



Received: 24-07-2018
Accepted: 29-12-2018

Estudio de los radios de curvatura mínimos de los cortes de bambú. Análisis experimental con *Phyllostachys bambusoides* Sieb. et Zucc. Study of the permissible bending radius of bamboo cuts. Experimental analysis with *Phyllostachys bambusoides* Sieb. et Zucc.

Eugenia Muscio^a & Jesús Anaya^a

Universidad Politécnica de Madrid (eugenia.muscio@gmail.com; jesusanayadiaz@gmail.com)

Resumen—Con el objetivo de determinar la relación existente entre los cortes admisibles de una caña de bambú que se asocian a una determinada parte anatómica de la planta y el comportamiento mecánico a flexión que se evidencia con el radio de curvatura admisible, se realizaron ensayos experimentales con 5 cortes longitudinales de 1,25m de longitud de bambú de la especie *Phyllostachys bambusoides* Sieb. et Zucc., de dos años de edad. Se observó que la cara externa de la caña de bambú presenta mayor resistencia a flexión que la cara interna, obteniendo un radio de curvatura menor con las probetas de la cara externa del bambú ensayado. El radio de curvatura mínimo que se obtuvo en los ensayos fue de 191° correspondiente al corte de 1/8 de bambú que presentaba una parte de la cara externa y otra de la cara interna, equilibrando su constitución anatómica. Las condiciones físico - anatómicas de las plantas, tanto su composición como la ley intrínseca que establece su disposición, determinan su comportamiento mecánico.

Palabras clave— Radio de curvatura; *Phyllostachys bambusoides* Sieb. et Zucc.; Corte de bambú; Anatomía del bambú; Comportamiento mecánico

Abstract—In order to determine the relationship between the permissible cuts of a bamboo cane that are associated with a certain anatomical part of the plant and the mechanical bending behaviour that is evidenced by the permissible radius of curvature, experimental tests were carried out with 5 longitudinal cuts of 1.25 m length of bamboo of the species *Phyllostachys bambusoides* Sieb. et Zucc., two years old. It was observed that the outer face of the bamboo cane presents greater resistance to bending than the inner face, obtaining a smaller radius of curvature with the specimens of the outer face of the bamboo tested. The minimum radius of curvature obtained in the tests was 191° corresponding to the cut of 1/8th of bamboo that presented a part of the external face and another of the internal face, balancing its anatomical constitution. The physical and anatomical conditions of the plants, both their composition and the intrinsic law that establishes their arrangement, determine their mechanical behaviour.

Index Terms— Radius of curvature; *Phyllostachys bambusoides* Sieb. et Zucc.; Bamboo cutting; Anatomy of bamboo; Mechanical

E. Muscio y J. Anaya están en la Escuela Técnica Superior de Arquitectura, UPM en el Departamento de Construcción.

I. INTRODUCCIÓN

La estructura anatómica que tiene la planta determina las propiedades mecánicas de las cañas de bambú (Liese, 1998). El contenido y la distribución de las células en el bambú está directamente vinculado a su respuesta físico mecánica.



Fig. 1. Detalle de un corte de *Guadua angustifolia* Kunth.

El bambú es un material natural fibroso, con tradicional uso en construcción desde el principio de los tiempos el cual cada vez es más valorado por sus condiciones de resistencia, sostenibilidad, durabilidad y ligereza.

Actualmente existen numerosos estudios sobre la industrialización de este material tradicional donde la identificación de las partes anatómicas del bambú vinculados a los cortes es imprescindible para poder diferenciar la zona necesaria en elementos constructivos como la constitución de vigas laminadas, suelos, el uso de fibras para tableros prensados o composites donde se utilizan sus fibras (Lima, 2013; López, 2009; Correal, 2009; Sharma, 2015; Gatóo, 2015; Bock, 2015; Ramage, 2015; Sharma, 2015; Gatóo, 2015; Ramage et al., 2015).

El bambú está compuesto principalmente por fibras longitudinales que se ven interrumpidas cada cierta distancia por los nudos que es donde las fibras transversales otorgan rigidez a la caña. Las fibras constituyen el tejido de sostén del bambú y alcanzan el 40 -50% del total del tejido dependiendo de la especie (Lopez et al., 2003). El parénquima o tejido de “esponja” constituye el mayor porcentaje (50%) de la anatomía del bambú. Los haces vasculares que conforman el tejido conductivo, se rodean de fibras y de parénquima. Al realizar un corte transversal en la caña se puede observar que la densidad de haces vasculares cuanto más cercano a la cara externa es mayor al igual que las fibras, y hacia la cara interior lo que aumenta es el parénquima. Esta variación en su anatomía se refleja en la respuesta mecánica del material. El mayor porcentaje de fibras vinculadas a los haces vasculares

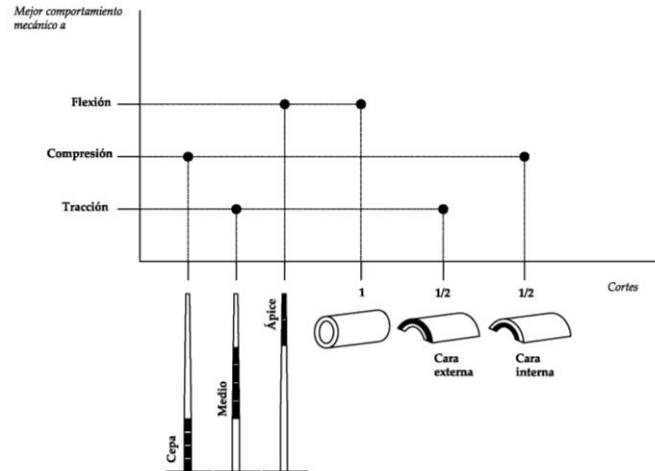


Fig. 2. La relación entre los cortes del bambú y el mejor comportamiento mecánico.

umentan la resistencia a tracción del bambú en el sentido longitudinal (Londoño, 2002; Camayo, 2002; Riaño, 2002; López et al., 2002).

El espesor de pared, la gravedad específica (es decir la densidad de haces vasculares) y el contenido de fibra varían entre especies, lo cual determina una gran influencia en el corte longitudinal y su respuesta mecánica (Liese et al., 1987; 1992; 1994; 1996; 1998).

Bauman (1912) fue de los primeros investigadores en identificar la existencia de “caras” en las paredes del bambú y en evaluar esta característica anatómica de la planta desde el punto de vista del comportamiento mecánico constructivo. Él experimentó por primera vez diferenciando dichas partes con bambú negro de la especie *Phyllostachys nigra*, obteniendo como resultado que la resistencia a tracción de la cara externa fue de 3.068 kg/cm² y de la cara interior una resistencia de 1.594 kg/cm² (López et al., 2003).

Un primer acercamiento para evaluar la relación existe entre la flecha máxima admisible y los cortes de bambú se realizó de forma teórica, sin hacer referencia a la condición anatómica que define el material vegetal, si no teniendo en cuenta exclusivamente la geometría que define el corte. Para ello se calculó en principio el momento de inercia de cada corte ya que varía su geometría y su centro de gravedad. La representación gráfica de los resultados obtenidos presenta un salto en cuanto a los valores de flecha admisible cuando se pasa del corte de 1/2 caña a 1/4 de caña, esto puede vincularse con la geometría y el momento de inercia del corte principalmente, ya que pasa de un corte con una curvatura mas cerrada a un corte con una geometría mas plana (figura 3).

Posteriormente realizamos los ensayos que nos permitirían comprobar la influencia de la anatomía propia del material, además de su geometría, en la curvatura admisible de los

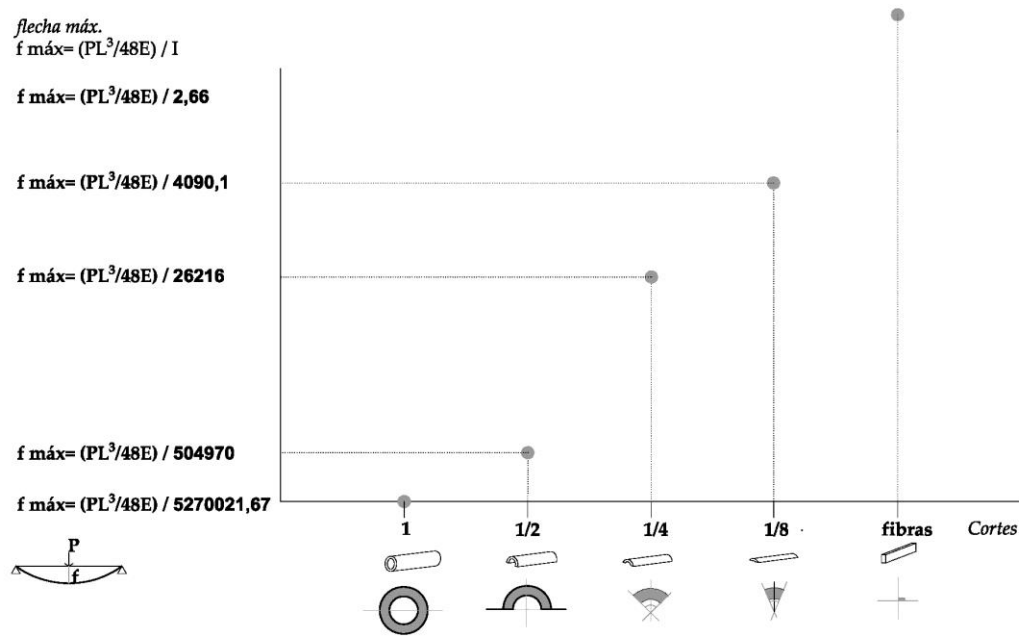


Fig. 3. Cálculo de flecha máxima según los cortes realizados a la caña de bambú.

cortes.

En este estudio experimental se realizó la caracterización mecánica de la especie *Phyllostachys bambusoides* Sieb. Et Zucc originaria de Asia pero con recientes plantaciones en España (Fig. 4). Los resultados de la experimentación evidencian la estrecha relación entre la estructura interna del material, limitada por el corte que se ensaya, y su respuesta mecánica evidente en el radio de curvatura admisible.

La especie con la que se realizaron los ensayos crece de forma natural en Asia donde es conocida como Madake. Se la puede encontrar también en América central, Norte América y Europa donde fue introducida. Tiene gran resistencia a los cambios de temperatura pudiendo soportar temperaturas de -20°C y máximas de 35°C.

Particularmente este bambú leñoso utilizado fue de las plantaciones localizadas en España en la provincia de Oviedo, adaptado al microclima oceánico de la zona. Fue posiblemente traído de Francia por pescadores.

Es un bambú con una altura media de 2,15m y un diámetro que puede llegar a los 15 cm (Grosser & Liese, 1971).

En cuanto a su anatomía, esta especie tiene un contenido de fibra medio de 22,3%, con un porcentaje de parénquima mayor al 50%. Estos valores junto con la edad de la caña, el contenido de humedad, su estado, la hora del corte y los cortes analizados determinarán una respuesta mecánica concreta (López, 2003; Shanmughavel, 2003; Peddappaiah, 2003; Liese, 2003; others et al., 2003).



Fig. 4. Cañas de bambú recién cortadas y utilizadas en los ensayos

II. MATERIALES Y MÉTODOS

A. El material vegetal

Las cañas con las que se realizaron los ensayos se cortaron del bambusal ubicado en Oviedo en el mes de abril por la mañana para que la cantidad de savia fuera menor. Se realizaron los cortes a la altura del primer nudo de la caña de bambú.

Se recogieron bambúes jóvenes de aproximadamente dos años de edad. Concretamente se ensayaron cañas de 3,5 cm de diámetro, con una distancia entre nudos media de 29 cm y un ancho de pared de 5mm.

B. Las herramientas

Los primeros cortes fueron en la mata con un hacha a la altura del primer nudo. Las cañas seleccionadas y cortadas se limpiaron en el sitio sacando las hojas y las ramas. Los bambúes cortados alcanzaban los 2,5 metros de longitud y se cortaron a la mitad con un serrucho obteniendo cañas de 1,25 m.



Fig. 5. Corte de media caña de bambú realizado en taller.

En el taller, los cortes realizados a las cañas se hicieron mediante una sierra radial para madera, quitando previamente los tímpanos a los nudos de las cañas mediante un martillo y una sierra de mano (Fig. 5).

C. Los cortes realizados

Teniendo como objetivo la experimentación para obtener la relación existente entre la anatomía y el mínimo radio de curvatura admisible se realizaron una serie de cortes longitudinales a las cañas recientemente obtenidas del bambusal. Las variables en los cortes nos permitieron observar el comportamiento de las partes del bambú en relación a la resistencia a flexión.

Se realizaron tres cortes longitudinales diferentes que incluyen la epidermis y la cara interna de la caña: el corte de media caña (1/2), el corte de 1/4 de caña, y de 1/8 de la caña de bambú. Estos cortes presentan la disposición anatómica completa del bambú, tanto la mayor densidad de haces vasculares ligados al alto porcentaje de fibras de la cara exterior como el mayor porcentaje de parénquima de la cara interior. Se realizaron, además, otros dos cortes de 1/8 de bambú diferenciando la cara interior y la cara exterior de la caña, lo cual permitía ensayar por separado el comportamiento mecánico – anatómico (Fig. 6).

D. La metodología experimental

Se tomaron datos del sitio en el momento en que realizábamos el ensayo como la temperatura ambiente que era de 13, 5° y la humedad relativa que alcanzaba el 86%.

El bambú recién cortado fue el que se utilizó, bambú verde sin tratar.

Para el ensayo se utilizó con todos los cortes la misma mesa de trabajo y se utilizaron las mismas herramientas. Para la experimentación no se tuvieron en cuenta la fuerza ejercida ni tampoco el tiempo transcurrido hasta el colapso.

Los cortes se colocaron uno a uno sobre una superficie plana, sujetos en un extremo por una sargenta y una segunda sargenta en el punto medio de la tira de bambú, como punto de inflexión para realizar el giro. Otro de los extremos de la tira de bambú se dejó libre para poder realizar los movimientos de giro hasta el colapso del material. Una vez que se alcanzaba la rotura de la tira de bambú obteníamos los radios mínimos de curvatura admisibles de cada caso.

Se realizaron variaciones, además, en la forma de colocar las tiras de bambú, para determinar la influencia que la cara

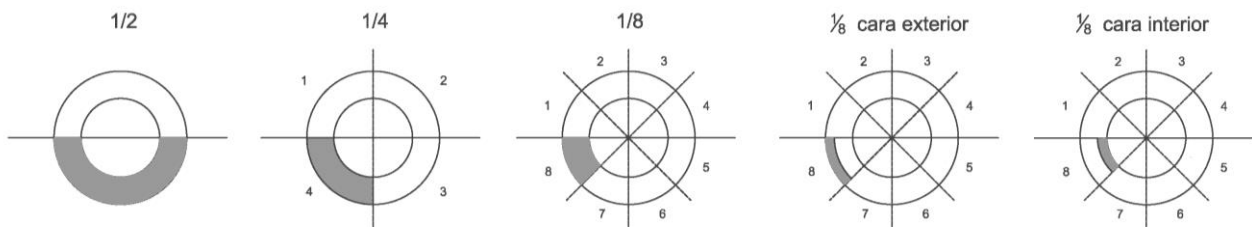


Fig. 6. Cortes transversales realizados a la caña de bambú.

externa o la cara interna tuviera en el radio de curvatura y el tipo de rotura que produciría (Fig. 7). En total se realizaron siete ensayos, cinco de ellos donde se colocó la cara exterior hacia afuera y en los cortes de $\frac{1}{2}$ de la caña y $\frac{1}{4}$ de la caña se evaluó también la respuesta al colocar la cara interior hacia fuera.



Fig. 7. Curvado de $\frac{1}{2}$ de caña de bambú con la cara externa hacia fuera.

III. RESULTADOS

Los ensayos permitieron observar la relación existente entre la anatomía de la caña de bambú determinada por el corte y su respuesta mecánica.

El primer ensayo se realizó con el corte de $\frac{1}{2}$ caña de bambú de la parte basal. Se colocó la cara externa de la caña hacia fuera. El radio de curvatura obtenido fue de 93° y la rotura de la caña fue en el sentido longitudinal abriéndola en dos, sin rotura parcial de las fibras (Fig. 8).



Fig. 8. Curvado de $\frac{1}{2}$ de caña de bambú con la cara externa hacia fuera. Ensayo 1.



Fig. 9. Curvado de $\frac{1}{2}$ de caña de bambú con la cara interna hacia fuera. Ensayo 3.

El segundo ensayo se realizó con un corte de $\frac{1}{4}$ de caña de bambú, de la parte basal del bambú. El corte se colocó con la cara externa hacia fuera. El radio de curvatura obtenido fue de 130° y la rotura de las fibras en este caso fue transversal en el punto de inflexión, si partir la caña.



Fig. 10. Curvado de $\frac{1}{8}$ de caña de bambú con la cara externa hacia fuera. Ensayo 5.



Fig. 11. Curvado de $\frac{1}{8}$ de caña de bambú, solo la epidermis, con la cara externa hacia fuera. Ensayo 6.



Fig. 12. Curvado de 1/8 de caña de bambú, solo la cara interior. Ensayo 7.

La tercera prueba se realizó a un corte de 1/2 de caña

colocando la cara interior hacia fuera, para poder comparar el comportamiento con el ensayo 1. Se obtuvo de esta forma un radio de curvatura de 77° y se produjo una rotura en el sentido transversal de las fibras, llegando antes al colapso (Fig. 9).

Para realizar el cuarto ensayo se repitió la experimentación con 1/4 de caña de bambú colocando en este caso la cara interna hacia fuera. El radio de curvatura obtenido fue de 77°, que comparado con el ensayo 2 la curvatura obtenida fue menor.

Las fibras se rompieron transversalmente a la dirección principal de la caña sin producirse una separación en partes.

El ensayo número 5 se realizó con un corte de 1/8 de caña de bambú, manteniendo en el corte las dos caras de la caña. Se colocó la cara externa hacia fuera. Como resultado se obtuvo un radio de curvatura de 191° y las fibras se rompieron de forma transversal a la caña y parcialmente (Fig. 10).

En los ensayos 6 y 7 se evaluó por separado el comportamiento de cada cara del bambú, discriminando dos zonas anatómicamente distintas. Se utilizó un corte de 1/8 de caña de bambú que posteriormente se volvió a cortar de forma

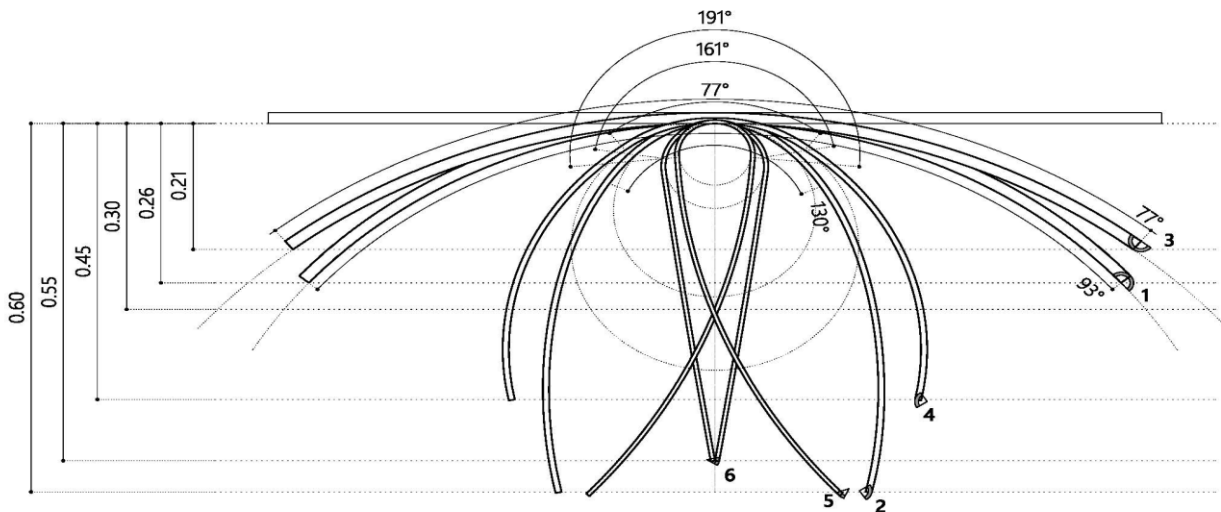


TABLA RESUMEN DE RESULTADOS

| Nº PROBETA | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|--------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|--------------------------|--------------------------|
| CORTE | 1/2 | 1/4 | 1/2 | 1/4 | 1/8 | 1/8 | 1/8 |
| LONGITUD L. | 1,25 m | 1,25 m | 1,25 m | 1,25 m | 1,25 m | 1,25 m | 1,25 m |
| ANCHO L. | 3,50 cm | 1,75 cm | 3,50 cm | 1,75 cm | 0,87 cm | 0,87 cm | 0,87 cm |
| GROSOR DE PARED | 0,50 cm | 0,50 cm | 0,50 cm | 0,50 cm | 0,50 cm | 0,20 cm | 0,20 cm |
| OBSERVACIONES | cara exterior hacia fuera | cara exterior hacia fuera | cara interior hacia fuera | cara interior hacia fuera | cara exterior hacia fuera | corte solo cara exterior | corte solo cara interior |
| RADIO DE CURVATURA | 93° | 130° | 77° | 77° | 191° | 161° | >10° |

Fig. 13. Representación gráfica de los ensayos realizados y los resultados obtenidos.

longitudinal dividiéndolo en dos partes: la epidermis y la cara interna de la caña.

El ensayo 6 se realizó con la cara externa del bambú, colocándolo hacia fuera, obteniendo un radio de curvatura de 161°. Las fibras se rompieron en el sentido transversal de la caña en el punto de inflexión (Fig. 11).

La última prueba, el ensayo 7, se realizó con el corte de la cara interior del bambú. La rotura se alcanzó apenas se comenzó a curvar, con lo cual no se pudo obtener radio de curvatura mínimo. La ruptura se produjo transversalmente a las fibras (Fig. 12).

Se expresaron los resultados obtenidos de forma gráfica para poder comparar y observar de una vez el conjunto. El dibujo representa los radios de curvatura mínimos obtenidos (Fig. 13).

IV. CONCLUSIONES

Como primera consideración sobre la experimentación con un material natural como es el bambú se puede decir que resulta de importancia identificar el género y la especie con la que se trabaja para conocer su estructura anatómica particular que será de gran influencia en su respuesta mecánica. Esto a su vez nos permite saber si es una especie autóctona o adaptada al sitio donde se extrae la planta como probeta.

Su morfogénesis viene determinada por la distribución organizada de su sistema interno dando respuesta al medio ambiente donde se encuentra.

En particular en esta experiencia al ser una especie adaptada, aunque sus características generales son las mismas, el proceso de adaptación geográfico pudo generar modificaciones físicas en la planta. Por todo esto, la experimentación con bambú determinará un resultado particular dependiendo de sus propias características, su origen, las condiciones en el momento de corte, su ambiente, etc.

En relación a los tipos de rotura obtenidos se observa que el ensayo con la media caña tuvo como resultado la rotura en la dirección de las fibras sin presencia de rotura transversal. Los cortes de 1/4 de caña y 1/8 de caña presentaron rotura transversal parcial de las fibras, sin llegar a separarse en dos, en el punto de inflexión, en la cara externa del bambú donde mas presencia de sílice hay.

Se puede afirmar que cuanto mas fino es el corte que se realiza aumenta la flexibilidad de la pieza y se evidencia en el corte de 1/8 de la caña llegando a obtener 191° de radio de curvatura.

Al igual que en el estudio teórico de la flecha que se realizó, se puede observar en los resultados experimentales un salto en la radio de curvatura admisible entre los cortes de 1/4 de bambú y 1/8.

Se observa que la cara interior tiene menos resistencia a flexión que la cara exterior de la caña de bambú que presenta mayor gravedad específica. También, comparativamente, se observa que el corte de 1/8 de caña de bambú donde se mantuvieron las dos caras de la caña admitió un radio de

curvatura menor frente a los ensayos hechos discriminando las caras con la misma geometría de corte. Este aumento de la flexión es debido al equilibrio que se genera entre la sección exterior con mayor presencia de fibras y mejor respuesta a tracción y la cara interior con su estructura de “esponja” con mayor porcentaje de parénquima que tiene mayor resistencia a compresión.

Esta experimentación pone énfasis en la importancia de relacionar disciplinas para la obtención de datos completos en el estudio de los materiales naturales.

REFERENCIAS

- Grosser, D., & Liese, W. (1971). On the anatomy of Asian bamboos, with special reference to their vascular bundles. *Wood Science and technology*, 5(4), 290–312.
- Liese, W. (1987). Research on bamboo. *Wood Science and Technology*, 21(3), 189–209.
- Liese, W. (1992). The structure of bamboo in relation to its properties and utilization. Zhu, S., Li, W., Zhang, X. Wang, Z. ed., *Bamboo and its use. Proceedings of the International symposium on Industrial Use of Bamboo, Beijing, China*, 7–11.
- Liese, W. (1994). Biological aspects of bamboo and rattan for quality improvement by polymer impregnation. *Folia Forestalia Polonica, Seria B, Zeszyt*, 25.
- Liese, W. (1996). Structural research on bamboo and rattan for their wider utilization. *Journal of bamboo research*, 15(2), 1–14.
- Liese, W. (1998). *The anatomy of bamboo culms* (Vol. 18). Brill.
- Lima, D. M. (2013). Bambu laminado colado (*Dendrocalamus giganteus*) aplicado à treliça plana tipo Howe e à viga retangular.
- Londoño, X., Camayo, G., Riaño, N., & López, Y. (2002). Caracterización anatómica del culmo de *Guadua angustifolia* Kunth. Seminario-Taller Avances sobre la investigación sobre *Guadua*.
- López, L. F., & Correal, J. F. (2009). Estudio exploratorio de los laminados de bambú *Guadua angustifolia* como material estructural. *Maderas. Ciencia y tecnología*, 11(3), 171–182.
- Lopez, O. H. (2003). *Bamboo: The gift of the gods*. O. Hidalgo-Lopez.
- Shanmughavel, P., Peddappaiah, R., Liese, W., & others. (2003). *Recent advances in bamboo research*. Scientific Publishers (India).

Sharma, B., Gatóo, A., Bock, M., & Ramage, M. (2015). Engineered bamboo for structural applications. *Construction and Building Materials*, 81, 66–73.

Sharma, B., Gatóo, A., & Ramage, M. H. (2015). Effect of processing methods on the mechanical properties of engineered bamboo. *Construction and Building Materials*, 83, 95–101.



Reconocimiento – NoComercial (by-nc): Se permite la generación de obras derivadas siempre que no se haga un uso comercial. Tampoco se puede utilizar la obra original con finalidades comerciales.