

EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DE UN REFUERZO HÍBRIDO ACERO-BAMBÚ PARA OPTIMIZAR CUANTÍAS EN ELEMENTOS A FLEXIÓN

Guaman E.^a, Palaguerra, D.^b, Maiz, M.^c, Albornoz, L.^d, Condori, E.^e

- a. Docente titular de la Facultad de Ingeniería Civil USFX. Destacamento 317, Ex campus REFISUR, 573, Sucre. Bolivia. guaman.eduardo@usfx.bo
- b. Estudiante de pregrado de la Facultad de Ingeniería Civil USFX. Destacamento 317, Ex campus REFISUR, 573, Sucre. Bolivia. michasljhosep@gmail.com
- c. Estudiante de pregrado de la Facultad de Ingeniería Civil USFX. Destacamento 317, Ex campus REFISUR, 573, Sucre. Bolivia. Bcjune.2000@gmail.com
- d. Estudiante de pregrado de la Facultad de Ingeniería Civil USFX. Destacamento 317, Ex campus REFISUR, 573, Sucre. Bolivia. Albornozlimber76@gmail.com
- e. Estudiante de pregrado de la Facultad de Ingeniería Civil USFX. Destacamento 317, Ex campus REFISUR, 573, Sucre. Bolivia. Bcjune.2000@gmail.com

Recibido: 01/10/2025

Aceptado:

Publicado

RESUMEN

El presente estudio analizó la viabilidad de reducir el contenido de acero en vigas de hormigón armado mediante la incorporación de bambú de la especie "Tacuara", procedente de Cochabamba (Bolivia), como refuerzo complementario. La metodología incluyó ensayos de flexión en vigas a escala, comparando el desempeño de un refuerzo mixto de acero longitudinal combinado con barras de Tacuara frente a una configuración tradicional. Adicionalmente, se caracterizó la resistencia del hormigón mediante ensayos de compresión uniaxial según la norma ASTM C39, y se evaluó la adherencia en la interfaz hormigón-bambú mediante probetas específicas. Los resultados obtenidos demuestran que el bambú Tacuara es capaz de absorber esfuerzos de tracción de manera eficiente, lo que permitió reducir la cuantía de acero en un 10.08% sin afectar significativamente la capacidad estructural de la viga. Los ensayos de compresión respaldaron la viabilidad del sistema, al registrar resistencias superiores a 21 MPa en el hormigón, valor compatible con aplicaciones estructurales. En conclusión, el uso de Tacuara como refuerzo complementario se presenta como una alternativa sostenible y técnicamente viable en la región.

Palabras clave: Reducción de cuantía, Bambú tacuara, Adherencia bambú-hormigón, comportamiento híbrido.

ABSTRACT

This study analyzed the feasibility of reducing the steel content in reinforced concrete beams by incorporating Tacuara bamboo from Cochabamba, Bolivia, as complementary reinforcement. The methodology included flexural testing on scaled beams, comparing the performance of a composite reinforcement of longitudinal steel with Tacuara bars versus a traditional configuration. Additionally, the concrete strength was characterized using uniaxial compression tests according to ASTM C39, and the adhesion at the concrete-bamboo interface was evaluated using specific specimens. The results demonstrate that Tacuara bamboo is capable of efficiently absorbing tensile stresses, which allowed a 10.08% reduction in the amount of steel without significantly affecting the beam's structural capacity. However, this use requires effective adhesion between the two materials to prevent premature failure due to sliding. Compression tests supported the viability of the system, recording strengths greater than 21 MPa in the concrete, a value compatible with structural applications. In conclusion, the use of Tacuara as a complementary reinforcement is presented as a sustainable and technically viable alternative in the region.

Key words: Quantity reduction, Tacuara bamboo, Bamboo-concrete adhesion, Hybrid behavior.

INTRODUCCIÓN

El uso exclusivo de acero como material de refuerzo en elementos de hormigón armado sometidos a flexión ha demostrado históricamente un desempeño estructural eficiente. No obstante, en contextos como el boliviano, el incremento en su costo y las dificultades de importación han motivado la búsqueda de alternativas sostenibles que complementen su función. Frente a este escenario, el bambú emerge como un recurso renovable con cualidades prometedoras, gracias a sus favorables propiedades mecánicas, rápido crecimiento y bajo impacto ambiental.

El impulso de la construcción sostenible en América Latina ha renovado el interés por materiales con tradición histórica en la región. El bambú, empleado ancestralmente en diversas comunidades para la construcción de viviendas, posee una amplia distribución geográfica, con 20 géneros y 429 especies identificadas desde México hasta Argentina (Torres et al., 2019).

A nivel global, de las aproximadamente 1250 especies de bambú registradas, el 63% se concentra en Asia, seguido de América con un 32%, mientras que África y Oceanía representan en conjunto el 5% restante. Cabe destacar que el continente americano alberga una diversidad significativa, con 440 especies documentadas (Ticona et al., 2025).

En Bolivia, se han identificado alrededor de 50 especies, entre las que destaca el bambú tacuara del género *Guadua*, con 12 especies presentes en el territorio. Este estudio se centra específicamente en el bambú tacuara procedente de Villa Tunari, en el departamento de Cochabamba, zona reconocida por sus condiciones agroclimáticas favorables y por contar con plantaciones establecidas de esta especie (Hachmeyer, 2020). La selección de este material se fundamenta en su disponibilidad local, sus propiedades mecánicas y su potencial como recurso

renovable aplicable en construcción, en línea con los principios de sostenibilidad y valorización de materiales autóctonos.

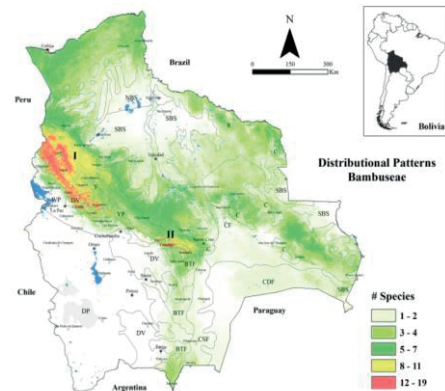


Figura 1. Distribución de especies de bambú en Bolivia (Hachmeyer, 2020)

En este marco, la presente investigación evalúa el comportamiento a flexión de vigas de hormigón armado con refuerzo mixto de acero y bambú, analizando además la adherencia entre el bambú y la matriz de hormigón, y complementando el estudio con ensayos de compresión para caracterizar integralmente su respuesta mecánica.

MATERIALES Y MÉTODOS

La evaluación del bambú Tacuara como material de refuerzo en elementos de hormigón armado sometidos a flexión se realizó mediante técnicas experimentales que permiten caracterizar su comportamiento estructural.

Dosificación del Hormigón

Material	Cantidad
Cemento IP-40 (kg/m ³)	366
Grava (kg/m ³)	1150.736
Arena (kg/m ³)	797.462
Agua (L/m ³)	169.864

Tabla 1: Dosificación del hormigón H21 por m³, (NB-1225001,2013)

Materiales para el vaciado de probetas

Cemento (kg)	Grava (kg)	Arena (kg)	Agua (lts)
1.94	6.1	4.23	0.9

Tabla 2: Materiales para el vaciado de probetas cilíndricas.

Para los ensayos de compresión, se utilizaron probetas cilíndricas de 15 × 30 cm, fabricadas y curadas de acuerdo con los lineamientos de la norma ASTM C39, que establece el procedimiento estándar para este tipo de evaluaciones

Cemento (kg)	Grava (kg)	Arena (kg)	Agua (lts)
4.12	12.95	8.97	1.92

Tabla 3: Materiales para el vaciado de probetas prismáticas.

Para caracterizar el comportamiento a flexión de las vigas, se empleará el método de ensayo a tres puntos.

Propiedades mecánicas del Acero

Para los ensayos de 3 puntos se utilizó aceros corrugados de diámetro de 8 mm para los refuerzos longitudinales y 6 mm para los estribos.

Diámetro (mm)	Sección Nominal	Límite de Fluencia (MPa)	Resistencia a la tracción (MPa)
6	28	420	620
8	50	420	620

Tabla 4: Propiedades Mecánicas y geométricas Del Acero Corrugado, (ASTM A615 Grado 60/ NTP 341.031:2018 Grado 420).

Propiedades Geométricas del Bambú Tacuara

Las probetas prismáticas se armaron utilizando barras de bambú tacuara como refuerzo

adicional donde presenta los siguientes parámetros geométricos:

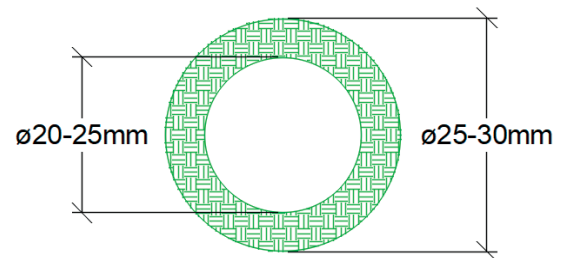


Figura 2: Estructura promedio de bambú tacuara en Bolivia.

Diámetro Exterior (mm)	Diámetro Interior (mm)	Espesor (mm)	Longitud (mm)
25-30	20-25	2-4	450

Tabla 5: Propiedades Geométricas del Bambú en Probetas prismáticas

Propiedades mecánicas del Bambú-Tacuara

El bambú tacuara es un material natural de origen vegetal, caracterizado por su estructura tubular hueca y la presencia de fibras longitudinales interconectadas mediante nudos transversales que le confieren rigidez y estabilidad dimensional. Con un peso específico de aproximadamente 0.6 g/cm³ (Gómez et al., 2016), presenta una elevada relación resistencia-peso, lo que lo posiciona como un material liviano con capacidades estructurales notorias.

El bambú es un material cuya rigidez depende de la dirección y tipo de esfuerzo, con comportamientos distintos en flexión, tracción y compresión. Su superficie, rica en lignina, lo hace resistente al desgaste y la abrasión. Con un tratamiento adecuado, puede durar hasta 30 años.

Para protegerlo de la humedad y el sol, se recomienda aplicar barnices, pinturas al aceite o recubrimientos asfálticos. En sus propiedades mecánicas, el bambú mantiene su resistencia a la fatiga en el tiempo, conserva su elasticidad

bajo tracción y mejora su resistencia a compresión con el envejecimiento natural.

Módulo de Elasticidad (kg/cm ²)	203900
Resistencia de Diseño (kg/cm ²)	825
Resistencia Compresión (kg/cm ²)	856
Resistencia Cortante (kg/cm ²)	23
Resistencia Tensión (kg/cm ²)	3058

Tabla 6: Propiedades mecánicas del Bambú

Estructura del material Híbrido Acero-Bambú

Esta investigación tiene como objetivo principal caracterizar las propiedades mecánicas de un refuerzo mixto compuesto por acero y bambú.

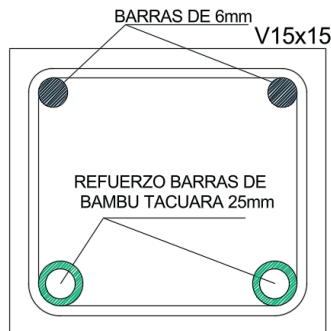


Figura 3: Esquema de viga con refuerzo mixto o híbrido (acero y bambú).

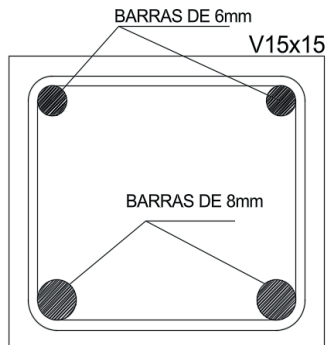


Figura 4: Esquema de viga con refuerzo convencional.

En la preparación de las armaduras, se utilizaron segmentos de bambú cortados con la mayor rectitud posible, facilitando el ensamblaje de la configuración mostrada en la Figura 3.



Figura 5: Barras de acero y bambú de 0.45m de longitud.

Dimensiones de los elementos de bambú

Diámetro Exterior (mm)	Diámetro Interior (mm)	Espesor (mm)	Longitud (mm)
30	26	2	450

Tabla 7: Propiedades Geométricas del Bambú usadas en el ensayo a compresión y flexión.

Dimensiones de las barras de acero

Diámetro (mm)	Longitud (mm)
8	450

Tabla 8: Propiedades Geométricas de las barras de acero usadas en el interior de las barras de bambú.

Armadura de Viga Sin Bambú Tacuara

Para el armado de la viga a escala se utilizó 2φ de 8 mm en la parte superior de la viga situada de manera longitudinal, 2φ de 6 mm en el parte inferior colocado de manera constructiva y estribos de φ 6mm / 12 cm. Se realiza con estas dimensiones respetando la cuantía mínima proporcionada por normativa.



Figura 6: Armadura de viga sin refuerzo de Bambú.

Armadura de Viga Con Bambú Tacuara

Para el armado de la viga a escala se utilizó las mismas propiedades geométricas que el armado convencional, implementando el bambú de ϕ 25mm en la parte inferior que resiste a tracción y en la parte superior ϕ 6mm.



Figura 7: Armadura de viga con refuerzo de Bambú.

Ensayo de Resistencia a la flexión en Vigas

Se realizaron ensayos de flexión sobre dos vigas a escala de 0.15 m \times 0.15 m \times 0.45 m, vaciadas en hormigón como un único bloque. Una de las vigas fue reforzada con acero

convencional (Fig. 6), mientras que la otra incorporó refuerzo de bambú (Fig. 7).



Figura 8: Aparato usado para el ensayo a flexión.

El ensayo de flexión se realizó aplicando una carga puntual en el centro de la viga mediante un rodillo, generando esfuerzos de tracción en la zona superior de la probeta y compresión en la zona inferior.

Ensayo a la Compresión



Figura 9: Aparato usado para el ensayo a compresión.

El aparato utilizado para compresión es el mismo que el de flexión, con la diferencia de la geometría de la probeta. Cada probeta tiene dimensiones estandarizadas de acuerdo a la Norma ASTM.

RESULTADOS Y DISCUSIONES

Análisis del Ensayo a Compresión

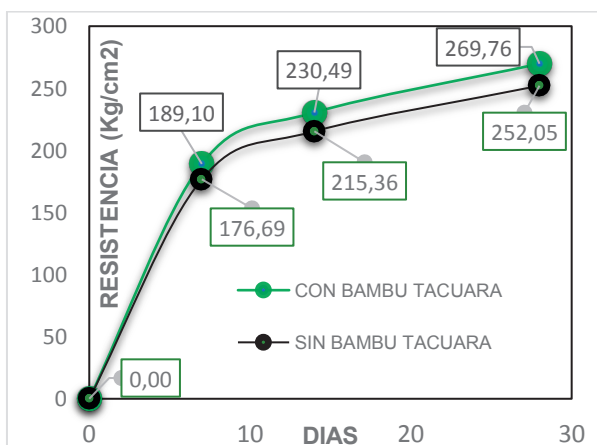
Se presenta a continuación los resultados del análisis del comportamiento mecánico del bambú en interacción con el hormigón:

1.Capacidad resistente:

RESULTADO ENSAYO A COMPRESIÓN		
Muestra	Días	Resistencia (kg/cm ²)
Probeta de control		
T-C1	7	176.69
T-C2	14	215.35
T-C3	28	252.05
Probeta con bambú		
T-CB1	7	189.10
T-CB2	14	230.49
T-CB3	28	269.76

Tabla 9: Resultados de ensayo a compresión.

Las probetas con el refuerzo de bambú (figura 7) alcanzaron una resistencia última promedio de 269.76 kg/cm², equivalente al **107.02 %** de la capacidad a compresión de la probeta de control.



Gráfica 1: Comparación de curvas de resistencia a compresión.

Comportamiento de adherencia

La interacción entre el bambú y el hormigón evidenció un desempeño favorable, ya que el fallo no se produjo en la unión de los materiales, sino en el propio hormigón con la dosificación establecida, confirmando la adecuada adherencia entre ambos componentes.



Figura 10: Modo de falla de la probeta cilíndrica con la implementación del bambú tacuara.

Análisis del Ensayo a Flexión

RESULTADO ENSAYO A FLEXIÓN		
Muestra	Días	Resistencia (kg/cm ²)
Probeta de control		
T-F1	7	83.31
T-F2	14	90.17
T-F3	28	94.97
Probeta con bambú		
T-FB1	7	93
T-FB2	14	100.07
T-FB3	28	105.38

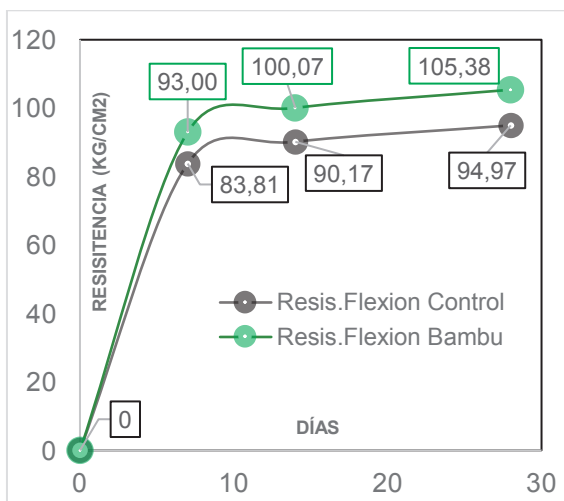
Tabla 10: Resultados de ensayo a flexión.

COMPARACIÓN REST.FLEXIÓN	
Probeta de control (kg/cm ²)	Probeta con bambú (kg/cm ²)
94.97	105.38

83.31	93
90.17	100.07
94.97	105.38

Tabla 11: Tabla comparativa de resultados

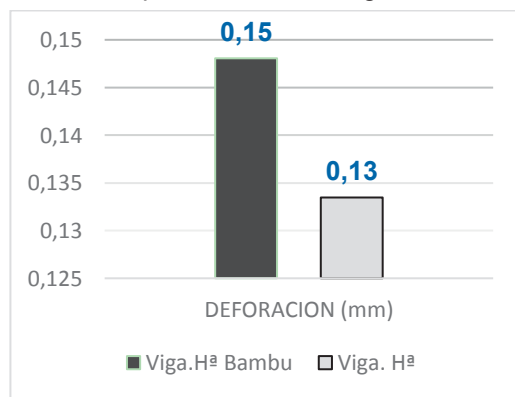
Finalmente se presenta los resultados del análisis del comportamiento mecánico de la viga prismática de 15cmx15cm con refuerzo mixto acero-bambú:



Gráfica 2: Comparación de curvas de resistencia a flexión.

Deformación y ductilidad:

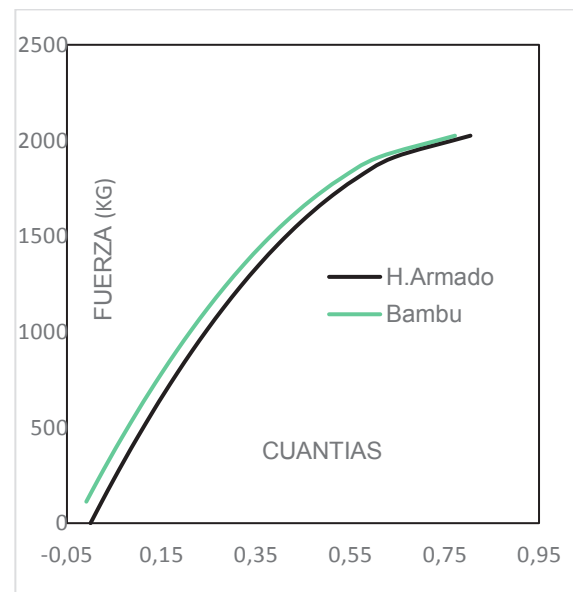
Se observó que los elementos híbridos presentaron mayores deformaciones antes de la falla, lo cual indica un comportamiento más dúctil en comparación con las vigas de control.



Gráfica 3: Comparación de deformaciones.

Optimización de cuantías:

El empleo del bambú como refuerzo longitudinal permitió optimizar la cuantía de acero en los elementos estructurales, alcanzando una reducción del **5.04 %** por reemplazo de barra de acero longitudinal. En el ensayo realizado, esta mejora se tradujo en una disminución total del **10.08 %** en la cuantía de acero, sin afectar de manera significativa la resistencia estructural de los especímenes.



Gráfica 4: Comparación de cuantías.

CONCLUSIONES

El refuerzo híbrido compuesto por barras de acero y bambú tacuara ha demostrado un comportamiento estructural favorable, manteniendo la capacidad resistente del elemento sin alteraciones significativas frente al comportamiento a flexión de la viga de control.

Los ensayos a compresión alcanzaron una resistencia promedios de 107.02% respecto a las probetas de control, confirmando una buena interacción entre el bambú y el hormigón.

Se presentaron mayores deformaciones en los ensayos a flexión con el material híbrido acero-bambú garantizando un comportamiento dúctil.

La adherencia entre bambú y hormigón resultó adecuada, evidenciando que las fallas se produjeron en el hormigón y no en la unión de los materiales.

El refuerzo longitudinal mixto permitió optimizar la cuantía de acero en un 10.08 % (reforzando las dos barras longitudinales), reduciendo el consumo de acero sin afectar de manera significativa la capacidad resistente.

Se logró una optimización del 5.04 % en la cuantía de acero. En casos donde se emplean mayores cantidades de barras longitudinales, este sistema puede aplicarse de manera progresiva, alcanzando una reducción potencial de hasta el 20.16 % al usar cuatro barras de bambú, sin comprometer el comportamiento estructural del elemento.

Los resultados demuestran que el bambú tacuara puede trabajar en conjunto con el acero, permitiendo reducir la cantidad de este último en elementos sometidos a flexión.

Se prevé que el uso controlado del bambú tacuara en elementos estructurales podría reducir costos de construcción especialmente en proyectos de bajo presupuesto.

El comportamiento a largo plazo (fluencia, humedad, fatiga) del bambú en contacto con el hormigón requiere ensayos complementarios de durabilidad y adherencia para establecer parámetros de diseño más precisos.

Se debe realizar ensayos complementarios para determinar la influencia del porcentaje de humedad del bambú respecto al tiempo, ya que la reducción del porcentaje de humedad reduce la sección del bambú y puede afectar la adherencia

Se sugiere la normalización de propiedades mecánicas del bambú tacuara boliviano, ya que su variabilidad natural (nudos, espesores, humedad) influye directamente en la calidad del refuerzo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Gómez Castro, R. C., & Acha Daza, N. (2016). *Tecnología del bambú*. México : ECORFAN (Economics, Management and Tourism Research Center).

Hachmeyer, S. (2020, Noviembre 23). *Tropical Woody Bamboo Species Richness Map*.

Retrieved from https://musicalbamboos.com/2025/06/08/tropical-woody-bamboo-species-richness-map/?utm_source

Javed, H., Hussein, S., & Ahmed, Z. (2024). Refuerzo de bambú: un compuesto ecológico para el acero. *researchgate*.

DOI:[<https://doi.org/10.32732/jcec.2024.13.4.170>], 9.

Ticona Aliaga, J., & Mamani Mollo, J. (2025). EVALUACIÓN DE LA PROPAGACIÓN DE BAMBÚ (*Guadua angustifolia* Kunth y *Guadua Scielo* [http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2409-16182019000100004&lng=es&tlng=es], 8.

Torres, B., Segarra, M., & Bragança, L. (2019). El bambú como alternativa de. *researchgate*, 13.