

Materiales biobasados para arquitectura y diseño: avances en el desarrollo y caracterización de materiales compuestos con agregados lignocelulósicos

Biobased Materials for Architecture and Design: Advances in the Development and Characterization of Composite Materials with Lignocellulosic Aggregates

Doctorando/a:

Jorge Eduardo LUIS

<https://orcid.org/0009-0004-4187-8239>

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Córdoba, Argentina

Jorgeeduardoluis27@gmail.com

Director/a:

Mariana GATANI

Codirector/a: (si corresponde)

Verónica NICOLAU

Resumen

La industria de la construcción enfrenta el desafío de reducir su impacto ambiental mediante la incorporación de materiales con menor demanda energética y mayor contenido de recursos renovables. En este contexto, los residuos agroindustriales lignocelulósicos representan una oportunidad para desarrollar materiales biobasados capaces de sustituir parcialmente productos convencionales, promoviendo estrategias de economía circular y valorización de subproductos regionales.

La presente investigación doctoral tiene como objetivo desarrollar y caracterizar materiales compuestos destinados a aplicaciones en arquitectura y diseño, empleando residuos lignocelulósicos provenientes de distintas cadenas agroindustriales argentinas, entre ellos bagazo de caña de azúcar, cáscara de maní, residuos de poda y otras fibras vegetales, combinados con ligantes de baja toxicidad. La investigación contempla el diseño experimental de formulaciones, la evaluación de sus propiedades físicas, mecánicas, térmicas y funcionales, así como el análisis de su desempeño ambiental mediante herramientas de evaluación del ciclo de vida.

El trabajo se encuentra actualmente en una etapa de consolidación metodológica, revisión crítica del estado del arte, selección de materias primas y definición de protocolos experimentales para la fabricación y caracterización de prototipos. Asimismo, se avanza en la articulación con laboratorios especializados para la ejecución de ensayos normalizados y en el diseño de estrategias orientadas a la transferencia tecnológica de los resultados.

Se espera que esta investigación contribuya al desarrollo de nuevos biomateriales para aplicaciones arquitectónicas no estructurales, fortaleciendo el aprovechamiento de residuos agroindustriales regionales y aportando conocimiento científico sobre materiales sostenibles con potencial de aplicación en el ámbito de la arquitectura y el diseño.

Palabras clave biomateriales; arquitectura sostenible; residuos agroindustriales; materiales compuestos; lignocelulosa; economía circular.

Abstract

The construction industry faces the challenge of reducing its environmental impact through the incorporation of materials with lower embodied energy and a higher content of renewable resources. In this context, lignocellulosic agro-industrial residues represent an opportunity to develop biobased materials capable of partially replacing conventional products while promoting circular economy strategies and the valorization of regional by-products.

This doctoral research aims to develop and characterize composite materials for applications in architecture and design using lignocellulosic residues from different Argentine agro-industrial chains, including sugarcane bagasse, peanut shells, pruning residues, and other plant fibers combined with low-toxicity binders. The research includes the experimental design of formulations, evaluation of their physical, mechanical, thermal, and functional properties, and assessment of their environmental performance through Life Cycle Assessment methodologies.

The research is currently focused on the consolidation of its methodological framework, a critical review of the state of the art, the selection of raw materials, and the definition of experimental protocols for prototype manufacturing and characterization. In parallel, collaboration with specialized laboratories has been established to conduct standardized testing and to define strategies for future technology transfer.

The expected outcomes include the development of innovative biobased materials for non-structural architectural applications, contributing to the valorization of regional agro-industrial residues and expanding scientific knowledge in sustainable materials for architecture and design.

Keywords: biobased materials; sustainable architecture; agro-industrial residues; composite materials; lignocellulosic fibers; circular economy.

Introducción

El sector de la construcción constituye uno de los principales consumidores de materias primas y energía a nivel mundial, siendo responsable de una proporción significativa de las emisiones de gases de efecto invernadero y de la generación de residuos sólidos (United Nations Environment Programme [UNEP], 2024). Frente a este escenario, la transición hacia modelos productivos más sostenibles requiere no solo optimizar los procesos constructivos, sino también replantear la naturaleza de los materiales empleados, incorporando alternativas renovables, de bajo impacto ambiental y con capacidad de integrarse a esquemas de economía circular.

En las últimas décadas, los biomateriales elaborados a partir de residuos lignocelulósicos han adquirido creciente relevancia dentro de la investigación científica debido a sus posibilidades de reemplazar parcialmente materiales convencionales, reducir el consumo de recursos no renovables y generar nuevas cadenas de valor asociadas al aprovechamiento de subproductos agroindustriales (Mohanty et al., 2005; Pickering et al., 2016). Residuos como el bagazo de caña de azúcar, la cáscara de maní, los restos de poda y otras fibras vegetales presentan una elevada disponibilidad en distintas regiones de Argentina y constituyen materias primas con potencial para el desarrollo de materiales compuestos destinados a aplicaciones arquitectónicas y de diseño (Fiorelli et al., 2019; Gatani, 2023).

No obstante, la incorporación de estos materiales en la práctica profesional continúa siendo limitada debido a la escasez de información técnica sistematizada, la ausencia de procesos de validación normalizados y la reducida transferencia de los desarrollos experimentales hacia el sector productivo. Esta situación evidencia la necesidad de investigaciones que integren el diseño de nuevos materiales, su caracterización científica y la evaluación de su viabilidad técnica y ambiental, permitiendo avanzar desde experiencias de laboratorio hacia soluciones aplicables en la construcción y el diseño industrial.

Desde esta perspectiva, la investigación no solo busca desarrollar nuevos biomateriales para aplicaciones arquitectónicas, sino también establecer criterios científicos y metodológicos que contribuyan a la valorización de residuos agroindustriales, promoviendo procesos de economía circular y fortaleciendo el vínculo entre la investigación académica y el sector productivo (Geissdoerfer et al., 2017). Se espera que los resultados obtenidos aporten herramientas para la incorporación de materiales

sostenibles en la construcción contemporánea, favoreciendo la innovación tecnológica y el aprovechamiento eficiente de recursos renovables.

Más allá del desarrollo de un nuevo material, el trabajo busca aportar un modelo de valorización de residuos basado en la innovación tecnológica y la economía circular, promoviendo el aprovechamiento de recursos locales y fortaleciendo la vinculación entre el sistema científico-tecnológico y el sector productivo. Desde esta perspectiva, la investigación pretende contribuir a la consolidación de una arquitectura sustentable donde la materialidad se convierta en un factor estratégico para reducir impactos ambientales, fomentar la producción regional y ampliar las posibilidades de aplicación de biomateriales en el ámbito de la construcción.

En este contexto, el objetivo de la presente investigación es desarrollar y caracterizar materiales compuestos biobasados elaborados a partir de residuos agroindustriales lignocelulósicos, evaluando su desempeño físico, mecánico, térmico y ambiental, con el fin de determinar su potencial de aplicación en arquitectura y diseño bajo criterios de sostenibilidad, economía circular y valorización de recursos regionales.

Desarrollo. Materiales y métodos

La investigación se desarrolla a partir de una estrategia metodológica secuencial que integra la revisión bibliográfica, la selección de materias primas, el diseño experimental, la fabricación de materiales compuestos y su caracterización físico-mecánica, térmica y ambiental. En una primera instancia se realiza un análisis crítico del estado del arte sobre biomateriales elaborados con residuos lignocelulósicos destinados a aplicaciones en arquitectura y diseño, considerando investigaciones nacionales e internacionales que permitan identificar las principales materias primas utilizadas, los tipos de ligantes empleados, los procesos de fabricación, las metodologías de evaluación y las aplicaciones desarrolladas. Esta etapa constituye la base conceptual para definir los criterios de selección de materiales y establecer los parámetros que orientarán el desarrollo experimental.

Con base en dicho análisis se seleccionan residuos agroindustriales de disponibilidad regional, entre ellos bagazo de caña de azúcar, cáscara de maní, residuos de poda y otras fibras vegetales, considerando aspectos vinculados con su disponibilidad, composición lignocelulósica, facilidad de procesamiento, potencial de valorización y posibilidades de aplicación en productos destinados a la arquitectura y el diseño. Paralelamente, se estudian diferentes ligantes de baja toxicidad y origen renovable con el propósito de desarrollar materiales compatibles con los principios de la construcción sostenible y la economía circular (Pacheco-Torgal et al., 2012; Geissdoerfer et al., 2017).

La etapa experimental comprende el acondicionamiento de las materias primas mediante procesos de secado, trituración y clasificación granulométrica. Posteriormente se elaborarán diferentes formulaciones variando las proporciones entre fibras, partículas y ligantes con el objetivo de evaluar la influencia de cada variable sobre el comportamiento del material. Las mezclas obtenidas serán moldeadas, prensadas y curadas bajo condiciones controladas para la fabricación de probetas destinadas a los distintos ensayos de caracterización.

La evaluación experimental contempla la determinación de propiedades físicas, mecánicas, térmicas y microestructurales de los materiales desarrollados. Entre los ensayos previstos se incluyen la determinación de densidad, hinchamiento, resistencia a flexión, resistencia a compresión, módulo de elasticidad, conductividad térmica y comportamiento frente al fuego. Asimismo, se emplearán técnicas instrumentales como Microscopía Electrónica de Barrido (SEM), Espectroscopía Infrarroja por Transformada de Fourier (FTIR), Análisis Termogravimétrico (TGA) y Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC), complementadas con herramientas de Evaluación del Ciclo de Vida (ACV) basadas en las normas ISO 14040 e ISO 14044 (ISO, 2006a; ISO, 2006b), con el propósito de analizar el desempeño ambiental de los biomateriales desarrollados.

Los resultados experimentales serán comparados con materiales convencionales utilizados en aplicaciones arquitectónicas equivalentes, con el fin de establecer su viabilidad técnica, ambiental y su potencial de transferencia hacia el sector de la arquitectura y el diseño. La Figura 1 resume el esquema metodológico general de la investigación, mientras que la Tabla 1 presenta los principales residuos agroindustriales considerados para el desarrollo de los materiales compuestos.

Residuos agroindustriales

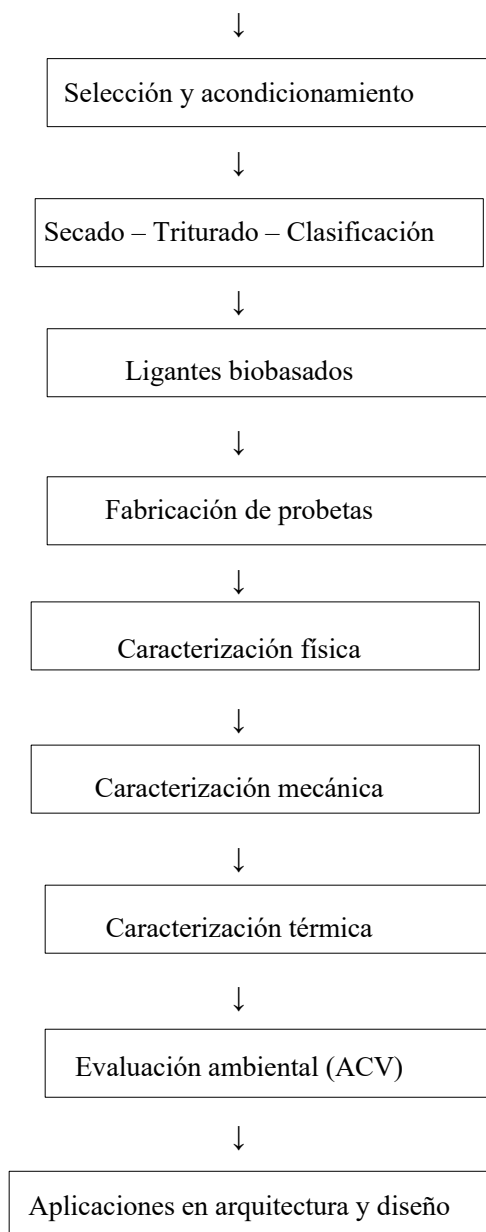


Figura 1. Esquema metodológico general de la investigación.

Residuo	Origen	Aplicación potencial
Bagazo de caña de azúcar	Industria azucarera	Paneles y placas
Cáscara de maní	Industria manisera	Materiales compuestos
Residuos de poda	Arbolado urbano y periurbano	Tableros livianos
Fibras vegetales	Agroindustria y cultivos regionales	Biocompuestos

Tabla 1. Residuos agroindustriales considerados en la investigación.

Resultados

Al momento de la elaboración de este trabajo, la investigación presenta avances significativos en la consolidación del marco conceptual, metodológico y experimental que orientará el desarrollo de materiales compuestos biobasados para aplicaciones en arquitectura y diseño.

Como resultado de la revisión bibliográfica se identificaron las principales líneas de investigación nacionales e internacionales relacionadas con la valorización de residuos agroindustriales lignocelulósicos, permitiendo reconocer las materias primas de mayor interés, los sistemas de ligantes más utilizados, las metodologías de fabricación y las técnicas de caracterización empleadas en el desarrollo de biomateriales. Este análisis permitió establecer los criterios de selección de materiales y definir el enfoque metodológico adoptado en la investigación.

Asimismo, se avanzó en la definición del diseño experimental que guiará las etapas de fabricación y evaluación de los materiales compuestos, así como en el establecimiento de los protocolos para el acondicionamiento de las materias primas, la preparación de formulaciones, la fabricación de probetas y la planificación de los ensayos físicos, mecánicos, térmicos y ambientales. La metodología propuesta constituye uno de los principales resultados alcanzados en esta etapa de la investigación, ya que proporciona un procedimiento reproducible para el desarrollo y evaluación de biomateriales elaborados con residuos agroindustriales.

Otro avance relevante corresponde a la identificación y articulación con laboratorios especializados que disponen del equipamiento necesario para la realización de ensayos normalizados y técnicas avanzadas de caracterización, tales como Microscopía Electrónica de Barrido (SEM), Espectroscopía Infrarroja por Transformada de Fourier (FTIR), Análisis Termogravimétrico (TGA) y Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC). Esta vinculación permitirá validar experimentalmente los materiales desarrollados y garantizar la confiabilidad de los resultados obtenidos.

En conjunto, los avances alcanzados establecen una base científica y metodológica sólida para las siguientes etapas del proyecto doctoral, orientadas a la fabricación, caracterización y validación de biomateriales destinados a aplicaciones arquitectónicas no estructurales. Asimismo, permiten proyectar futuras instancias de transferencia tecnológica y valorización de residuos agroindustriales mediante el desarrollo de materiales con menor impacto ambiental.

Actividad	Estado
Revisión bibliográfica	En desarrollo
Estado del arte	En consolidación
Selección de materias primas	En definición
Diseño experimental	En desarrollo
Protocolos de ensayo	En definición
Fabricación de prototipos	En desarrollo
Caracterización experimental	Próxima etapa
Evaluación ambiental (ACV)	Planificada
Transferencia tecnológica	En planificación

Tabla 2. Estado actual de avance de la investigación doctoral.

Conclusiones

La investigación doctoral ha permitido consolidar una base conceptual, metodológica y experimental para el desarrollo de materiales compuestos biobasados destinados a aplicaciones en arquitectura y diseño. Los avances alcanzados durante esta primera etapa permitieron definir el marco teórico de referencia, seleccionar las materias primas de mayor potencial, establecer el diseño experimental y planificar los procedimientos de caracterización necesarios para evaluar el desempeño de los materiales desarrollados.

La utilización de residuos agroindustriales lignocelulósicos como materia prima constituye una estrategia con alto potencial para promover el aprovechamiento de recursos renovables, reducir el impacto ambiental asociado a los materiales convencionales y fortalecer procesos de economía circular vinculados con las cadenas productivas regionales. En este sentido, la investigación propone una aproximación interdisciplinaria que integra conocimientos de arquitectura, ciencia de materiales, diseño y sostenibilidad para generar soluciones con potencial de transferencia tecnológica.

Si bien la investigación se encuentra en una etapa inicial de desarrollo experimental, los avances obtenidos permiten disponer de una metodología de trabajo sólida y reproducible que orientará la fabricación, caracterización y optimización de los biomateriales propuestos. Las etapas posteriores estarán orientadas a la elaboración de prototipos, la ejecución de ensayos normalizados y la evaluación comparativa de sus propiedades físicas, mecánicas, térmicas y ambientales respecto de materiales convencionales utilizados en aplicaciones equivalentes.

Se espera que los resultados de esta investigación contribuyan a ampliar el conocimiento científico sobre materiales biobasados para arquitectura y diseño, favoreciendo la valorización de residuos agroindustriales, la innovación tecnológica y el desarrollo de alternativas constructivas con menor impacto ambiental. De esta manera, el trabajo busca aportar herramientas científicas que faciliten la incorporación de biomateriales en el sector de la construcción y promuevan modelos de producción más sostenibles.

Utilización de IA generativa / herramientas IA

Declaro la utilización de la herramienta IA ChatGPT (OpenAI) como apoyo para la revisión de estilo y mejora de la redacción científica. Confirmando que luego de la utilización, los contenidos obtenidos fueron revisados, constatados y editados, asumiendo plena responsabilidad por el contenido presentado en el presente trabajo.

Referencias

Fiorelli, J., Bueno, S. B., & Cabral, M. R. (2019). Evaluation of multilayer particleboards produced with green coconut fibers and sugarcane bagasse. *Construction and Building Materials*, 205, 1–9.
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.01.231>

Gatani, M. P. (2023). *Reciclado post industrial de cáscaras de maní: Posibilidades de desarrollo de materiales no convencionales para la construcción de viviendas* [Tesis doctoral, Universidad Nacional de Córdoba].
<https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/125228>

Geissdoerfer, M., Savaget, P., Bocken, N. M. P., & Hultink, E. J. (2017). The circular economy: A new sustainability paradigm? *Journal of Cleaner Production*, 143, 757–768. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.12.048>

ISO. (2006a). *ISO 14040: Environmental management—Life cycle assessment—Principles and framework*. International Organization for Standardization.

ISO. (2006b). *ISO 14044: Environmental management—Life cycle assessment—Requirements and guidelines*. International Organization for Standardization.

Mohanty, A. K., Misra, M., & Drzal, L. T. (2005). *Natural fibers, biopolymers, and biocomposites*. CRC Press.

Pacheco-Torgal, F., Jalali, S., Fucic, A., & Labrincha, J. A. (2012). *Eco-efficient construction and building materials*. Woodhead Publishing.

Pickering, K. L., Efendy, M. G. A., & Le, T. M. (2016). A review of recent developments in natural fibre composites and their mechanical performance. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 83, 98–112.
<https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2015.08.038>

United Nations Environment Programme. (2024). *2023 global status report for buildings and construction: Beyond foundations—Mainstreaming sustainable solutions to cut emissions from the buildings sector*.
<https://doi.org/10.59117/20.500.11822/45095>