiente, facilitando la obtención de piezas con geometrías complejas. A pesar de las dificultades relacionadas con la viscosidad y la formación de grumos, los resultados preliminares indican que la gelatina constituye una base más estable para impresión 3D, pues aporta dureza y estabilidad, además de que se disuelve en el agua, reduciendo el daño ambiental de los polímeros. La biomasa a partir de la gelatina es muy propensa a generar hongos, por tanto, debe estar lejos de la humedad para evitar su proliferación y se debe evitar disponer calor directo, para así garantizar las condiciones óptimas para su desarrollo.

Después de los ensayos realizados, se concluye que la mezcla más adecuada para la formulación de una biomasa con buenas propiedades estructurales, cohesión y resistencia mecánica, así como solubilidad en agua y capacidad para la impresión de estructuras más complejas y de mayor altura, corresponde a la siguiente formulación: 7% de glicerina, 12% de cacao, 18% de gelatina sin sabor, 60% de agua, 3% de vinagre.

Agradecimientos

Agradecemos al profesor Alejandro Zuleta por la valiosa asesoría que nos dio a lo largo de los semestres para lograr la creación de la biomasa y diseños para imprimir. Agradecemos a nuestros padres por el apoyo y el amor que nos brindan.

Referencias

1. Colombia registró la mayor producción de cacao de la historia, en el último año cacaotero. (s. f.). <https://www.minagricultura.gov.co/noticias/Paginas/Colombia-registr%C3%B3-la-mayor-producci%C3%B3n-de-cacao-de-la-historia,-en-el-%C3%BAltimo-a%C3%B1o-cacaotero.aspx>
2. Inicia proyecto para la mitigación del cadmio en cacao en Colombia. (2023, 7 septiembre). Sitefedecacao. <https://www.fedecacao.com.co/post/inicia-proyecto-para-la-mitigaci%C3%B3n-del-cadmio-en-cacao-en-colombia#:~:text=Los%20niveles%20de%20cadmio%20en,con%20alto%20contenido%20de%20cadmio.>
3. Andrade Almeida, A. C., de Moraes Pontes, J. G., Alvarenga, G. R., Finocchio, H., & Fill, T. P. (2021). The sustainable cycle of a new cacao-based bioplastic: from manufacturing to exploitable biodegradation products. RSC advances, 11(48), 29976-29985.
4. Morales, M. A., Maranon, A., Hernandez, C., & Porras, A. (2021). Development and characterization of a 3D printed cocoa bean shell filled recycled polypropylene for sustainable composites. Polymers, 13(18), 3162.
5. Palma Guevara, H. E., & Tenesaca Campos, F. F. (2020). Estudio de la degradabilidad del PET (Polietilen Tereftalato) dosificado con celulosa de la cáscara de cacao (Bachelor's thesis).
6. Admin. (2024, 27 febrero). Aplicaciones y ventajas nutricionales de la glicerina en alimentos. Pochteca Materias Primas. https://tienda.pochteca.com.mx/blog/post/glicerina-en-alimentos-aplicaciones-ventajas.html?srsltid=AfmBOorqeqvFp9GbYX9fVsRLMRIBu87PgQJZ0yBpn3So8SUAIt_prb6&utm_source=chatgpt.com
7. Biomateriales para la construcción | SIMON. (2025a, febrero 4). Biomateriales Para la Construcción | SIMON. <https://www.simonelectric.com/detailers/biomateriales-para-la-construccion#:~:text=Con%20propiedades%20excelentes,propio%20ritmo%20de%20los%20ecosistemas.>
8. Biomateriales para la construcción | SIMON. (2025b, febrero 4). Biomateriales Para la Construcción | SIMON. <https://www.simonelectric.com/detailers/biomateriales-para-la-construccion#:~:text=Con%20propiedades%20excelentes,propio%20ritmo%20de%20los%20ecosistemas.>
9. BioPowder. (s. f.). Cargas, aglutinantes, texturizadores. https://www.biopowder.com/es/cargas-aglutinantes-texturizadores/?utm_source=chatgpt.com
10. Nacional, B. U.- U. (s. f.). Universidad Nacional de Colombia : Boletín Bitácora - Sede Medellín - Nuevo biomaterial para la construcción a partir de redes de hongos y residuos de madera. <https://www.medellin.unal.edu.co/~bitacoraun/academia-u-n/1340-biomaterial-construccion.html#:~:text=En%20esta%20b%C3%BAsqueda%20encontr%C3%A9%20al.compacte%20en%20todos%20los%20espacios.>
11. Nieto, M. B., Andon, G., & Inc, T. G. (2008, 25 julio). ES2622501T3 - Uso de goma arábica en coberturas, confituras y adhesión - Google Patents. <https://patents.google.com/patent/ES2622501T3/es>
12. ¿Qué es y usos de la glicerina? (s. f.). Soluciones Integrales Pochteca. https://sip.pochteca.net/index.php/blog/que-es-y-para-que-sirve-la-glicerina?utm_source=chatgpt.com
13. Salvati, D. (2012, 11 octubre). Materiales aglutinantes orgánicos naturales [Diapositivas]. SlideShare. <https://es.slideshare.net/slideshow/materiales-aglutinantes-orgnicos-naturales/14688310>

14. Torrens, G. L., & Iodice, B. (2005, 8 julio). ES2432044T3 - Compuesto aglutinante y producto aglutinado para reconstituir polvos de origen vegetal - Google Patents.
<https://patents.google.com/patent/ES2432044T3/es>
15. Jammalamadaka, U., & Tappa, K. (2018). Recent Advances in Biomaterials for 3D Printing and Tissue Engineering. *Journal Of Functional Biomaterials*.