



Optimización constructiva de paneles de bambú para vivienda: estudio comparativo de casos

Constructive optimization of bamboo panels for housing: comparative case study

*Cabrera-Andrade, César Andrés*¹

*Jaramillo-Benavides, Andrea Salomé*²

¹Universidad Regional Amazónica Ikiam, Tena, Ecuador

²Pontificia Universidad Católica del Ecuador sede Ibarra, Ibarra, Ecuador

¹cacabreraa@pucesm.edu.ec | <https://orcid.org/0009-0001-5549-869X>

²asjaramillo@pucesi.edu.ec | <https://orcid.org/0000-0002-2181-8042>

Recibido el 20 de septiembre de 2024, aprobado el 12 de Noviembre de 2024.



RESUMEN | Este estudio presenta los resultados de una tesis de maestría donde se realizó un análisis comparativo de tres métodos constructivos que son utilizados en paneles de bambú en viviendas de interés social en Ecuador, Colombia y Perú. Con énfasis en el aspecto constructivo se evaluó la eficacia y el rendimiento de los paneles considerando tanto criterios técnicos como de costo-rendimiento. Se seleccionó y realizó un estudio de caso de cada país, se hizo un levantamiento de la información técnica por medio de entrevistas y análisis de documentos, luego, por cada caso se construyó un panel tipo a escala real y se analizó el proceso, profundizando en las características constructivas, puesta en obra, rendimientos y cantidad de material utilizado. Se identificaron las ventajas y desventajas constructivas y económicas de cada método. Finalmente, se propuso una mejora técnico-constructiva en un panel tipo, que integra las mejores prácticas identificadas en los tres casos, con el objetivo de reducir costos y tiempos de construcción. Se construyó y evaluó el panel propuesto en las mismas condiciones que los del estudio de caso y esto permitió verificar la optimización constructiva. Finalmente se aplicó el panel optimizado en la construcción de viviendas en la provincia de Esmeraldas – Ecuador.

PALABRAS CLAVE | Bambú, construcción, paneles, técnica-constructiva, vivienda.

ABSTRACT | This research presents the results of a master's thesis where a comparative analysis of three construction methods that are used in bamboo panels in social housing in Ecuador, Colombia and Peru was carried out. With emphasis on the construction aspect, the effectiveness and performance of the panels was evaluated considering both technical and cost-performance criteria. A case study was selected and carried out for each country, technical information was collected through interviews and analysis of documents, then, for each case, a full-scale type panel was built and the process was analyzed, delving deeper into the construction characteristics, implementation, performance and amount of material used. The constructive and economic advantages and disadvantages of each method were identified. Finally, a technical-constructive improvement was proposed in a typical panel, which integrates the best practices identified in the

three cases, with the objective of reducing costs and construction times. The proposed panel was built and evaluated under the same conditions as those of the case study and this made it possible to verify the construction optimization. Finally, the optimized panel was applied in the construction of homes in the province of Esmeraldas – Ecuador.

KEYWORD | Bamboo, construction, construction-technique, housing, panels.

Introducción

En Ecuador, después del terremoto de 2016 que afectó principalmente a la región costa y de la publicación de la Normativa Ecuatoriana de la Construcción con *Guadua angustifolia Kunth* (NEC -GaK) en el registro oficial (Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda [MIDUVI], 2017), la producción y construcción de vivienda en bambú a gran escala ha sido impulsada con proyectos de vivienda social, en un contexto marcado por varios aspectos: (a) evidencias del excelente comportamiento estructural de las edificaciones con estructura de bambú en el terremoto, lo que dio visibilidad al material (b) el déficit habitacional, (c) la búsqueda de alternativas de construcción sostenible y (d) el empleo tanto de materiales locales como de técnicas de construcción asequibles.

Ecuador, Colombia y Perú son países vecinos que, debido a su cercanía geográfica, comparten características similares en sus bambúes (especialmente la guadua). Además, sus normativas de construcción con bambú presentan similitudes en sus criterios técnicos. En los últimos años, han desarrollado programas de vivienda de interés social contruidos con bambú mediante elementos modulares prefabricados (panelería portante). Estas normativas de construcción y soluciones técnicas reflejan los conocimientos y realidades de cada país. Por esta razón, se decidió realizar un análisis entre proyectos de vivienda con bambú en estos tres países.

Este artículo recoge los resultados de la investigación de maestría realizada en el 2023, donde se compararon tres métodos constructivos de paneles de bambú en programas de vivienda de Ecuador, Colombia y Perú, evaluando sus ventajas y desventajas en términos de eficacia y rendimiento (Cabrera, 2024). Se utilizó una metodología experimental y de análisis de estudios de caso, se contrastó la fabricación de paneles de bambú con dimensiones y en condiciones similares. El objetivo fue identificar mejoras técnico-constructivas y criterios de costo-rendimiento. Al final del estudio, se presentó una propuesta de optimización de la técnica constructiva para la construcción de estos paneles en el contexto ecuatoriano.

Desarrollo

La vivienda social con bambú en el contexto latinoamericano

En términos de vivienda, los países latinoamericanos vienen atravesando durante los últimos años una situación difícil en la que confluyen el desempleo, el déficit habitacional, los altos costos para acceder a una vivienda digna, el alto impacto ambiental de la construcción, entre otros; por lo que las autoridades gubernamentales de varios países, enfocan esfuerzos en el desarrollo de programas de vivienda social utilizado el bambú como material renovable y



disponible, como un nuevo enfoque para la solución de estos problemas (Franquis & Infante, 2003).

La vivienda es el reflejo directo de la vida social, históricamente se ha transformado este concepto al proyectar sobre ella atributos vinculados a la distinción de clases (Pascual, 2008). Esto se ve reflejado en la forma, disposición, tamaño y la materialidad de las edificaciones.

En el caso del bambú, ha sido por mucho tiempo asociado a situaciones de pobreza y marginalidad, por lo que su uso en la construcción de viviendas definitivas o edificaciones a mayor escala no ha sido muy común, subordinado históricamente a utilizarse sólo en algunas áreas rurales de los países latinoamericanos (Franquis & Infante, 2003). Sin embargo, en la región, ha habido un cambio significativo en la percepción del bambú en los últimos años.

Ahora al bambú se le asocia con el desarrollo sostenible, ya que es considerado un recurso renovable, además, su promoción también puede impulsar la creación de empleo, porque el bambú es un recurso abundante y de fácil acceso lo que lo ha hecho el “producto forestal no maderero más importante del mundo” (Red Internacional del bambú y el Ratán - [INBAR], 2014, p. 17) y se ha convertido en el medio de subsistencia económica de miles de personas en los trópicos y subtropicos americanos (INBAR, 2014).

Sus excelentes propiedades físico – mecánicas lo hacen apto para la construcción de edificaciones, lo cual ha llevado a la aprobación de normas de construcción en diferentes países latinoamericanos. En Colombia se publicó en 1997 la normativa NSR-10 (Reglamento Colombiano de Construcción Sismo-Resistente, sección de Mampostería confinada y de bahareque encementado), en Perú en 2011 se publicó la normativa E100 (Construcción de Viviendas en Bambú) y en Ecuador en 2016 se publicó la normativa NEC-SE- GUADUA (Estructuras de Guadua).

Es así que la construcción de viviendas sociales en bambú en latinoamérica es una práctica emergente que busca mejorar la calidad de las viviendas y promueve a su vez la sostenibilidad en la región junto a la vinculación con su entorno (Pascual, 2008). El bambú se presenta como un material cada vez más popular debido a su rápido crecimiento, disponibilidad, resistencia y durabilidad, indicado para regiones con alta sismicidad lo que lo hace una opción atractiva.

En este contexto Torres, et al., (2019) afirman que considerando la forma cónica de los culmos de bambú, su aplicación en paneles se presenta como una forma de enfrentar el problema de la estandarización. A pesar de que su investigación se enfoca en paneles industrializados, como se muestra en las siguientes páginas, esta afirmación es aplicable también a paneles realizados con bambú rollizo y montados de forma manual.

Además, la trabajabilidad del material permite fortalecer la especialización de la mano de obra local y la formación de profesionales que reflexionen sobre los procesos constructivos tradicionales, buscando su mejora para adaptarse a las demandas actuales, no solo aumenta la



calidad y el confort en las viviendas, sino que, sumado a la posibilidad de prefabricación, también brinda el beneficio de un bajo costo en comparación con otros sistemas de construcción.

La importancia de formar tanto mano de obra como técnicos especializados en el uso del bambú en la construcción radica en el desarrollo de conocimientos que generan oportunidades laborales en el campo de la construcción sostenible. Esto resulta beneficioso para las comunidades que utilizan el bambú como materia prima en sus edificaciones, promoviendo así una economía local para estos sectores.

Materiales y métodos:

La investigación se desarrolló por medio de estudios de caso y experimentación con los procesos constructivos de paneles de bambú. Se seleccionaron tres estudios de caso, uno por cada país: Colombia, Ecuador y Perú.

Los criterios de selección de los estudios de caso se basaron en las características de los sistemas constructivos empleados, principalmente el uso de paneles con estructura de bambú rollizo: los proyectos debían mostrar la técnica constructiva aplicada a proyectos de vivienda de interés social en el país, haber sido construidos, tener acceso a planos arquitectónicos, planos estructurales y fotografías del proceso constructivo.

Un panel tipo de cada estudio de caso fue modulado y prefabricado en condiciones similares, con las mismas herramientas y mano de obra, observando a detalle el proceso constructivo. Se registraron los tiempos de construcción de cada panel, cantidad de materiales, costos de fabricación y experiencias constructivas por parte del personal encargado de la construcción. El equipo que construyó los paneles, estuvo conformado por tres maestros graduados de la Escuela taller de construcción sostenible con bambú (Mesa sectorial del bambú, 2024) y con años de experiencia en trabajar con este material.

El análisis comparativo se centró en encontrar ventajas y desventajas constructivas en cada estudio de caso para luego destacar sus características principales, basadas principalmente en los criterios de eficiencia constructiva y puesta en obra, las cuales sirvieron de base para el diseño de la propuesta de optimización del panel.

La investigación concluyó con el diseño de un panel que optimiza su técnica constructiva. Este panel fue validado mediante su implementación en condiciones similares, con el mismo personal encargado de construir los paneles anteriores. De esta manera, se obtuvieron datos sobre rendimientos, costos de materiales, mano de obra y el panel terminado, permitiendo comparar estos valores con los obtenidos en los paneles anteriores y determinar sus ventajas constructivas.



Resultados

Descripción de los estudios de caso

En cada estudio de caso las características de ensamblaje y armado de los paneles se ajustan al contexto constructivo del lugar, adaptándose a las capacidades del personal en obra y las necesidades locales.

Estudio de caso en Ecuador

Contexto

La tradición de usar bambú en la arquitectura de Ecuador inició en las zonas rurales costeras; a inicio de los 2000 con la hostería Alandaluz en Puerto López, provincia de Manabí, comenzó la formación tecnificada en su uso. Los habitantes de las comunidades de Puerto Rico, Las Tunas y Ayampe perfeccionaron estas técnicas, convirtiéndose en referencia nacional. Manabí destaca por su mano de obra especializada en bambú, con habilidades en la ejecución de los cortes a boca de pez y pico de flauta, fundamentales para este tipo de estructuras.

Tras el terremoto de 2016, cuyo epicentro fue en la costa ecuatoriana, fue evidente la sismo resistencia de las estructuras de bambú, esto incrementó el interés de la población por el uso de material y la necesidad del respaldo de una normativa de construcción, lo que impulsó la publicación de la NEC - GaK en 2017.

Vivienda de Interés Social con Bambú, Olmedo-Manabí

El proyecto en Olmedo, Manabí, ejecutado en 2022 por el Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda (MIDUVI) y la Red Internacional del Bambú y Ratán (INBAR), corresponde a una construcción de 60,93 m² con paneles de bahareque encementado sobre cimentación de hormigón armado. La Figura 1 muestra el proyecto terminado y uno de sus paneles:

Figura 1

Vivienda de interés social en Olmedo (izquierda) y panel tipo (derecha)



Este prototipo de vivienda social para la región rural de la costa cuenta con dos dormitorios, un baño completo y un espacio integrado de sala, comedor y cocina. Su diseño consideró una ventilación adecuada y el cumplimiento de los criterios de protección del bambú por diseño de la NEC - GaK .



Caracterización de los paneles

Los muros portantes de bambú tienen revestimiento de mortero y la modulación de sus parantes es de 0,6 m, alcanzando una longitud de 3,10 m en los extremos. Se refuerzan con diagonales de bambú conectadas a los elementos horizontales formando una V en los cuadrantes de los extremos, para conseguir mayor rigidez.

Estudio de caso en Colombia

Contexto

Colombia es un líder mundial en arquitectura con bambú, destacando figuras como Simón Vélez y Oscar Hidalgo. En el eje cafetero, el bahareque con bambú es común en edificaciones patrimoniales. Fue el país pionero en América Latina con las normativas de construcción para bambú, lo que garantiza calidad de las obras, pero complica la obtención de permisos de construcción debido a su rigurosidad en los criterios estructurales para sus ensamblajes. Esto ha llevado a combinar bambú con materiales industriales como la madera para simplificar los procesos, como en el bahareque encementado con bambú y muros tendinosos.

Villa Vilé

Un grupo de estudiantes de la Universidad del Valle en Cali, Colombia, diseñaron este proyecto de vivienda de 68 m² para el *Solar Decathlon* de 2015. Pensada para una familia de cinco miembros, cuenta con tres dormitorios, sala, cocina, comedor, lavandería y corredores externos. Utiliza una estructura elevada de bambú con paneles prefabricados de *Guadua* y madera revestidos de fibrocemento. El proyecto se dividió en dos fases: fabricación de paneles y montaje en el sitio. La Figura 2 muestra el proyecto y sus paneles.

Figura 2

Casa Villa Vilé (izquierda), panel prefabricado (derecha)



Nota: Fabio, H. (2015). Proyecto Casa Villa Vilé [Fotografías] [Archivo privado].



Caracterización de los paneles

Los pórticos se ensamblan con columnas de 4 culmos a 3,12 m de distancia, anclando paneles de bambú de 3 m de ancho. Cada panel tiene elementos verticales a cada metro y una estructura de bambú unida con cortes de bocas de pez y pernos con ganchos tensores. Un marco de madera dentro del panel sostiene el revestimiento de fibrocemento. Escuadras metálicas en las esquinas interiores, tensadas por un cable de acero, rigidizan la estructura.

Estudio de caso en Perú

Contexto

En Perú, el bambú no ha sido un material utilizado tradicionalmente en la arquitectura, aunque en los últimos años ha ganado interés en el sector turístico y hotelero. Hay poca mano de obra especializada en construcción con este material y las habilidades para realizar cortes complejos son limitadas. Por ello, se prefieren estructuras con cortes rectos y uniones metálicas o con otros materiales. Como el proyecto I+D+i promovido por el IVUC y desarrollado por los arquitectos Y. Barnet y F. Jabrane, en el cual realiza un diseño de uniones y componentes para optimizar la construcción con bambú.

Módulo de Vivienda de 22m²

El proyecto fue diseñado por los arquitectos Y. Barnet y F. Jabrane y construido entre los años 2008 y 2009 en San Clemente, Pisco, fue ejecutado por la Comisión Episcopal de Acción Social (CEAS) de Perú como parte de las acciones de apoyo a las familias afectadas por el terremoto de 2007 en Pisco. La Figura 3 muestra el proyecto terminado y su configuración estructural:

Figura 3

Proyecto Módulo de Vivienda 22m² (izquierda), montaje de paneles (derecha)



Nota: Barnet, Y.; Jabrane, F. (2009). Proyecto Módulo de vivienda 22m². [Fotografías]. [Archivo privado].

El diseño presenta un módulo de vivienda inicial adaptable, con al menos 3,5 m² por persona y un área habitable de 22 m², permitiendo su expansión según las necesidades. Se construyó con el sistema de bahareque encementado y paneles de bambú prefabricados, sobre una base de hormigón y bloque alivianado.



Caracterización de los paneles

El panel se diseñó con módulos verticales cada 0,8 m de hasta 4,10 m de longitud, con altura variable. Se emplearon soleras excéntricas (superior e inferior) para unir los paneles, con cortes rectos en lugar de tradicionales (boca de pez y pico de flauta). La fijación se logra con pernos, varillas roscadas de 3/8 pulgadas, tuercas y arandelas.

Proceso de construcción de paneles de cada estudio de caso

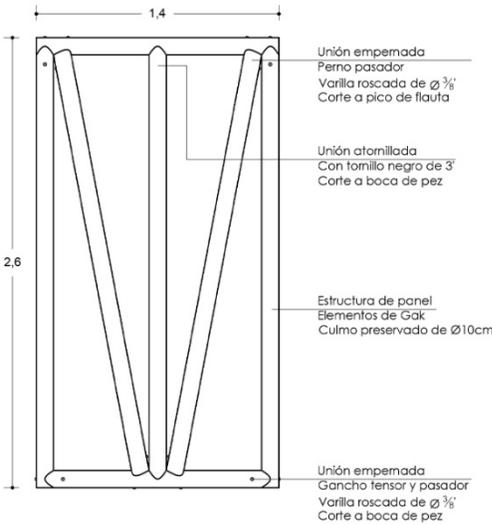
Para el análisis del proceso constructivo de los paneles, se estandarizaron las dimensiones de un panel de 1,40 m x 2,60 m, que luego fue construido con Guadúa siguiendo las especificaciones técnicas de cada proyecto, en un mismo lugar, con las mismas herramientas y mano de obra.

Los paneles fueron prefabricados por un maestro constructor de estructuras con bambú y un ayudante en la parroquia Calderón, Manabí, con costos de 40 y 35 USD por jornada de 8 horas, respectivamente. Para la construcción, se utilizaron mesas de trabajo para adaptar el molde de los paneles, como es costumbre en la zona. Los materiales fueron adquiridos en ferreterías y depósitos de bambú en Calderón, y la jornada de construcción se llevó a cabo durante dos días de trabajo.

En la Tabla 1 se sintetizan los aspectos constructivos de cada panel y además se puede observar las diferencias formales entre ellos, así como las diferentes conexiones entre elementos de bambú.

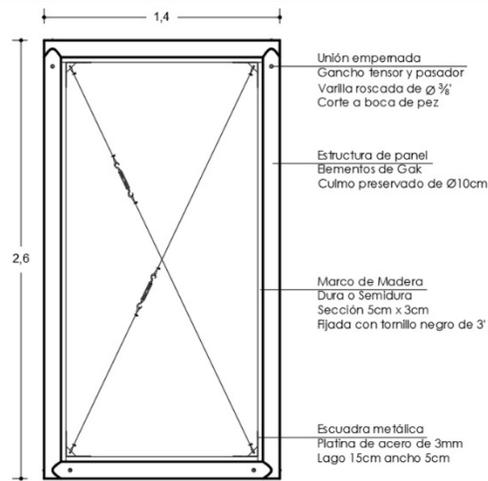
Tabla 1

Características de los paneles de los estudios de caso

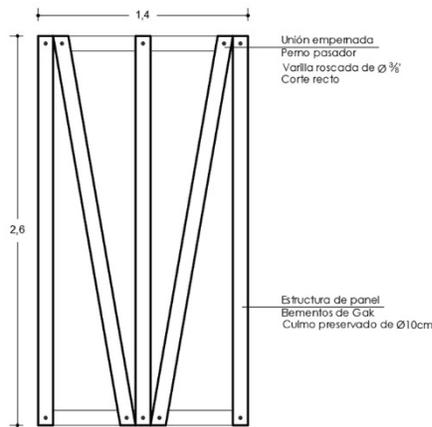
| Detalle del Panel | Imagen del panel construido | Uniones |
|---|--|--|
| Panel del estudio de caso de Ecuador | | |
|  <p>Unión empemada Perno pasador Varilla roscada de $\varnothing \frac{3}{8}$ Corte a pico de flauta</p> <p>Unión atornillada Con tornillo negro de 3" Corte a boca de pez</p> <p>Estructura de panel Elementos de Gak Culmo preservado de $\varnothing 10\text{cm}$</p> <p>Unión empemada Gancho tensor y pasador Varilla roscada de $\varnothing \frac{3}{8}$ Corte a boca de pez</p> |  |  <p style="text-align: center;"><i>Boca de Pez</i></p>  <p style="text-align: center;"><i>Pico de Flauta</i></p> |



Panel del estudio de caso de Colombia



Panel del estudio de caso de Perú



Luego de construir los paneles se realizó un análisis basado en la comparación del proceso constructivo y se plantearon algunas propuestas de optimización.

Ventajas y desventajas constructivas

Se evaluaron las ventajas y desventajas constructivas de los paneles con base en la experiencia del personal de obra y los tiempos de construcción, todo esto en el contexto de la provincia de Manabí, Ecuador. Se destacaron las características favorables y desfavorables de cada panel en su proceso de construcción (Tabla 2).



Tabla 2
Ventajas y desventajas constructivas de los paneles

| Panel | Ventajas constructivas | Desventajas constructivas |
|-------------------------|---|---|
| Caso de Ecuador | <ul style="list-style-type: none"> - Estética de los cortes a boca de pez y pico de flauta. - Percepción de mayor rigidez estructural. | <ul style="list-style-type: none"> - Mayor tiempo de construcción. - Necesidad de personal especializado en ejecución de cortes a boca de pez y pico de flauta. |
| Caso de Colombia | <ul style="list-style-type: none"> - Panel más ligero. - La combinación con otros materiales, reduce el tiempo de construcción. - Mayor facilidad de instalación de recubrimientos secos. | <ul style="list-style-type: none"> - La estructura del panel requiere elementos industrializados, como los cables tensores, lo que incrementa el costo de fabricación. |
| Caso de Perú | <ul style="list-style-type: none"> - Los cortes rectos en el bambú reducen el tiempo de construcción. - No requiere una mano de obra mayormente especializada - Posibilidad de uso en construcciones emergentes. | <ul style="list-style-type: none"> - Menor percepción de rigidez estructural y estética. - El área en planta que ocupa un panel es mayor. |

Posibilidades de mejora constructiva

Se identificaron estas mejoras en la técnica constructiva de vivienda social con bambú en el contexto de Ecuador:

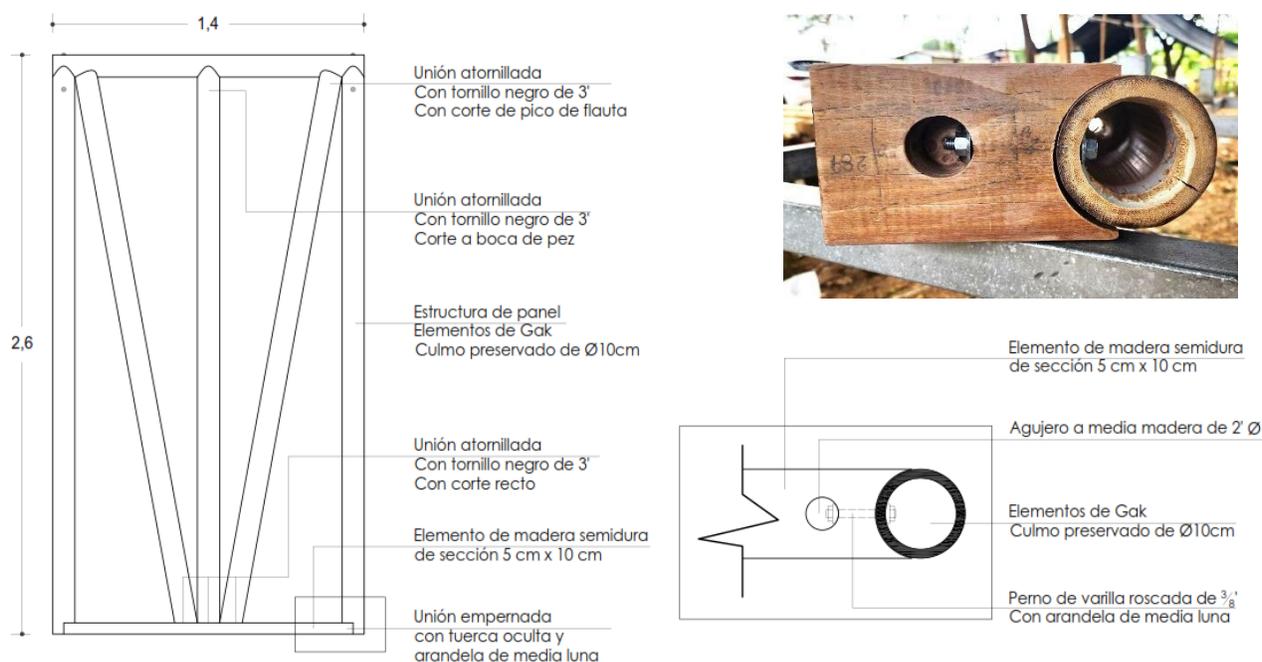
- **Modulación:** Diseñar paneles que minimicen el desperdicio y posibiliten la prefabricación. Se recomienda utilizar la modulación planteada en la normativa de construcción con bambú de cada país, o a criterio del proyectista.
- **Ensamblajes:** Priorizar uniones simples que permitan minimizar el tiempo de montaje, sin descuidar la participación de mano de obra especializada.
- **Materiales:** Equilibrar el uso de materiales naturales (bambú y madera) con materiales industriales, considerando la disponibilidad, costos y contexto constructivo.

4.3 Propuesta de optimización de técnica constructiva de panel de bambú

La Figura 4 muestra la propuesta de optimización de paneles de vivienda de bambú de 1.40 m x 2.60 m. Integra técnicas ecuatorianas (cortes a boca de pez y pico de flauta), la facilidad constructiva de elementos de madera y metálicos usados en Colombia, y la rapidez de los cortes rectos de Perú.



Figura 4
Detalle de panel con la técnica constructiva propuesta



La propuesta conserva la solera superior de bambú, sostenida por parantes y diagonales de bambú con ensambles tradicionales boca de pez y pico de flauta, reemplaza la solera inferior de bambú por una de madera para incluir cortes rectos en las bases de los parantes como en el método peruano e incorpora arandelas de media luna para agilizar los ensambles y reducir varillas roscadas, siguiendo la técnica colombiana.

El panel propuesto fue prefabricado por las mismas personas y en las mismas condiciones que los paneles de los estudios de caso.

Análisis comparativo de los aspectos constructivos del panel optimizado

En la Tabla 3 se muestra la comparación de los datos levantados sobre el proceso de construcción de los paneles de los casos de estudio de Ecuador, Colombia y Perú con los del panel propuesto. Incluyen costos de materiales, mano de obra y panel terminado, cuantificados en dólares estadounidenses en octubre de 2023 en Manabí, Ecuador.



Tabla 3

Comparación entre los casos de estudio y la propuesta de mejora del panel

| | Panel de Ecuador | Panel de Colombia | Panel de Perú | Panel propuesto |
|--|-------------------------|--------------------------|----------------------|------------------------|
| Costo de los materiales (USD) | \$40.71 | \$62.68 | \$42.37 | \$34.30 |
| Tiempo (hh:mm:ss) | 2:09:51 | 1:08:24 | 59:00 | 1:25:53 |
| Costo de mano de obra (USD) | \$20,30 | \$10,65 | \$9,21 | \$13,31 |
| Costo del panel terminado (USD) | \$61,01 | \$73,33 | \$51,58 | \$47,61 |

Nota: Los precios están en dólares americanos, todo en referencia a costos del año 2023.

El panel propuesto reduce los costos de materiales al necesitar menos pernos que los paneles anteriores. En cuanto al costo de la mano de obra, resulta ser uno de los más elevados, sólo por debajo del costo del panel de Ecuador, y esto por aún hacer uso de los cortes tipo boca de pez y pico de flauta.

El costo del panel terminado (mano de obra más material) resulta ser el más económico, siendo un 7.69% más barato que el de Perú, 35.07% más barato que el de Colombia y 21.96% más barato que el de Ecuador, estableciendo una técnica de construcción más rentable para proyectos de vivienda contemplando una realidad constructiva en Ecuador.

En lo relacionado al tiempo de construcción, aunque las técnicas de construcción en Colombia y Perú son más eficientes, la nueva propuesta logra reducir 44 minutos en comparación con la técnica de Ecuador, gracias a la disminución de cortes a boca de pez y pico de flauta. Al usar cortes rectos para unir los elementos de bambú a la solera de madera, la propuesta es competitiva en tiempo de construcción dentro del contexto ecuatoriano.

Fase de validación

A partir de los conocimientos adquiridos en esta investigación, se diseñó y construyó un proyecto de vivienda progresiva con bambú para los cantones de Muisne y Atacames, en la provincia de Esmeraldas, Ecuador (Figura 5). El diseño modular de los paneles combina técnicas peruanas con el detalle del panel aquí propuesto, resultando en un prototipo de vivienda con un área de 44 m².



Figura 5

Construcción de proyecto de vivienda progresiva en la provincia de Esmeraldas



Todos los paneles de la casa, revestidos con caña picada, fueron prefabricados en 12 horas de trabajo por una cuadrilla de 3 personas, conformada por dos maestros y un ayudante. El montaje de la casa se realizó en dos días: uno para el piso y el segundo para las paredes y el techo.

Conclusiones

Con base en un análisis comparativo de las técnicas constructivas de paneles con bambú de la vivienda de interés social de Ecuador, Colombia y Perú, fue posible proponer un tipo de panel que optimiza costos y puesta en obra, mejorando la eficiencia del sistema constructivo.

La optimización del proceso de fabricación de paneles con bambú se resume en el cambio de la solera inferior de bambú por madera y a usar tuercas ocultas en lugar de empernado convencional. Esto mejoró la técnica constructiva y redujo los costos de fabricación.

Al planificar un proyecto con bambú, ya sea una vivienda o una producción a gran escala, es crucial analizar el contexto constructivo y la destreza manual del personal de obra. Esto permitirá diseñar un sistema y una técnica constructiva acordes a la realidad del lugar.

Los cortes de boca de pez y pico de flauta en paneles y estructuras de bambú mejoran la percepción de estética y rigidez, aunque aumentan costos y tiempos de construcción. Sin embargo, esto favorece la economía y promoción de saberes locales al requerir mano de obra especializada.

La inclusión de elementos industrializados en las uniones de bambú, aunque costosa, reduce los tiempos de construcción y es una opción viable en proyectos a gran escala y prefabricación, especialmente en lugares con escasez de mano de obra especializada.

La construcción sostenible tiene tres pilares fundamentales: el ambiental, el social y el económico. En este último aspecto se propuso con un enfoque innovador la mejora de la técnica constructiva del panel de bambú con la optimización de su ensamblado, disminuyendo los costos de la vivienda social con bambú en Ecuador. Contribuyendo a que la panelería portante de bambú se proyecte como un sistema competitivo y accesible frente a los convencionales.



Recomendaciones:

- Algunos aspectos que podrían profundizarse en investigaciones futuras:
- Métodos para realizar presupuestos de sistemas constructivos de bambú, centrándose en pórticos y muros portantes, evaluando diferencias en partidas presupuestarias por metro lineal (m), metro cuadrado (m²) o unidad de elementos (U).
 - Comportamiento físico mecánico de los paneles.
 - Métodos de seguimiento en tiempo real para proyectos de construcción en bambú, mejorando la precisión y la integridad de los datos sobre costos de mano de obra en dichos procesos.
 - Posibilidades de recubrimientos para paneles de bambú, ya sean húmedos o secos, su aplicación antes del montaje y el proceso de unión entre paneles e inserción en diferentes sistemas constructivos.

Agradecimientos

Al programa de becas de la AECID por la beca de maestría y los fondos de investigación para desarrollar este trabajo.

A la Organización Internacional del Bambú y el Ratán - INBAR y su programa de formación de ETCSB por la oportunidad de trabajar con ellos y adquirir los conocimientos necesarios para desarrollar esta investigación.

A los maestros constructores, Valentín y Diocles, porque sin sus habilidades con el bambú este trabajo no podría haber sido ejecutado.

Referencias

- Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (2010). *NSR-10. Reglamento colombiano de construcción sismo resistente*. (AIS:2010).
- Cabrera, C. (2024). *Optimización de la técnica constructiva de paneles de bambú para vivienda de interés social: análisis de casos en Ecuador, Colombia y Perú*. [Tesis de maestría no publicada]. Universidad Regional Amazónica Ikiam.
- Franquis, F., & Infante, Á. (2003). Perspectivas del Bambú en América Latina y en Venezuela. *Revista Forestal Latinoamericana*, número 33 (1), 1-10. <http://www.saber.ula.ve/bitstream/123456789/24129/2/articulo1.pdf>
- Red Internacional del Bambú y el Ratán - INBAR. (2014). *El bambú: un recurso estratégico para que los países reduzcan los efectos del cambio climático*. https://issuu.com/inbarlac.media/docs/el_bamb_recurso_strat_gico_reducc/1



Mesa sectorial del bambú (6 de noviembre de 2024). *Escuela taller Manabí de construcción sostenible con bambú*. Bambú Ecuador. Recuperado el 6 noviembre 2024 de <https://bambu.com.ec/escuela-taller/>

Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda - MIDUVI (2017). *NEC-SE-GUADUA: Estructuras de Guadua*. <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2017/04/NEC-SE-GUADUA-VERSION-FINAL-WEB-MAR-2017.pdf>

Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento (2012). *Norma Técnica E.100: Bambú*.

Pascual, J. M. (2008). El bambú, una alternativa sostenible en la solución de la vivienda social. *Revista Ciencia en su PC*, 1(1), 89- 99. <https://www.redalyc.org/pdf/1813/181320674011.pdf>

Torres, B., Segarra, M., & Bragança, L. (2019). El bambú como alternativa de construcción sostenible. *Extensionismo, Innovación y Transferencia Tecnológica*, 5, 389-400. <https://doi.org/10.30972/eitt.503787>

