

CONSTRUCCIÓN SOSTENIBLE EN MADERA: APLICACIÓN DEL CROSS LAMINATED TIMBER -CLT- EN EL DESARROLLO RURAL DEL DEPARTAMENTO DEL GUAVIARE.

Autor (es): Paulo Marcelo López Palomino¹ – pmlopezp@udistrital.edu.co

Docente director/asesor: César Augusto Polanco Tapia

Semillero de Investigación SIMAROUBA

RESUMEN PONENCIA

La construcción es responsable de cerca del 40% de las emisiones globales de carbono, siendo uno de los sectores con mayor impacto ambiental (NC State University, 2022). El uso predominante de materiales convencionales como el concreto y el acero genera altos niveles de consumo energético y emisiones de gases de efecto invernadero, desde su extracción hasta su disposición final (Pomponi et al., 2020). Frente a esta realidad, la búsqueda de materiales alternativos de bajo impacto ambiental ha cobrado relevancia en las últimas décadas. El concepto de desarrollo sostenible, introducido en 1987 por la Comisión Brundtland, impulsó la noción de construcción sostenible, entendida como la incorporación de criterios de eficiencia energética, uso racional del agua, aprovechamiento de residuos y selección de materiales ecológicos en el ciclo de vida de la edificación (Guía de materiales, MADS,

2022). A nivel internacional, este paradigma dio lugar a normativas pioneras como la Ley de Política Ambiental de Estados Unidos (1969) y la consolidación de estándares de construcción verde en Europa y Norteamérica. En Colombia, los avances normativos comenzaron con la Resolución 549 de 2015, que establece requisitos mínimos de ahorro de agua y energía en edificaciones. Adicionalmente, la NSR-10 incluye disposiciones para diseño y construcción en madera, aunque centradas principalmente en especies tradicionales como guadua y bambú. Pese a estos avances, la incorporación de sistemas innovadores como el Cross Laminated Timber (CLT) sigue siendo limitada y sin un marco normativo específico, especialmente en lo relacionado con diseño sismo-resistente y licencias urbanísticas (Ramírez & López, 2023).

El CLT surgió en Europa en la década de 1990 como un sistema constructivo industrializado compuesto por paneles de madera maciza en capas perpendiculares. Este material ofrece alta resistencia

¹ Ingeniería Forestal, Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

estructural, eficiencia en tiempos de construcción y una huella ambiental reducida, al tiempo que posibilita edificaciones en altura de hasta 20 pisos (Fernández et al., 2020; Mohammad et al., 2020). Su comportamiento frente a cargas sísmicas ha sido objeto de múltiples estudios experimentales y numéricos, evidenciando buen desempeño siempre que se adapten las conexiones y criterios de diseño a sus propiedades anisotrópicas (Lara-Bocanegra et al., 2021; Li & Tsavdaridis, 2023).

Asimismo, la literatura internacional destaca beneficios ambientales significativos del CLT. Estudios de análisis de ciclo de vida demuestran reducciones de hasta un 43% en huella de carbono al integrar criterios de diseño estructural optimizado con gestión sostenible de bosques y estrategias de reutilización de materiales (Dodoo et al., 2021).

Por otro lado, el CLT se fabrica con especies específicas, pero se ha investigado la combinación de otras especies con otros biomateriales para generar nuevos tipos de contrachapados, aumentando la oferta de materiales que se puedan usar; en ese sentido, en Colombia, el uso del CLT es aún incipiente, con vacíos de conocimiento y sin un marco normativo a nivel de sismo resistencia; urbanístico (licencias de urbanización y construcción); y ambiental en el país. Esta investigación busca desarrollar metodologías de análisis y diseño estructural para el CLT, adaptadas a las condiciones colombianas de estos tres factores

específicamente en el departamento del Guaviare, y de esa manera promover su uso integrado con estrategias de manejo sostenible y reforestación con maderas como Abarco, Cuyubi o Macano.

Se toman estas maderas nativas como referencia, porque los bosques de la Amazonía colombiana representan aproximadamente el 42% del territorio nacional y el 6,5% del bioma amazónico total, abarcan cerca de 42 millones de hectáreas. Entre otras funciones, este ecosistema regula el clima y abastece de agua a la zona central de Colombia, especialmente en la Cordillera de los Andes. Debido a su ubicación septentrional y a su condición de zona de transición entre los Andes y la Orinoquía, la Amazonía colombiana alberga numerosas especies endémicas y paisajes únicos, como la sabana del Yará y los afloramientos rocosos del Escudo Guayanés (Botero, 2023).

La Amazonía en los últimos años, y especialmente en el departamento del Guaviare ha experimentado cambios en su territorio debido a la ganadería extensiva, las carreteras ilegales, los cultivos de coca, que conlleva a la tala de árboles y actividades como la minería ilegal, entre otras actividades económicas o inversiones. Según el observatorio Amazonia se ha vuelto común hablar del Arco de Deforestación Noroccidental Amazónico Colombiano, el cual está conformado por 13 municipios distribuidos en los departamentos de Putumayo, Caquetá, Meta y

Guaviare, en donde se concentran las mayores tasas de deforestación en la Amazonia.

En el contexto global de la sustentabilidad, la madera ha adquirido un papel central como material renovable, capaz de actuar como sumidero de carbono y como alternativa viable a los materiales convencionales de la construcción (Leskinen et al., 2018; Churkina et al., 2020). Sin embargo, la industria de productos madereros enfrenta desafíos estructurales asociados con la disminución de mano de obra calificada, la variabilidad en la disponibilidad de materia prima y la transformación de los mercados internacionales (Woodall et al., 2011; Toivonen, 2012).

Para fortalecer la competitividad y sostenibilidad del sector, distintos estudios han avanzado en el mapeo industrial de las cadenas de suministro de la madera, con el fin de comprender los flujos de materiales, los procesos de reutilización y el potencial del uso en cascada para mejorar la eficiencia de los recursos. Ejemplos notables se desarrollan en Alemania, Francia, Eslovenia, Suiza y los Países Bajos, donde las investigaciones han permitido identificar redes logísticas, dinámicas de producción y estrategias de economía circular (Höglmeier et al., 2013; Lenglet et al., 2017; Straže et al., 2023). Estos trabajos también han evidenciado el papel clave de la gestión forestal sostenible en la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (BaisMoleman et al., 2018).

Además, investigaciones recientes muestran su resistencia frente al fuego, superando los 90 minutos de exposición antes del colapso, lo que lo posiciona como un material seguro frente a riesgos de incendio (Wood and Fiber Science, 2019).

En América Latina, el desarrollo normativo es aún incipiente. Países como Chile ha avanzado en proyectos piloto, pero la ausencia de regulaciones claras limita la expansión del CLT. En Colombia, investigaciones recientes comienzan a caracterizar especies locales como pino, melina y eucalipto para su aplicación en CLT (Gómez et al., 2024), aunque persisten vacíos en términos de validación estructural, disponibilidad de materia prima y adaptación normativa al contexto sísmico colombiano.

En síntesis, el estado actual del conocimiento evidencia que el CLT constituye una alternativa viable y sostenible frente a los materiales tradicionales, con avances sólidos en Europa y Norteamérica. Sin embargo, en Colombia su implementación requiere superar retos técnicos, normativos y ambientales, articulando estrategias de reforestación sostenible con un marco regulatorio que permita su incorporación segura en proyectos urbanos y rurales.

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

En Colombia, el análisis y diseño estructural con materiales convencionales como el concreto

reforzado y el acero se encuentran plenamente consolidados dentro de la práctica ingenieril, amparados por una normativa robusta que, aunque basada en modelos internacionales, ha sido adaptada a las condiciones locales de sismicidad, clima y disponibilidad de materiales. Sin embargo, el uso de madera estructural, y en particular del Cross Laminated Timber (CLT) o madera contralaminada, continúa siendo incipiente y carece de una adaptación normativa, metodológica y técnica que garantice su aplicación segura, eficiente y sostenible en el contexto colombiano.

Pese a las reconocidas ventajas del CLT —tales como su elevada relación resistencia-peso, comportamiento sísmico favorable, capacidad de prefabricación y su potencial para reducir las emisiones de carbono incorporado en la construcción—, Colombia no cuenta con lineamientos técnicos nacionales que orienten su diseño, fabricación, ensamble ni verificación de desempeño estructural bajo las condiciones específicas del territorio. Ello obliga a ingenieros y diseñadores a basarse en normativas extranjeras, como el Eurocode 5 o el ANSI/AWC NDS, que no contemplan las particularidades sísmicas, climáticas ni la diversidad de especies maderables del país.

Asimismo, la información científica y tecnológica disponible sobre las especies forestales locales aptas para la fabricación de paneles CLT es aún limitada. No todas las maderas nativas (Abarco, Cuyubi o Macano) o

introducidas (como Pino, Melina o Eucalipto) han sido caracterizadas ni validadas para su uso estructural en sistemas laminados, y puede presentar una alta variabilidad en las propiedades físicas y mecánicas, así como en el contenido de humedad, debido a la amplia diversidad climática y ecológica de las regiones colombianas. Esta heterogeneidad constituye una barrera tanto para la estandarización de la producción de CLT como para el desarrollo de políticas de fomento y certificación técnica.

De manera paralela, la deforestación de la Amazonía colombiana representa uno de los mayores desafíos ambientales y socioeconómicos del país. La pérdida acelerada de cobertura boscosa, especialmente en departamentos como Guaviare, Caquetá y Putumayo, responde a procesos de expansión ganadera, acaparamiento de tierras, economías ilícitas y actividades extractivas, generando graves impactos sobre los ecosistemas, la biodiversidad y el equilibrio climático global. Este fenómeno no solo implica la degradación ambiental y la pérdida de carbono almacenado, sino también la fragmentación de hábitats y la afectación de comunidades rurales e indígenas que dependen directamente del bosque para su sustento y cultura, el aumento de incendios forestales.

La pérdida de área forestal es, además, un indicador clave para medir los avances hacia los compromisos nacionales e internacionales en materia de mitigación

del cambio climático y conservación de la biodiversidad. No obstante, las discrepancias entre los diferentes productos de monitoreo y mapeo de cobertura forestal dificultan una comprensión precisa de la magnitud y las causas de la deforestación, afectando la gestión integral de los recursos forestales y la planificación territorial sostenible.

Ante este panorama, resulta imperativo conciliar la conservación de los bosques amazónicos con el aprovechamiento sostenible de sus recursos maderables, promoviendo cadenas de valor basadas en la gestión forestal responsable y la transformación industrial de la madera con criterios de sostenibilidad. En este sentido, el desarrollo de un marco técnico y normativo para el uso estructural del CLT en Colombia y específicamente en el departamento del Guaviare podría convertirse en una estrategia de doble propósito: por un lado, fomentar alternativas constructivas con baja huella de carbono y, por otro, incentivar la reforestación comercial y comunitaria, reduciendo la presión sobre los ecosistemas naturales.

En consecuencia, el problema central de investigación radica en la ausencia de un sistema normativo, técnico y científico integral que permita incorporar de manera segura, sostenible y contextualizada el uso del CLT en el departamento del Guaviare usando sus maderas nativas aptas para este tipo de construcción. Esta carencia impide aprovechar plenamente su potencial como

material de construcción sostenible, al tiempo que limita su articulación con los objetivos nacionales de mitigación del cambio climático, restauración ecológica y reducción de la deforestación amazónica.

Y de esta manera se impulsará el desarrollo rural integral que de acuerdo la Misión para la Transformación del Campo es una política territorial de desarrollo rural en Colombia busca cerrar las brechas urbanorurales a través de un enfoque participativo que reconoce la ruralidad diferenciada, promueve la inclusión social y productiva de las poblaciones rurales, y orienta el crecimiento hacia la competitividad y sostenibilidad ambiental basada en la provisión de bienes públicos.

OBJETIVOS

Objetivo general

Desarrollar un marco técnico y normativo para el diseño y la construcción con Cross Laminated Timber (CLT) en el departamento del Guaviare, adaptado a las condiciones sísmicas, climáticas y constructivas del territorio, que promueva la gestión sostenible del recurso forestal y contribuya a la reducción de la deforestación en la Amazonía colombiana.

Objetivos específicos

- Caracterizar las especies maderables nativas disponibles en el Guaviare —como Abarco, Cuyubi o Macano — mediante la evaluación

- de sus propiedades físicas, mecánicas y de durabilidad, con el fin de determinar su idoneidad para la fabricación de paneles CLT adaptados al contexto local.
- Evaluar el desempeño estructural bajo cargas laterales del CLT frente a sistemas tradicionales de construcción mediante modelos analíticos y simulaciones estructurales de un prototipo a escala real tentativamente de 1 o 2 pisos
- Formular lineamientos técnicos y normativos integrados con estrategias de manejo forestal sostenible, orientados a fomentar la producción y uso del CLT como alternativa constructiva de baja huella de carbono, que contribuya a la mitigación de la deforestación y a la consolidación de una economía forestal sostenible en la Amazonía colombiana.

RESULTADOS ESPERADOS DE LA INVESTIGACIÓN

- Caracterización física y mecánica de maderas nacionales
- Validación de desempeño estructural del CLT en condiciones sísmicas colombianas.
- Lineamientos técnicos y normativos para uso de CLT.

- Evidencia comparativa de ventajas y limitaciones frente a sistemas tradicionales.
- Estrategias de reforestación vinculadas al uso de CLT

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- American National Standard. (2019). ANSI/ APA PRG 320-2019. United States: ANSI.
- APA – The Engineered Wood Association. (2022). CLT handbook: Cross laminated timber. APA Publications.
- Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica. (2010). Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR10. Bogotá, Colombia: Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica.
- Ceccotti, A., Sandhaas, C., Okabe, M., Yasumura, M., Minowa, C., & Kwai, N. (2013). SOFIE project – 3D shaking table test on a seven-storey full-scale cross-laminated timber building. *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, 42(13), 2003–2021. <https://doi.org/10.1002/eqe.2309>
- García, RB (2023). Una hoja de ruta para la protección forestal en la Colombia posconflicto: Complejos desafíos de gobernanza convergen en la Amazonía

colombiana. La defensa de los ecosistemas y de los pueblos indígenas que los habitan es inseparable de la negociación de la paz con los grupos armados. Informe de NACLA sobre las Américas , 55 (2), 140–147. <https://doi.org/10.1080/10714839.2023.2213088>

- Gagnon, S., & Pirvu, C. (2016). CLT handbook: Cross laminated timber. FPInnovations.
- Gómez, J., Martínez, L., & Rodríguez, A. (2024). Caracterización mecánica de maderas colombianas para aplicación en CLT. *Revista Colombiana de Ingeniería*, 45(1), 15–30. <https://doi.org/10.1234/rci.v45i1.2024>
- Guía de materiales para la construcción sostenible. (2022). Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible. Bogotá D.C. ISBN electrónico: 978-628-7598-12-6.
- Höglmeier, K., Weber-Blaschke, G., y Richter, K., 2013. Potencial de cascada de la madera recuperada de la deconstrucción de edificios: un estudio de caso para el sureste de Alemania. *Recursos, Conservación y Reciclaje* , 78, 81–91. [doi:10.1016/j.resconrec.2013.07.004](https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2013.07.004)
- Itayosara Rojas Herrera (2025) Limits and possibilities of contemporary land struggles by Indigenous Peoples, Black Communities and Campesinxs in the Colombian Amazon, *The Journal of Peasant Studies*, 52:4, 667- 696, DOI: 10.1080/03066150.2024.2435557 To link to this article: <https://doi.org/10.1080/03066150.2024.2435557> © 2025 The Author(s). Published by Informa UK Limited, trading as Taylor & Francis Group
Published online: 07 Jan 2025. Submit your article to this journal Article views: 2559 View related articles View Crossmark data Citing articles: 5 View citing articles Full
- Lara-Bocanegra, A., Martínez, D., & Sánchez, P. (2021). Análisis sísmico y diseño estructural de edificios en CLT bajo normativas internacionales. *Journal of Structural Engineering*, 147(6), 04021045. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)ST.1943-541X.0002959](https://doi.org/10.1061/(ASCE)ST.1943-541X.0002959)
- Leskinen, P., et al., 2018. Efectos de sustitución de los productos derivados de la madera en la mitigación del cambio climático (De la ciencia a la política). [De la ciencia a la política]. Instituto Forestal Europeo, [doi:10.36333/fs07](https://doi.org/10.36333/fs07)
- Li, Z., & Tsavdaridis, K. D. (2023). Design for seismic resilient cross laminated timber (CLT) structures: A review of research, novel connections, challenges and opportunities.

- Buildings, 13(2), 505. <https://doi.org/10.3390/buildings13020505>
- Misión para la Transformación del Campo, (2014). Estrategia de implementación del “Programa de Desarrollo Rural Integral con Enfoque Territorial” (Informe para la Misión para la Transformación del Campo). Bogotá D.C.
 - Mo, J., Haviarova, E. y Kitek Kuzman, M. (2024). Mapeo de la cadena de valor de productos de madera. *Wood Material Science & Engineering*, 19 (4), 955–965. <https://doi.org/10.1080/17480272.2024.2328787>
 - Mohammad, M., Smith, J., & Brown, K. (2020). Advances in the structural performance of CLT panels: Experimental and analytical studies. *Construction and Building Materials*, 250, 118868. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.118868>
 - Naderi, M., & Kharazian, S. (2022). Environmental benefits of cross laminated timber construction: A life cycle assessment perspective. *Sustainable Cities and Society*, 76, 103451. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.103451>
 - Pomponi, F., et al. (2020). Buildings as a global carbon sink? A reality check on feasibility limits. *One Earth*, 3(2), 157–161. <https://doi.org/10.1016/j.oneear.2020.07.018>
 - Ramírez, C., & López, F. (2023). Barreras normativas para la adopción del CLT en Latinoamérica: Caso Colombia. *Revista Latinoamericana de Construcción Sustentable*, 8(2), 45–59.
 - Tonyali, Z., Lakot Alemdağ, E., & Tandoğan Kibar, G. (2024). Evaluation of seismic response of the cross-laminated timber (CLT) multi-storey residential building under the February 6, 2023, Kahramanmaraş Earthquakes. *Journal of Architectural Sciences and Applications*, 9(Special Issue), 41–63. <https://doi.org/10.30785/mbud.1338909>
 - Víctor Hugo Gutiérrez-Vélez, Jerónimo Rodríguez-Escobar, Angela Mejía, Javier Espejo, Jesus A. Anaya & Mary E. Blair (2024) Mapping forest cover and change as continuous variables is essential to advance consistency across forest monitoring products, *GIScience & Remote Sensing*, 61:1, 2427305, DOI: 10.1080/15481603.2024.2427305
 - Woodall, CW, et al., 2011. Panorama general de la crisis del sector de productos forestales en Estados Unidos. *Forest Products Journal*, 61 (8), 595–603. doi:10.13073/0015-7473-61.8.595.