



Resistencia a la flexión de latillas de bambú tratadas con la técnica Yakisugi.
Abraján López D.D., Orozco Gutiérrez G., & Navarro Arellano J.F.
Revista de Arquitectura y Urbanismo Taypi Vol. 2, N° 2 / Pag. 49 - 62
Doi: 10.5281/zenodo.8361781

Recibido 15/05/2023

Aceptado 20/08/2023

Artículo Original

RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DE LATILLAS DE BAMBÚ TRATADAS CON LA TÉCNICA YAKISUGI. BENDING STRENGTH OF BAMBOO SLATS TREATED WITH THE YAKISUGI TECHNIQUE.


Abraján López D.D.


 Instituto Tecnológico Nacional Campus Colima, División de Estudios de Posgrado e Investigación, Mexico.

 <https://orcid.org/0009-0006-0633-3342>

 g2146010@colima.tecnm.mx

Orozco Gutiérrez G.

 Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Área de Investigación Forestal, Mexico.

 <https://orcid.org/0000-0003-2836-9064>

 orozco.gabriela@inifap.gob.mx

Navarro Arellano J.F.

 Instituto Tecnológico Nacional Campus Colima, División de Estudios de Posgrado e Investigación, Mexico.

 <https://orcid.org/0000-0002-8121-7986>

 fidel.navarro@colima.tecnm.mx

Cita este artículo

Abraján López D.D., Orozco Gutiérrez G., & Navarro Arellano J.F. (2023). Resistencia a la flexión de latillas de bambú tratadas con la técnica Yakisugi. *Revista de Arquitectura y Urbanismo Taypi*, 2(2), 49 - 62. Doi: 10.5281/zenodo.8361781

Resumen

El propósito de este documento es conocer la influencia de la técnica Shou sugi Ban (Yakisugi) en las propiedades mecánicas (resistencia a la flexión) de latillas de Bambú de 2 de las especies más comunes que se encuentran cosechadas en México (*Bambusa oldhamii* y *Guadua angustifolia*). El uso adecuado de esta técnica como método de preservación sustentable para su protección contra hongos, insectos y el deterioro que sufre al tener contacto con la intemperie al ser utilizado como material dentro de la construcción de viviendas sobre todo en zonas rurales nos lleva a realizar pruebas de resistencia a la flexión sustentadas por la norma ASTM D790 en muestras de control (sin aplicación del quemado) y muestras después de ser tratadas con fuego directo para luego hacer una comparativa del comportamiento de sus propiedades que muestran que el quemado mediante un soplete de gas butano no afectó significativamente la resistencia a la flexión de las latillas de bambú en ambas especies por el contrario contribuyó a la ganancia de flexibilidad al tener un mayor desplazamiento.

Palabras clave

Bambú, latillas, flexión, preservado y yakisugi

Abstract

The purpose of this paper is to know the influence of the Shou sugi Ban (Yakisugi) technique on the mechanical properties (bending strength) of bamboo slats of two of the most common species harvested in Mexico (*Bambusa oldhamii* and *Guadua angustifolia*). The proper use of this technique as a sustainable preservation method for its protection against fungi, The proper use of this technique as a sustainable preservation method for its protection against fungi, insects and the deterioration it suffers when in contact with the elements when used as a material in housing construction, especially in rural areas, leads us to perform flexural strength tests based on the ASTM D790 standard on control samples (without the application of burning) and samples after being treated with direct fire, to make a comparison of the resistance to bending. The results show that burning with a butane gas torch did not significantly affect the flexural strength of bamboo slats in both species; on the contrary, it contributed to the gain of flexibility due to greater displacement.

Keywords

Bamboo, flexural, preservation, slats and yakisugi

Introducción

El interés por el desarrollo de la investigación surge debido al constante aumento de la crisis de contaminación provocada por la industria de la construcción. "La industria de la construcción absorbe el 50% de todos los recursos mundiales, lo que la convierte en la actividad menos sostenible del planeta" (Edwards, 2009).

En comparación con la madera, el bambú produce tres veces más al año, considerando el manejo de la especie plantada (Van der Lugt et al., 2006). Además de su rápido crecimiento, tiene un bajo consumo energético en su producción y contribuye a la recuperación del dióxido de carbono de la atmósfera, lo que lo convierte en una alternativa sostenible en la industria. Puede crecer en suelos ácidos con baja fertilidad, resistir largos períodos de sequía y es una opción para la recuperación de áreas degradadas. Además, se considera un recurso renovable, ya que se reproduce automáticamente, es decir, no necesita semillas para reproducirse, a diferencia de algunas especies maderables (Rodríguez, 2017). En condiciones óptimas, puede alcanzar una tasa de crecimiento de entre 11 y 21 cm por día (Londoño et al., 2002) y llegar hasta los 30 m de altura y 25 cm de diámetro (Londoño, 2010). Se estima que más de mil millones de personas en el mundo utilizan el bambú en la construcción de sus viviendas, ya sea como elemento estructural, revestimiento exterior o en cubiertas (Añazco & Rojas, 2015). Sus excelentes características físico-mecánicas han despertado el interés de investigadores y constructores para evaluar diversas técnicas alternativas de preservación del bambú. El bambú tiene características físicas, químicas y mecánicas que lo convierten en un material con múltiples aplicaciones, incluyendo su uso en estructuras, pisos laminados, muros, cubiertas y acabados. El bambú sin tratamiento (sin preservar), que se utiliza con fines estructurales, tiene una vida útil de 2 a 3 años (LiFang et al., 2010), debido a la descomposición causada por hongos de moho e insectos, lo que se agrava aún más si está expuesto a la intemperie y se ve afectado por la radiación solar, la lluvia y la humedad ambiental (Castilla, 2016).

Los métodos de preservación química del bambú garantizan una vida más larga del material; estos son adaptados por el hombre con alta efectividad, pero a su vez, suponen un deterioro del medio ambiente y de la salud humana (Montoya, 2008). Sin embargo, el costo de los productos utilizados, como las sales de boro y los compuestos derivados de metales pesados, hace que sean más costosos y menos amigables con el medio ambiente.

Por otro lado, las técnicas de preservación natural del bambú, como "el avinagrado", y el tratamiento con calor o ahumado, permiten darle una mayor durabilidad al material. Montoya (2008) desarrolló una investigación en la que se evaluaron 5 métodos de preservación (Boucherie con solución de bórax y ácido bórico; Boucherie con ácido piroleñoso; Ahumado en horno vertical; Inmersión con solución de bórax y ácido bórico; e Inyección con solución de bórax y ácido bórico) y se midió el promedio de agujeros encontrados en las muestras de bambú preservadas, es decir, las muestras que sufrieron algún tipo de ataque. Esto se observó después de 3 y 6 meses de ser tratadas, y los mejores resultados se obtuvieron con el método de ahumado en horno vertical.

La utilización del calor en el preservado ha sido una técnica tradicionalmente empleada. Esta técnica permite reducir el contenido de humedad del bambú después de ser cortado de la mata, con el objetivo de minimizar los daños causados por agentes biológicos. Busca su transformación química mediante la pirólisis, la cual induce a la pérdida de humedad y al aumento de su cohesión molecular, lo que ocasiona un incremento en la dureza del material y, por ende, una mayor resistencia al ataque de los insectos (Móran, s.f.).

La técnica japonesa conocida como Shou sugi Ban (Yakisugi) es un método para conservar la madera utilizada tanto en edificios históricos como modernos en Japón (Ebner et al., 2019). Una de las ventajas más importantes de este método es que el fuego genera una superficie carbonizada protectora de la humedad, evitando que entre aire en las partes internas y mejorando la

inflamabilidad de la madera (Špilák et al., 2018; Ebner et al., 2019), aumentando así la durabilidad de la madera para su uso en exteriores.

La primera modificación ocurre antes de que la madera llegue a quemarse y comienza a los 105 °C, pudiendo alcanzar hasta los 250 °C (FAO, 1985). El método consiste en quemar la madera en su cara exterior, sellarla con agua fría, lo que provoca el choque de temperaturas, y finalmente se aplica un aceite natural para proteger el acabado (Ebner et al., 2019).

La carbonización de la madera (Yakisugi) se remonta al siglo XVIII, y ha sido utilizada durante mucho tiempo. Arqueólogos han descubierto utensilios y armas tratadas con este sistema, lo que demuestra que su aplicación mejora la dureza y durabilidad de la madera, previniéndola contra la pudrición, el salitre, la lluvia y el fuego (Oramas, 2015).

El bambú es una gramínea leñosa que suele tener características similares a la madera, como su versatilidad, calidez, belleza y propiedades físicas, por lo que se busca la aplicación de técnicas y métodos sostenibles para preservarlo. Lara (2013), en su estudio, presenta una comparación de las propiedades mecánicas del bambú sometido a esfuerzos de compresión y tracción en comparación con otros materiales convencionales, demostrando que el bambú muestra una mejor respuesta en términos de resistencia a la compresión y tracción en comparación con la madera.

El propósito de la investigación es aplicar el método japonés Yakisugi (Shou sugi Ban) en latillas de bambú que permitan la aplicación de dicha técnica, aplicando calor tanto en la capa externa como en la interna. Uno de los riesgos es que el material pueda perder su resistencia debido a las altas temperaturas, por lo que se plantea evaluar su capacidad o resistencia a la flexión.

Metodología

El estudio se desarrolla en un taller de primer proceso ubicado en la localidad de "El Remudadero", al norte del municipio de Comala, Colima, México, con coordenadas de 19.42° de latitud norte y -103.75° de longitud oeste. Las especies utilizadas fueron *Bambusa oldhamii* y *Guadua angustifolia* Kunth, con un diámetro aproximado de 10 cm, previamente secadas.

Para obtener las latillas, se utilizó una latilladora manual de cuatro navajas para realizar el corte longitudinal de los culmos y así obtener latillas de entre 2.5 a 3 cm de ancho y 0.5 a 1.5 cm de espesor. Posteriormente, se sometieron las latillas de ambas especies a un tratamiento térmico mediante la exposición al fuego directo.

Técnica Shou sugi Ban: Se comenzó aplicando fuego directo con un soplete, utilizando combustible de gas butano. Sobre la cara externa de las latillas se aplicó el fuego durante un tiempo de 4 minutos, y en la cara interna se aplicó durante 1 minuto. Jhon et al. (2017) realizaron una investigación en la que describen los diferentes acabados que obtienen las maderas después de un determinado tiempo expuestas al fuego directo. Sin embargo, se hicieron adaptaciones según el acabado deseado para las latillas de bambú y la temperatura alcanzada (Figura 1). Después del quemado, se rociaron las muestras con agua fría para provocar un choque térmico (Figura 2), y una vez finalizado el proceso, se aplicó aceite de linaza como recubrimiento final.

Figura 1.

Aplicación de fuego con soplete a latillas de bambú.



Figura 2.

Aplicación de agua fría sobre las latillas recién quemadas.



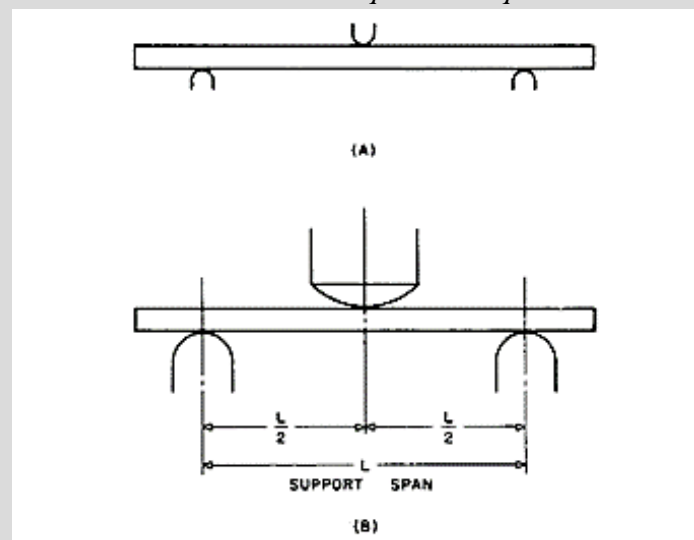
Preparación de Muestras: Debido a la falta de normativa para llevar a cabo pruebas mecánicas con latillas de bambú, se ajustaron las dimensiones de las muestras para garantizar que fueran adecuadas para realizar las pruebas mecánicas de manera correcta. Se obtuvieron muestras con una longitud de 15 cm. Los datos de las medidas de cada muestra se presentan en la Tabla 1. La primera letra indica la especie de bambú (b = *B. oldhamii*, g = *G. angustifolia*), la segunda letra indica si se aplicó el tratamiento (d = fuego directo) y, por último, el último dígito representa el número de muestra.

Tabla 1.
 Datos de las muestras.

No. De muestra	Clave	Tramo a	
		Ancho (mm)	Espesor (mm)
1	b.1	28	9
2	b.2	28	9
3	b.3	29	10
4	b.4	29	10
5	bd.1	35	12
6	bd.2	35	12
7	bd.3	31	12
8	bd.4	31	12
9	bd.5	30	12
10	bd.6	30	12
11	g.1	25	5
12	g.2	25	5
13	g.3	30	5
14	g.4	30	5
15	gd.1	28	5
16	gd.2	28	5
17	gd.3	28	5
18	gd.4	28	5
19	gd.5	28	5
20	gd.6	28	5

Pruebas de Resistencia a la Flexión: Se llevaron a cabo pruebas mecánicas de flexión con el propósito de comparar los cambios que experimenta el material después de haber sufrido modificaciones superficiales debido a la aplicación directa de calor. Previo a las pruebas, las muestras se acondicionaron a una temperatura de 23 °C (± 2 °C) y en un ambiente de humedad relativa del 50% (± 5 %) durante un mínimo de 48 horas, conforme a la norma ASTM D-790. Para las pruebas, se empleó una máquina universal AGS-X series de la marca SHIMADZU CORPORATION, que utiliza un sistema de carga de tres puntos generalmente aplicable a materiales rígidos y semirrígidos. En este sistema, una barra transversal rectangular se apoya en dos soportes y se aplica carga en su punto medio a través de la nariz del equipo (Figura 3).

Figura 3.
 Mecanismo de sistema de tres puntos en prueba de flexión.



Para obtener la medida del apoyo (L) de acuerdo con la norma, debe ser 16 veces el espesor de las muestras; por lo tanto, se tomó una medida estándar debido a la variación en los espesores. Se calculó un promedio y se obtuvo que $L = 137$ mm. Para determinar la velocidad de movimiento de la cruceta, se empleó la fórmula de la norma: $R = [(ZL^3) / (6d)]$

Donde:

R = velocidad de movimiento de la cruceta (mm/min)

L = longitud de apoyo (mm)

d = espesor de la viga (mm)

Z = tasa de esfuerzo de la fibra exterior (mm/mm/min)

En el caso de las muestras utilizadas, la tasa de esfuerzo de la fibra exterior (Z) será igual a 0.1.

De igual manera, la norma indica que la prueba termina cuando se alcanza la deformación máxima o cuando ocurre la rotura. Para calcular la deflexión máxima, se utiliza la siguiente fórmula: $D = [(rL^3) / (6d)]$

Donde:

D = deflexión en la mitad del tramo (mm)

r = presión (mm/min) será igual a 0,05 mm/min)

L = tramo de apoyo (mm)

d = espesor de la viga (mm)

Dado que hubo variación en el espesor de las probetas, se obtuvo un promedio de cada lote de especie, tanto con cómo sin tratamiento de calor, con el fin de realizar los cálculos requeridos en las fórmulas. Una vez calibrado el equipo, se procedió a llevar a cabo las pruebas correspondientes para cada probeta y se registraron sus resultados.

Prueba t de Student: Los datos obtenidos se analizan mediante la prueba t-Student con dos variables independientes para determinar el grado de confianza en la diferencia obtenida entre las medias de ambas variables, considerando una hipótesis nula y una hipótesis alternativa.

H_0 : No existe una diferencia significativa entre la resistencia de las muestras sin tratamiento de calor y las muestras con tratamiento de calor.

H_1 : Hay diferencias significativas entre la resistencia de las muestras sin tratamiento de calor y las muestras con tratamiento de calor.

Se llevan a cabo los siguientes pasos para obtener los siguientes datos:

1. \bar{X}_1 y \bar{X}_2 : Promedio de ambos grupos de muestras (sin tratamiento y con tratamiento de calor).
2. n_1 y n_2 : Cantidad de elementos en cada grupo de muestras (sin tratamiento y con tratamiento de calor).
3. S^2_1 y S^2_2 : Varianzas de cada grupo de muestras (sin tratamiento y con tratamiento de calor).
4. S^2_c : Varianza en común mediante la fórmula $S^2_c = \{[(n_1-1)S^2_1 + (n_2-1)S^2_2] / (n_1 + n_2 - 2)\}$
5. t: Estadístico de prueba mediante la fórmula
$$t = (\bar{X}_1 - \bar{X}_2) / \sqrt{(S^2_c / (n_1) + S^2_c / (n_2))}$$
6. gl: Grados de libertad mediante la fórmula $gl = (n_1 + n_2 - 2)$
7. α : será igual a 5% es decir, 0.05
8. Valor crítico mediante la función Inversa de t de 2 colas (α ; gl)
9. p-valor: mediante la función Distribución t de 2 colas (t; gl)

Resultados

La resistencia a la flexión en ambas especies de latillas de bambú aumentó en promedio después de aplicar el quemado mediante la técnica japonesa Shou sugi Ban. Por lo tanto, se puede confirmar que el uso de este método como protección no afecta su resistencia a la flexión. Al contrario, las latillas mostraron mayor flexibilidad al aplicar fuerza, como se observa en la Tabla 2. Los valores obtenidos para la especie *B. Oldhamii* se destacan en verde para la muestra con mayor resistencia a la flexión y en rojo para el mayor desplazamiento obtenido. En la Tabla 3, los valores para la especie *G. Angustifolia* se destacan en gris para la muestra que presentó problemas y fue cancelada.

Tabla 2.
Resultados de los ensayos a flexión de la especie B. oldhamii.

Tratamiento	Nombre	M. elástico	Max. fuerza	Max. desplazamiento	Prom. max. fuerza
		N/mm ²	N	mm	N
Sin tratamiento	b.1	3020.56	1513.52	7.6976	1584.67
	b.2	2090.3	2201.61	8.5749	
	b.3	1999.36	1074.06	9.3153	
	b.4	1488.04	1549.49	10.4596	
Shou sugi Ban	bd.1	2202.08	1656.58	8.09243	1620.61333
	bd.2	2471.2	1944.54	8.57307	
	bd.3	1740.74	1133.49	3.90277	
	bd.4	1694.52	1715.31	9.59613	
	bd.5	1803.7	1414.54	6.33617	
	bd.6	2120.53	1859.2	7.6277	

Tabla 3.
Resultados de los ensayos a flexión de la especie G. angustifolia.

Tratamiento	Nombre	M. elástico	Max. fuerza	Max. desplazamiento	Prom. max. fuerza
		N/mm ²	N	mm	N
Sin tratamiento	g.1	18818.7	626.112	4.6983	626.60325
	g.2	23399.5	505.899	3.83407	
	g.3	10080.9	794.81	7.91837	
	g.4	16024.8	579.592	6.2727	
Shou sugi Ban	gd.1	21190.2	881.161	5.58373	862.028
	gd.2	-.	3.21786	0.2813	
	gd.3	20381.9	635.046	5.77297	
	gd.4	27156.8	598.451	4.16617	
	gd.5	20950.5	993.842	7.1274	
	gd.6	22568.9	1201.64	8.09313	

De acuerdo con los resultados obtenidos de los ensayos de flexión aplicados a las probetas, se presentan las gráficas (Figura 4, Figura 5, Figura 6 y Figura 7) que muestran el comportamiento de la relación entre la fuerza y la deformación.

Figura 4.

Gráfica de deformación de la especie *B. oldhamii* sin aplicación de calor.

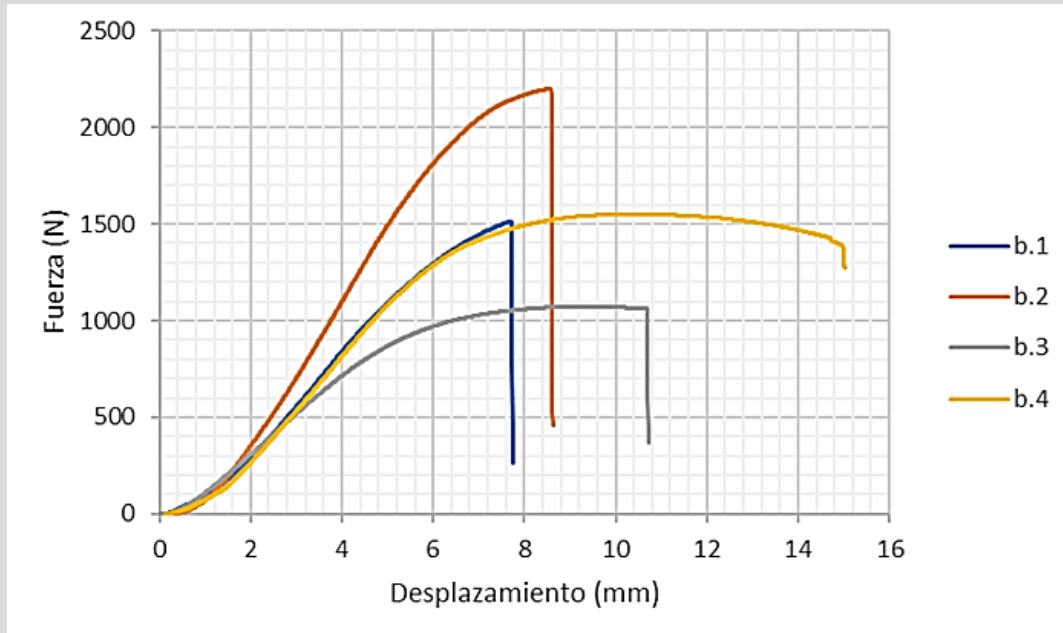


Figura 5.

Gráfica de deformación de la especie *B. oldhamii* con aplicación de calor.

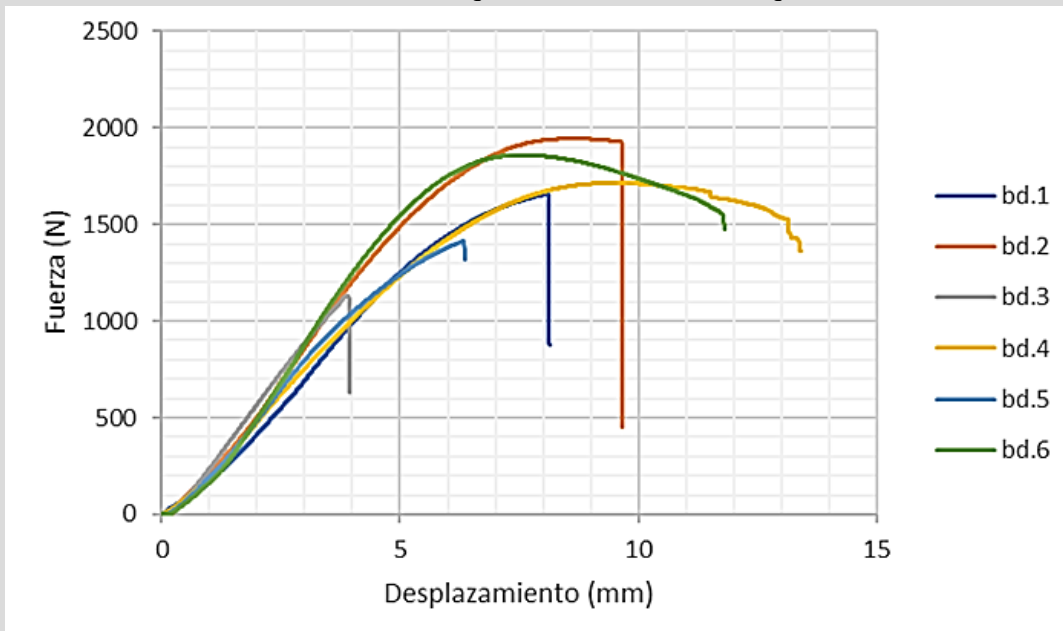


Figura 6.

Gráfica de deformación de la especie *G. angustifolia* sin aplicación de calor.

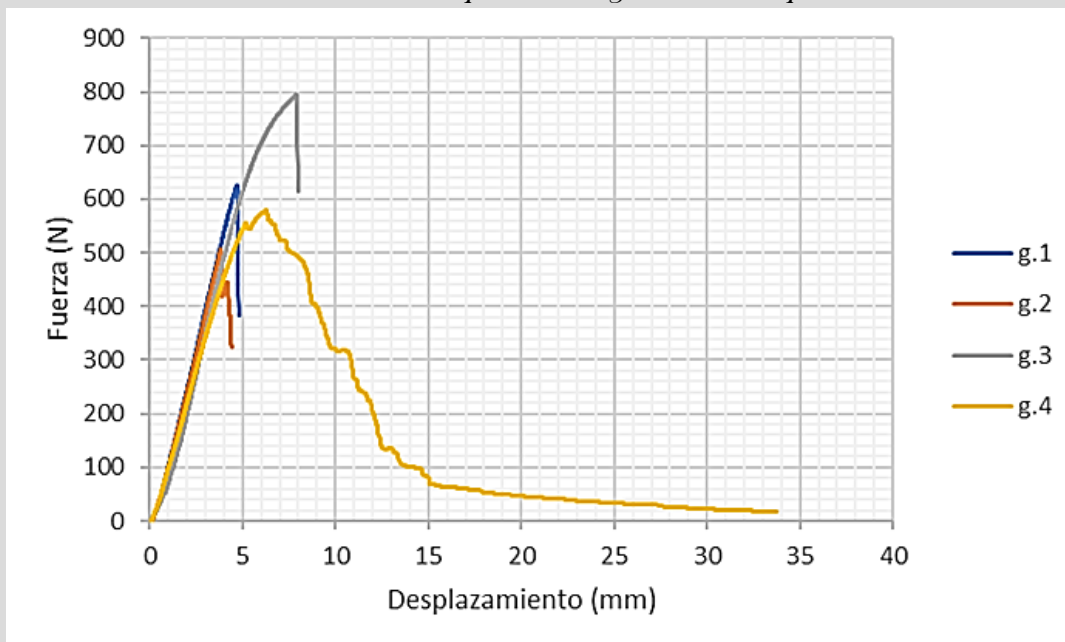
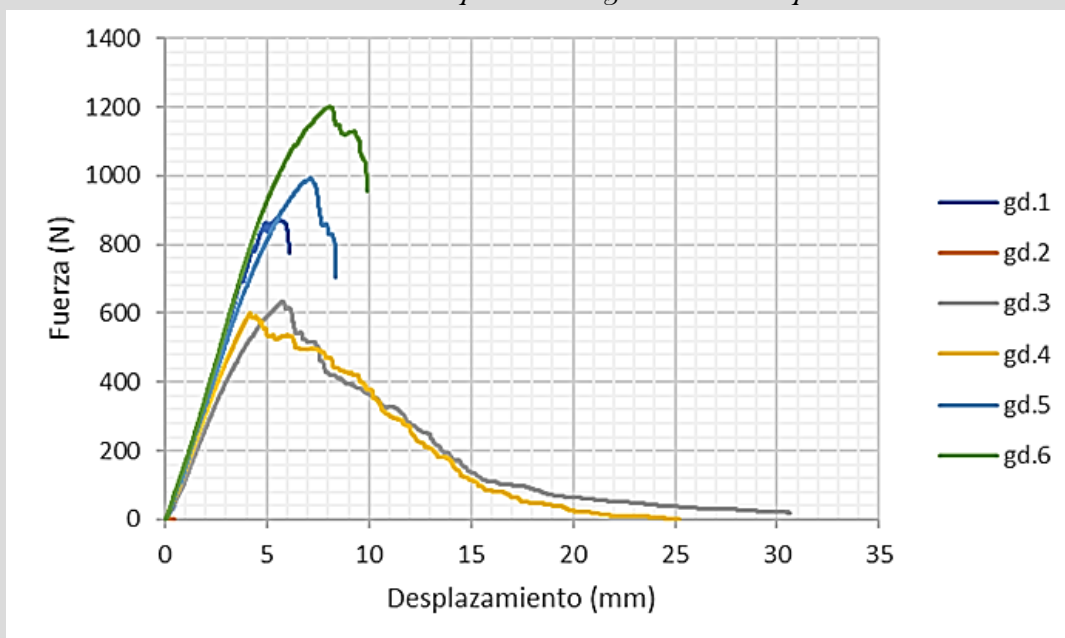


Figura 7.

Gráfica de deformación de la especie *G. angustifolia* con aplicación de calor.



Las pruebas estadísticas: mostraron los siguientes resultados, la prueba de hipótesis utilizando la prueba t de Student indica que no se puede afirmar la existencia de una diferencia significativa en la máxima fuerza de resistencia a la flexión entre el bambú sin tratamiento de calor y el bambú tratado con Yakisugi de la especie *B. oldhamii*. Esto se debe a que el valor calculado se encuentra dentro de los parámetros del valor crítico, es decir, dentro de la región de aceptación de la hipótesis nula (H_0), y la probabilidad asignada es mayor al nivel de significancia del 5% (Figura 8). Del mismo modo, no se puede afirmar que exista una diferencia significativa en el máximo desplazamiento entre las muestras de bambú sin tratamiento de calor y las tratadas con Yakisugi

de la especie *B. oldhamii*, ya que el valor calculado también se encuentra dentro de los parámetros del valor crítico y la probabilidad asignada es mayor al nivel de significancia del 5% (Figura 9).

Figura 8.

Resultados de los datos de máxima resistencia a la flexión de la especie *B. oldhamii*.

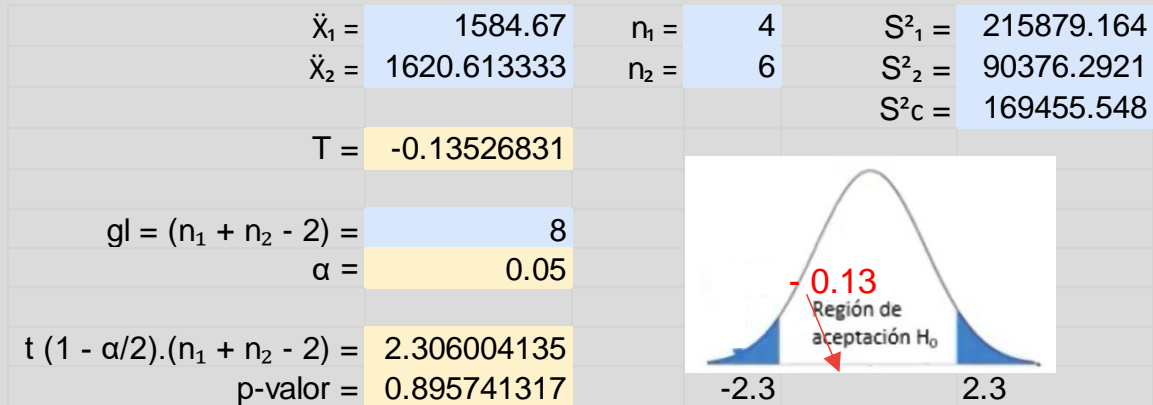
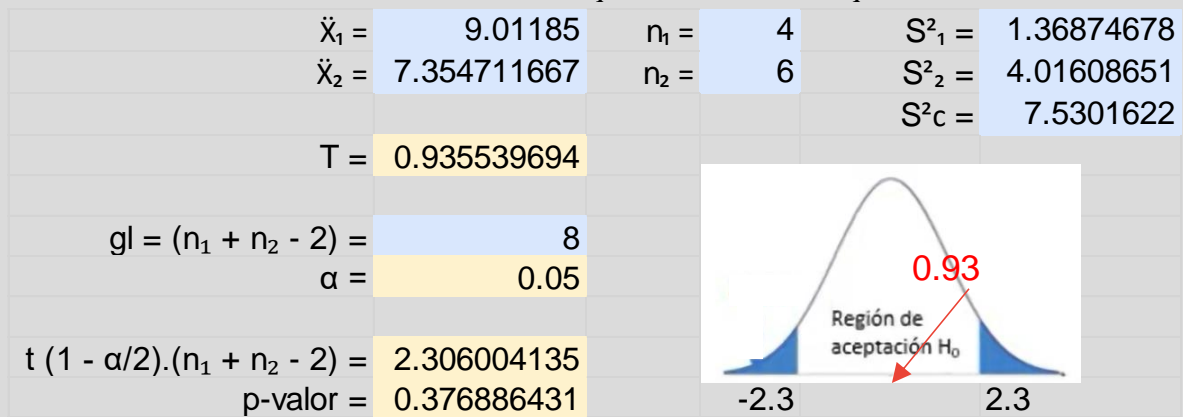


Figura 9.

Resultados de los datos de máximo desplazamiento de la especie *B. oldhamii*.



La prueba de hipótesis utilizando la prueba t de Student nos indica que no podemos afirmar que exista una diferencia significativa en la máxima fuerza de resistencia a la flexión entre el bambú sin ningún tratamiento de calor y el bambú tratado con Yakisugi de la especie *G. angustifolia*, ya que el valor calculado se encuentra dentro de los parámetros del valor crítico, es decir, dentro de la región de aceptación de la hipótesis nula (H_0), y la probabilidad asignada es mayor al nivel de significancia del 5% (Figura 10). Del mismo modo, no podemos afirmar que exista una diferencia significativa en el máximo desplazamiento entre las muestras de bambú sin ningún tratamiento de calor y las tratadas con Yakisugi de la especie *G. angustifolia*, debido a que el valor calculado también se encuentra dentro de los parámetros del valor crítico y la probabilidad asignada es mayor al nivel de significancia del 5% (Figura 11).

Figura 10.

Resultados de los datos de máxima resistencia a la flexión de la especie *G. angustifolia*.

$\bar{X}_1 =$	626.60325	$n_1 =$	4	$S^2_1 =$	15024.4419
$\bar{X}_2 =$	862.028	$n_2 =$	5	$S^2_2 =$	63517.744
				$S^2_e =$	74789.0754
T =	-1.2832958				
gl = ($n_1 + n_2 - 2$) =	7				
$\alpha =$	0.05				
t ($1 - \alpha/2$).($n_1 + n_2 - 2$) =	2.36462425				
p-valor =	0.24023744				

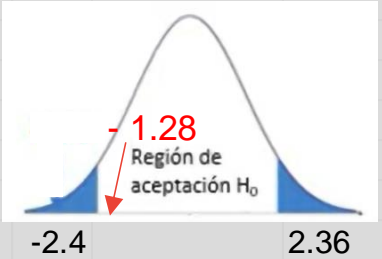
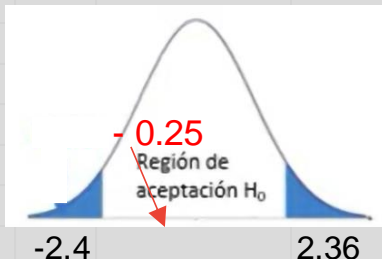


Figura 11.

Resultados de los datos de máximo desplazamiento de la especie *G. angustifolia*.

$\bar{X}_1 =$	5.68086	$n_1 =$	4	$S^2_1 =$	3.24426101
$\bar{X}_2 =$	6.14868	$n_2 =$	5	$S^2_2 =$	2.28236276
				$S^2_e =$	7.71555852
T =	-0.2510665				
gl = ($n_1 + n_2 - 2$) =	7				
$\alpha =$	0.05				
t ($1 - \alpha/2$).($n_1 + n_2 - 2$) =	2.36462425				
p-valor =	0.80897317				



Discusión

Después de observar la información anterior, se puede apreciar que se conservó la resistencia de las latillas de bambú incluso después de haber aplicado calor directo sobre su superficie, creando así una capa protectora. Según la literatura, este proceso físico-químico de quemado ayuda a protegerlas contra los insectos, las plagas y la degradación causada por la exposición a la intemperie.

También se observó que la aplicación de calor a las muestras les proporcionó mayor flexibilidad al someterlas a la fuerza de flexión. Visualmente, se pudo apreciar que no se produjo rotura; por el contrario, las muestras pudieron recuperar parte de su forma inicial. La diferencia en los resultados de las fuerzas de resistencia a la flexión entre las especies *B. oldhamii* y *G. angustifolia* puede atribuirse a la parte del culmo de donde se tomaron las muestras. Esto se debe a que la segunda especie se utiliza más comúnmente en aplicaciones estructurales, mientras que la primera suele emplearse en muros o decoraciones debido a sus características físicas superficiales y a la mayor distancia entre sus entrenudos. Sin embargo, ambas mostraron un comportamiento similar al no perder significativamente su resistencia a la flexión después de ser tratadas con la técnica Yakisugi.

Estos datos indican que en lo que respecta a la resistencia de una latilla de bambú comúnmente utilizada para la elaboración de paneles constructivos, el uso de la técnica japonesa Yakisugi no la afecta, sino que, por el contrario, le proporciona flexibilidad, lo que puede ser beneficioso al utilizarla como elemento constructivo. Como recomendación, sería muy útil llevar a cabo otras

pruebas de la técnica Yakisugi aplicada al bambú para corroborar si es un método adecuado y recomendable para su preservación, asegurando que prolongue su vida útil como material de construcción.

Conclusiones

El tratamiento con calor se ha utilizado durante mucho tiempo para el secado del bambú, lo que acelera la eliminación de la humedad que puede provocar la proliferación de hongos e insectos, los cuales podrían afectar la estructura interna y la resistencia del material. Sin embargo, la técnica Yakisugi podría ser una alternativa como método de preservación para proteger el bambú. Esto es especialmente importante dado que el bambú busca establecerse como un material adecuado para la construcción, ofreciendo una opción sustentable. Como cualquier material, el bambú tiende a desgastarse con el tiempo, especialmente siendo un material vegetal susceptible al deterioro de sus propiedades y su estética superficial.

La forma más económica de realizar el quemado del bambú podría ser de manera más tradicional, utilizando fogatas con leña reciclada del mismo material. Esto se debe a que ya se cuenta con el conocimiento del tiempo y la temperatura que el material puede alcanzar antes de carbonizarse por completo.

Referencias Bibliográficas

- Añazco, M., & Rojas, S. (2015). Estudio de la cadena desde la producción al consumo de bambú con énfasis en la especie (*Guadua angustifolia*) en Ecuador (A. Soria, Ed.). Recuperado de <https://bambuecuador.files.wordpress.com/2018/01/2015-estudio-de-la-cadena-desde-la-produccioc81n-al-consumo-del-bmabucc81-en-ecuador.pdf>
- Castilla, D. (2016). La construcción de una casa de bambú y su análisis. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Recuperado de <https://repositorioinstitucional.buap.mx/items/173951f4-cd53-4dac-b95c-7295a7805d8c>
- Ebner, D., Stelzer, R., & Barbu, M. C. (2019). Study of wooden surface carbonization using the traditional japanese yakisugi technique. *Pro ligno*, 15, 278–283. Recuperado de <http://www.proligno.ro/en/articles/2019/4/EBNER.pdf>
- Edwards, B. (2009). Guía Básica de la sostenibilidad. Gustavo Gili Editorial S.A.
- FAO, E. (1985). Industrial charcoal making. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Recuperado de <https://www.fao.org/3/x5555e/x5555e00.htm>
- Jhon, A., Castaño, J., & Jaramillo, J. (2017). Creación de una gama de acabados en madera para exteriores e interiores por medio del quemado y la carbonización. Universidad de Cuenca. Recuperado de http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/27000/1/TesisCasta% C3% B1o_Jar amillo.pdf
- Lara, J. (2013). El bambú como material de construcción. Universidad de Lleida. Recuperado de https://www.academia.edu/30831356/EL_BAMBU_COMO_MATERIAL_DE_CONSTRUCCION
- LiFang, C., HaiTao, S., YanJun, Z., YuXia, W., XueXiang, H., HongXia, M., & GuiJun, X. (2010). The natural durability and preservative treatability of 11 bamboo species. In 41st Annual Meeting of the International Research Group on Wood Protection,

Resistencia a la flexión de latillas de bambú tratadas con la técnica Yakisugi.
Abraján López D.D., Orozco Gutiérrez G., & Navarro Arellano J.F.

- Biarritz, France, 9-13 May 2010. IRG Secretariat. Recuperado de <https://www.irg-wp.com/irgdocs/details.php?0cbc66b8-3eb9-1856-5674-ff95d64e97a8>
- Londoño, X. (2010). Identificación taxonómica de los bambúes de la región noroccidental del Perú. In Proyecto PD428/06 Rev (No. 2; Vol. 2). Proyecto PD428/06 Rev. Recuperado de http://www.itto.int/files/user/pdf/PROJECT_REPORTS/INFORME%20TAXONOMIA%20BAMB%C3%9A.pdf
- Londoño, X., Camayo, G., Riaño, N., & López Yamel. (2002). Characterization of the anatomy of *Guadua angustifolia* (Poaceae: Bambusoideae) culms. *Bamboo Science and Culture*, 16(1), 18–31. Recuperado de http://www.bamboo.org/publications/e107_files/downloads/ABSJournal-vol16.pdf#page=20
- Montoya, J. (2008). Evaluación de métodos para la preservación de la *Guadua angustifolia* kunth. *Scientia et Technica*, 38, 411–416. Recuperado de <https://doi.org/10.22517/23447214.3817>
- Móran, J. (n.d.). Traditional bamboo preservation methods in latin america. Recuperado de <https://dokumen.tips/education/traditional-bamboo-preservation-methods-in-latin-america-preservacion-del.html?page=1>
- Oramas, L. (2015). Shou sugi ban, una técnica japonesa tradicional de acabado y protección, de la madera al exterior. *Boletín de Información Técnica*, 38–44. Recuperado de https://infomadera.net/uploads/articulos/archivo_5989_Shou%20Sugi%20Ban.pdf
- Rodríguez, R. (2017). El bambú como refuerzos en materiales compuestos para la construcción. Universidad Central “Marta Abreu” de las Villas. Recuperado de <https://dspace.uclv.edu.cu/server/api/core/bitstreams/c0e64aef-2a7f-4be5-b96a-01c08515d038/content>
- Špilák, D., Tereňová, L., Dúbravská, K., Majlingova, A., & Majlingová, A. (2018). Analysis of Carbonized Layer of Wood Beams with Different Geometric Cross-Section Shape. *FIRE PROTECTION & SAFETY Scientific Journal*, 12(2), 65–81. Recuperado de <https://doi.org/10.17423/delta.2018.12.2.53>
- Van der Lugt, P., van den Dobbelsteen, A., & Janssen, J. (2006). An environmental, economic and practical assessment of bamboo as a building material for supporting structures. *Construction and Building Materials*, 20(9), 648–656. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2005.02.023>