

UNA PROPUESTA PARA LA TRANSFORMACIÓN DE RESIDUOS INDUSTRIALES EN MATERIALES SOSTENIBLES

Salomé Muriel Suárez
Valeria Rodríguez Bastidas
Chabeli Ochoa Luna

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

UNA PROPUESTA PARA LA TRANSFORMACIÓN DE RESIDUOS INDUSTRIALES EN MATERIALES SOSTENIBLES

SALOMÉ MURIEL SUÁREZ, VALERIA RODRÍGUEZ BASTIDAS Y CHABELI OCHOA LUNA

Trabajo de grado para optar al título de Diseñador Industrial

Asesor

ALEJANDRO ZULETA GIL
Ingeniero de materiales
Doctor en Ingeniería

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

UNA PROPUESTA PARA LA TRANSFORMACIÓN DE RESIDUOS INDUSTRIALES EN MATERIALES SOSTENIBLES

Salomé Muriel Suárez, Valeria Rodríguez Bastidas, Chabeli Ochoa Luna

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

Resumen

Esta investigación explora alternativas para reutilizar desechos madereros en la industria mediante el desarrollo de materiales bio-basados a partir de almidón de yuca, alginato de sodio, glicerina y aserrín, para manufactura aditiva. La valorización de estos residuos representa una solución sostenible que permite reducir desechos, impulsar la economía circular y ampliar las posibilidades de la fabricación digital. El objetivo principal es formular un material apto para impresión 3D que permita producir piezas funcionales en el ámbito del diseño industrial. Para ello, se aplica una metodología que incluye una revisión bibliográfica sobre estrategias de reutilización y una fase experimental centrada en la creación del material.

Se evaluaron propiedades como la capacidad de extrusión, estabilidad estructural, contracción tras impresión con el fin de validar su uso en manufactura aditiva. Un hallazgo relevante fue que, tras al aumentar el porcentaje la glicerina permitía mejorar la capacidad de fluidez del material que, al combinarlos con diferentes porcentajes de aserrín permitían variar la viscosidad de la mezcla modulando así las propiedades del material. La formulación que presentó mejores condiciones de imprimibilidad fue 2g de alginato en 100 mL de agua, extrayendo de allí 40g para calentarlo y mezclarlo junto con 60g de almidón de yuca y 10 mL de agua normal; 0,5 de goma xhantan, 10% de aserrín y 1,5g de glicerina. Este estudio permite dar cuenta del potencial de los residuos madereros para la creación de materiales sostenibles en impresión 3D, reduciendo así la contaminación y el consumo de recursos naturales.

Palabras clave: Materiales sostenibles, utilización de residuos, experimentación, manufactura aditiva, diseño Industrial.

Abstract

This research explores alternatives for reusing wood waste in industry by developing bio-based materials from cassava starch, sodium alginate, glycerin, and sawdust for additive manufacturing. The valorization of these residues represents a sustainable solution that reduces waste, boosts the circular economy, and expands the possibilities of digital manufacturing. The main objective is to formulate a material suitable for 3D printing that will allow the production of functional parts in the field of industrial design. To achieve this, a methodology is applied that includes a literature review on reuse strategies and an experimental phase focused on the creation of the material.

Properties such as extrusion capacity, structural stability, and post-printing shrinkage were evaluated to validate its use in additive manufacturing. A relevant finding was that increasing the percentage of glycerin improved the material's flowability. When combined with different percentages of sawdust, the viscosity of the mixture could be varied, thus modulating the material's properties. The formulation that presented the best printability conditions was 2g of alginate in 100mL of water, extracting 40g of which was heated and mixed with 60g of cassava starch and 10mL of plain water; 0.5g of xanthan gum, 10% sawdust, and 1.5g of glycerin. This study demonstrates the potential of wood waste for the creation of sustainable materials in 3D printing, thereby reducing pollution and the consumption of natural resources.

1. Introducción

La crisis ambiental actual, marcada por el agotamiento de recursos y el aumento de residuos sólidos, ha llevado a múltiples sectores industriales a repensar sus modelos productivos hacia esquemas más sostenibles. En este contexto, el diseño industrial desempeña un papel fundamental en la formulación de soluciones que no solo reduzcan el impacto ambiental, sino que también promuevan la economía circular y la innovación material. Una estrategia con gran potencial es la reutilización de residuos madereros como aserrín, virutas y recortes de carpintería los cuales, a pesar de su abundancia, siguen siendo subutilizados. La industria enfrenta crecientes problemas ambientales debido a los residuos madereros generados en sus procesos, los cuales contribuyen a la contaminación y al agotamiento de recursos naturales. Por tanto, es relevante brindar alternativas para el uso de estos residuos y explorar soluciones sostenibles. En respuesta a esta problemática, muchas empresas están tomando medidas para aprovechar los residuos, minimizando la generación de desechos y reduciendo costos operativos. Un caso destacado es el de Primadera, empresa líder en la fabricación de aglomerados crudos y melamínicos en Colombia, que ha adoptado un modelo de economía circular mediante el reciclaje y reutilización de residuos de madera. Esta compañía informa que recicla hasta un 30 % de madera posconsumo y cerca del 30 % de retales de carpinterías, aserraderos y subproductos industriales de preconsumo, para la fabricación de nuevos tableros aglomerados (Nivia, 2024). Este caso demuestra que existen diversas oportunidades para mejorar la reutilización de residuos madereros en las empresas. Adoptar el desarrollo de productos sin aditivos químicos, basados en materiales naturales, puede agregar valor a los productos y reducir costos de producción.

La crisis ambiental actual, marcada por el agotamiento de recursos y el aumento de residuos sólidos, ha llevado a múltiples sectores industriales a repensar sus modelos productivos hacia esquemas más sostenibles. En este contexto, el diseño industrial desempeña un papel fundamental en la formulación de soluciones que no solo reduzcan el impacto ambiental, sino que también promuevan la economía circular y la innovación material. Una estrategia con gran potencial es la reutilización de residuos madereros como aserrín, virutas, y recortes de carpintería los cuales, a pesar de su abundancia, siguen siendo subutilizados. Esta investigación se propone explorar alternativas de valorización de estos residuos a través de la formulación de nuevos materiales bio-basados para manufactura aditiva, en particular mediante impresión 3D, utilizando como matriz el almidón de yuca.

A pesar de que los residuos madereros constituyen una fracción importante de los desechos industriales especialmente en sectores como el mueble, la construcción y la carpintería, su aprovechamiento enfrenta múltiples barreras. Estas incluyen limitaciones culturales como la escasa percepción del valor del residuo; las técnicas, por la dificultad de estandarización de los residuos y económicas derivadas de los costos asociados a procesos de transformación y adecuación del material (Blasi, A., Verardi, A., Lopresto, C. G., Siciliano, S., & Sangiorgio, P. (2023)). Adicionalmente, muchas empresas carecen de la infraestructura necesaria para el procesamiento

de residuos a gran escala, lo que perpetúa una lógica lineal en la gestión de recursos. Esta situación representa una oportunidad para el diseño industrial, ya que permite intervenir en el desarrollo de soluciones materiales con enfoque local y bajo impacto ambiental.

Esta propuesta de investigación adopta un enfoque mixto que integra la recopilación y análisis de información bibliográfica con la experimentación práctica. La primera fase estará orientada a revisar las distintas estrategias de reutilización de residuos madereros en la literatura académica y técnica, así como casos de éxito en sectores industriales. Se buscará comprender cómo estos residuos han sido transformados en materia prima útil para nuevos productos, qué tecnologías se han utilizado y cuáles son las limitaciones encontradas en su implementación. La segunda fase será experimental, y se centrará en la formulación de un material compuesto a base de residuos madereros y almidón de yuca. Este material será evaluado para determinar su viabilidad técnica en procesos de manufactura aditiva, particularmente en impresión 3D, con el objetivo de desarrollar un prototipo funcional orientado al diseño industrial.

El almidón de yuca ha sido seleccionado como matriz principal debido a sus múltiples ventajas. Es un biopolímero natural, biodegradable y ampliamente disponible en América Latina, lo que lo convierte en una opción viable desde el punto de vista ambiental y económico. Su capacidad para formar geles y su comportamiento como agente adhesivo lo hacen ideal para la cohesión de partículas de madera en una matriz imprimible (Kosseva, Maria 2020). Además, su comportamiento térmico puede ser modificado mediante tratamientos físicos o químicos, lo que permite mejorar su resistencia estructural, un aspecto fundamental en manufactura aditiva

Durante la fase experimental, se formularán distintas mezclas de residuos madereros con almidón de yuca, variando las proporciones y condiciones de procesamiento. Se evaluarán parámetros como la viscosidad del compuesto, su capacidad de extrusión y el tiempo de secado. Además, se implementará una estrategia de mejora de propiedades mediante el tratamiento de las muestras impresas con cloruro de calcio. Este compuesto ha mostrado efectos positivos en la gelificación del almidón, al actuar como reticulante iónico y mejorar la cohesión de la matriz. En pruebas preliminares, esta técnica ha incrementado la dureza y resistencia de las piezas impresas, abriendo posibilidades para aplicaciones funcionales más exigentes.

La manufactura aditiva representa, además, una herramienta poderosa para la validación rápida de materiales experimentales. Su bajo consumo energético, la reducción de desperdicio durante la fabricación y su flexibilidad en el diseño de geometrías complejas son ventajas relevantes cuando se trata de escalar prototipos sostenibles (Gebler et al., 2014). Al aplicar esta tecnología con materiales reciclados, se fortalece un modelo productivo más consciente, en el que la reutilización de recursos se convierte en una estrategia tangible de innovación.

El objetivo de esta investigación es demostrar que los residuos madereros, tradicionalmente descartados, pueden transformarse en materiales útiles mediante su combinación con biopolímeros naturales, integrando estos avances en procesos de impresión 3D para el desarrollo de objetos funcionales. Esta apuesta implica repensar las relaciones entre materia, técnica y propósito dentro del diseño industrial. Asimismo, se busca generar conocimiento transferible a contextos productivos reales, identificando no solo las propiedades técnicas del material, sino también los retos y oportunidades que su implementación podría enfrentar en entornos empresariales locales.

2. Metodología

2.1. Recopilación y análisis de información.

Se realizó una revisión exhaustiva de la literatura incluyendo bases de datos académica como el artículo *Obtención de materiales compuestos maderos plásticos a partir de la mezcla de residuos lignocelulósicos y plásticos posconsumo* (Diego Fernando Lopez Rodriguez, 2021). Luego de esto, se procedió a realizar una matriz (Ver Tabla 1) en donde se listaron los aglutinantes naturales más reportados en la literatura lo cual sirvió para seleccionar el aglutinante adecuado para el proyecto con base los siguientes criterios: costo, disponibilidad en el mercado, criterios de toxicidad, aplicaciones, composición química y física.

Tabla 1: Matriz de análisis de los aglutinantes según criterios. Autoría propia.

NOMBRE	COSTO (COP)	DISPONIBILIDAD	JUSTIFICACIÓN TÉCNICA	BIODEGRADABILIDAD	COMP.QUIMICA	RESISTENCIA MECANICA Y APLICACIONES
Sal de alumbre	En polvo 1kg=\$15.000 a \$30.000	Baja	El sulfato de aluminio posee excelentes propiedades aglutinantes debido a su capacidad para formar enlaces fuertes con las moléculas de los materiales que se unen. Esto lo convierte en un eficaz aglutinante para una amplia gama de materiales, incluyendo fibras naturales, polímeros y biopolímeros.	Nula: No es biodegradable en sí misma, ya que es un compuesto mineral, pero es un material ambientalmente amigable.	Catión potasio, catión aluminio, anión sulfato y agua.	Baja: Endurecedor para otros aglutinantes, como la gelatina.
Almidón de yuca	En polvo 1kg=Entre \$4.000 y \$6.000	Alta	El almidón de yuca está compuesto por dos tipos de polisacáridos: amilosa y amilopectina.	Rápida: en cuestión de semanas.	Amilosa y amilopectina.	Moderada: Elaboración de bioplásticos, adhesivos y materiales de construcción.
Almidón de papa	Bolsa de 1 kg: Entre \$5.000 y \$7.000	Alta	Al formar geles en presencia de agua o calor, el almidón proporciona viscosidad y textura a las mezclas, lo que las hace ideales para diversas aplicaciones.	Rápida: alrededor de 4-6 semanas.	Amilosa y amilopectina.	Moderada: Elaboración de bioplásticos, adhesivos y alimentos.

Una vez definido el aglutinante, se procedió al desarrollo de la fase experimental mediante la implementación de una serie de pasos estructurados que contemplaron el uso de materiales y equipos específicos. Los materiales empleados incluyeron residuos madereros, principalmente aserrín, junto con aglutinantes de origen natural como almidón de yuca, agua, goma xantana, alginato, cloruro de calcio y glicerina, cuya función es modificar y optimizar las propiedades reológicas y estructurales de la mezcla. En cuanto a los equipos, se utilizaron mezcladores para asegurar una integración homogénea de los componentes, tamizadores para el control granulométrico, una estufa para el secado bajo condiciones controladas y una impresora 3D Eazao Potter, adecuada para el procesamiento de tintas de alta viscosidad. El diseño y parametrización de los patrones de impresión se llevaron a cabo mediante el software Grasshopper, herramienta que permitió establecer configuraciones precisas adaptadas a las características del material.

En este contexto, se desarrolló un diseño de formulación experimental que consideró diversas proporciones de los componentes, así como las condiciones térmicas requeridas para su tratamiento y los instrumentos necesarios para su procesamiento. El procedimiento de mezcla inicia con la disolución de 2 g de alginato en 100 mL de agua, asegurando una solución completamente homogénea (Ver Figura 1).

Seguido a esto vertemos 40g de agua (pero estos 40g, fueron sacados de una solución previamente preparada (paso anterior)) en un sartén sometido a temperatura baja. Al estar la cantidad de agua con alginato en el sartén, se agregan 60 g de almidón de yuca y se empieza a mezclar rápidamente (Ver Figura 1), no debe detenerse el proceso ya que se corre el riesgo de que este empiece a tomar una consistencia “gelatinosa-transparente”; y esto afectará el resultado, simplemente debe observarse que el agua y el almidón estén correctamente mezclados. Al tener ya una mezcla homogénea. A esta mezcla se le incorporó 0,5 g de goma xantana y 1,5 g de glicerina, promoviendo una mejora en la viscosidad y flexibilidad del material. Luego, se procedió a la doble tamización del aserrín, seleccionando un 10 % en peso del total, que fue incorporado a la mezcla principal de forma gradual, asegurando su dispersión uniforme (Ver Figura 2).



(a)



(b)

Figura 1. Metodología (a) ilustraciones representativas de la preparación inicial del almidón y (b) Ilustraciones representativas de la incorporación de goma xantana, glicerina y el proceso de tamización de residuos madereros. Autoría propia.

Por otro lado, se caracterizaron las muestras obtenidas a través un proceso de impresión 3D en donde se evaluaron de manera cualitativa la rigidez del material realizando modificación de la composición en función de su comportamiento, de esta manera, cada para cada muestra impresa se observó detenidamente su resistencia y apariencia; al mismo tiempo para la generación de las morfologías se creó un código para realizar ajustes en la estructura de la pieza que se deseaba sacar.

3. Resultados y discusión

Durante el proceso experimental se obtuvieron resultados que permitieron evaluar la viabilidad del compuesto a base de residuos madereros y almidón de yuca como material para impresión 3D. La formulación que mejor desempeño mostró contenía una proporción balanceada entre almidón y partículas de aserrín, lo cual permitió una extrusión continua y estable. No obstante, alcanzar esta consistencia óptima implicó varios ajustes, ya que en repetidas ocasiones se presentaron dificultades en relación con la cantidad de almidón empleada (Figura 2).

Cuando el contenido de aserrín era excesivo, el material se volvía demasiado espeso, impidiendo un flujo fluido por el cabezal de la impresora y dificultando el proceso de extrusión. Por el contrario, cuando la mezcla contenía muy poco aserrín, se obtenía una pasta con una textura gelatinosa y poco compacta, lo que comprometía tanto la calidad de impresión como la integridad estructural de la pieza final. Estos ajustes reiterados evidencian la sensibilidad de la formulación y la necesidad de control preciso sobre las proporciones de cada componente.



Figura 2. Imágenes demostrativas de comportamientos del material luego de su impresión. Autoría propia.

En una etapa inicial, no se contempló la inclusión de alginato en la formulación; sin embargo, su posterior incorporación resultó determinante para mejorar la gelificación controlada del compuesto sin comprometer la integridad estructural. La disolución de 2 g de alginato en 100 g de agua, de los cuales se utilizaron 50 g en la mezcla final, permitió una distribución uniforme del agente gelificante, evitando la formación de aglomeraciones. Esta estrategia contribuyó significativamente a optimizar

la fluidez del material durante la impresión, así como la estabilidad y homogeneidad de las piezas obtenidas, mejorando tanto su textura como sus propiedades físico-mecánicas.

Uno de los hallazgos más relevantes fue el impacto del tratamiento con cloruro de calcio sobre las propiedades físicas del biocompuesto. Tras la inmersión de las piezas impresas en una solución de este agente por una hora, se evidenció un aumento notable en la resistencia y dureza del material (Figura 3). Este comportamiento se atribuye a la función del cloruro de calcio **como reticulante iónico, que favorece la gelificación del almidón y refuerza las interacciones intermoleculares entre las partículas del sistema**, actuando como un agente cohesionante que fortalece la estructura interna del compuesto (Z. Tariq, 2023).



Figura 3. Inmersión del material en solución de cloruro de calcio. Autoría propia.

Una vez alcanzada la formulación funcional del biocompuesto para impresión 3D, se procedió a realizar ajustes en las proporciones de los componentes y a ensayar distintas variables relacionadas con la automatización del código de impresión. Entre los factores evaluados se incluyeron el diámetro de la boquilla, la velocidad de extrusión, el espesor de capa, el espacio entre líneas y la velocidad de desplazamiento, entre otros parámetros. Estas pruebas permitieron establecer condiciones óptimas para garantizar una deposición uniforme del material y una adecuada adhesión entre capas. Como resultado, se obtuvo un producto final con buena resolución geométrica y estabilidad estructural, evidenciado en la calidad de las piezas impresas (Figura 4,5,6).



Figura 4. Pieza recién impresa. Una de las piezas con mejor aspecto y resistencia obtenida. Autoría propia.



Figura 5. Pieza completamente seca. Autoría propia.



Figura 6. Intento de variación de forma (Barco). Autoría propia.

La Tabla 2 presenta los parámetros clave empleados durante el proceso de impresión 3D del material compuesto a base de residuos madereros y almidón de yuca. En ella se detallan valores como la altura de capa, la velocidad de impresión, el flujo de extrusión y otras variables críticas para el control del proceso. Estos parámetros fueron determinados a partir de un enfoque experimental iterativo, con el propósito de optimizar tanto la calidad del producto final como la eficiencia del proceso de manufactura aditiva.

Tabla 2: Parámetros de extrusión con observaciones en el proceso. Autoría propia.

Parámetro	Valor	Observaciones
Altura de capa	1.4 mm	Dentro del rango de 1.0 – 2.0 mm según tabla inicial
Diámetro de la boquilla	3 mm	--
Velocidad de impresión	13 mm/s	Relativamente baja, puede influir en la calidad de la impresión
Flujo de extrusión	5.7 mm ³ /s	Ajustado para el material y velocidad de impresión
Filamento utilizado	165.85 mm	Cantidad estimada para la impresión completa
Tiempo estimado de impresión	6:48:40	Dependiendo de la pieza, varía el tiempo
Capas	depende	depende
Tiempo transcurrido	0:01:40	--
Posición del cabezal (X)	1.55	Coordenada del cabezal en reposo
Posición del cabezal (Y)	23.49	Coordenada del cabezal en reposo
Posición del cabezal (Z)	0.000	Cabezal en su posición más baja

Por último, durante el proceso de impresión de piezas con una altura considerable, se identificó la necesidad de implementar un refuerzo estructural interno con el fin de garantizar la estabilidad

dimensional y evitar deformaciones durante la deposición del material. Como se observa en la *Figura 7*, se optó por la incorporación de un patrón reticulado interno tipo malla (infill), generado mediante el mismo proceso de impresión 3D. Esta estrategia respondió a la pérdida de rigidez observada en los primeros ensayos, en los que las paredes externas colapsaban parcialmente o se deformaban debido al peso acumulado del material aún fresco y la falta de soporte interno. El refuerzo permitió distribuir de manera uniforme las tensiones internas y mejorar la cohesión entre capas, resultando en una estructura más sólida y precisa, especialmente útil en geometrías de volumen elevado o tiempo prolongado de impresión.



Figura 7. Refuerzo estructural interno de la pieza impresa. Autoría propia.

4. Conclusiones

- La investigación logró formular un biocompuesto a partir de residuos madereros y almidón de yuca, evidenciando su viabilidad técnica para ser utilizado en procesos de manufactura aditiva como la impresión 3D. El material desarrollado ofrece una alternativa sostenible frente al uso de polímeros sintéticos, promoviendo la reutilización de residuos industriales y la economía circular.
- **La formulación que mostró mejores resultados para ser impresa es** 2g de alginato en 100 mL de agua, extrayendo de allí 40g para calentarlo y mezclarlo junto con 60g de almidón de yuca y 10 mL de agua normal; 0,5 de goma xantana, 10%de aserrín y 1,5g de glicerina.
- El comportamiento del material durante el proceso de impresión demostró que variables como la proporción de almidón y aserrín, la adición de aditivos naturales (como goma xantana, alginato y glicerina), y el tratamiento con cloruro de calcio influyen directamente en sus propiedades estructurales, reológicas y mecánicas. La adecuada combinación de estos componentes permitió obtener una mezcla imprimible, con buena adherencia entre capas y resistencia física satisfactoria.
- El tratamiento de las piezas con cloruro de calcio mostró mejoras significativas en términos de dureza y cohesión del material. Este hallazgo plantea oportunidades para seguir explorando técnicas de postprocesamiento que optimicen las propiedades funcionales de biocompuestos naturales para impresión 3D.
- El proyecto aporta al campo de diseño industrial al demostrar cómo el aprovechamiento de residuos madereros puede integrarse a tecnologías emergentes como la fabricación digital, proponiendo soluciones materiales contextualizadas, de bajo impacto ambiental y con potencial de aplicación en contextos productivos reales.

Referencias

Blasi, A., Verardi, A., Lopresto, C. G., Siciliano, S., & Sangiorgio, P. (2023). Lignocellulosic agricultural waste valorization to obtain valuable products: An overview. *Recycling*, 8(1), Article 3.

Gebler, M., Schoot Uiterkamp, A. J. M., & Visser, C. (2014). A global sustainability perspective on 3D printing technologies. *Energy Policy*, 74, 158–167.

Kosseva, M. (2020). *Food industry wastes: Assessment and recuperation of commodities* (2nd ed.). Academic Press.

Lopez Rodriguez, D. F. (2021). *Obtención de materiales compuestos madero plásticos a partir de la mezcla de residuos lignocelulósicos y plásticos pos consumo* (pp. 29–40). Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Departamento de Ingeniería Química.

Manzini, E., & Vezzoli, C. (2003). A strategic design approach to develop sustainable product service systems: Examples taken from the 'environmentally friendly innovation' Italian prize. *Journal of Cleaner Production*, 11(8), 851–857.

Nivia, R. (2024, marzo 14). La compañía Primadera recicla materiales para producir arquitectura de calidad. *Revista AXXIS*.

Z. Tariq, D. N. Iqbal, M. Rizwan, M. Ahmad, M. Faheem and M. Ahmed, RSC Adv., (2023). Significance of biopolymer-based hydrogels and their applications in agriculture: a review in perspective of synthesis and their degree of swelling for water holding. Department of Chemistry, The University of Lahore, Lahore, Pakistan.