



Investigación

Propiedades de tableros laminados de bambú (Primera parte)¹

Ing. Mauricio Rivera,
Br. Alejandra Donis, Br. Renato Rivera
Centro de Investigaciones de Ingeniería
Facultad de Ingeniería / USAC

Resumen

El bambú es reconocido como una de las plantas de mayor crecimiento, además de presentar características morfológicas únicas que lo convierten en un material estructural de gran versatilidad. Su cultivo en Guatemala ha sido impulsado en los últimos años y aún es necesario encontrar metodologías de trabajo que permitan aprovechar las ventajas de este material. Este artículo expone la evaluación de parámetros físico-mecánicos para una serie de tableros laminados, empleando cañas de bambú latilladas como material de partida además de adhesivos comerciales, con la finalidad de determinar la influencia de la morfología y el tipo de adhesivo en la capacidad de absorción de agua, así como la densidad de los tableros. La elaboración de tableros laminados empleó latillas de bambú las cuales fueron dispuestas en configuraciones específicas, en función de la dirección de las fibras a las cuales se les aplicó un adhesivo comercial y presión a través de sujetadores y sargentos, hasta que el adhesivo curara por completo. La determinación de ambos parámetros físico-mecánicos es de gran ayuda, pues influyen de manera directa sobre la resistencia del material y su posible aplicación como elementos estructurales o intermediarios de fabricación. La evaluación de 18 configuraciones de tableros de bambú laminados concluye en que los tableros elaborados con latillas de bambú presentan una menor absorción de agua y densidades mayores que los tableros comerciales evaluados, presentando esta técnica de fabricación como una alternativa viable, en la cual debe profundizarse aún más.

Palabras clave

Bambú, agroindustria, material compuesto, madera, tablero.

1. Agradecimientos. Esta investigación se realizó gracias al apoyo financiero de la Dirección General de Investigación (DIGI) de la Universidad de San Carlos de Guatemala (Proyecto No. AP9), durante el año 2020. Un especial agradecimiento a Ileana Vélez Granados, del Fondo de Investigación, y al personal de la Sección de Tecnología de la Madera del Centro de Investigaciones de Ingeniería.

Abstract

Bamboo plant is known as one of the plants with fastest growth, to which we can add, unique morphological characteristics that make it a highly versatile structural material. The cultivation of this plant has been promoted on the recent years, but it is still needed to find a work methodology that allows to take advantage of this material. This article exposes the evaluation of physical-mechanical parameters for a series of laminated boards using slats from bamboo rod (*Dendrocalamus asper*) as a starting point in addition to commercial adhesives, in order to determine the influence of morphology and type of adhesive on the water absorption capacity, as well as the boards density. The elaboration of the laminated boards used bamboo slats arranged on specific configurations, depending the direction of the fibers, to which a commercial adhesive and pressure trough fasteners and tweezers were applied until the adhesive was completely cured. The determination of both physical-mechanical parameters, it's really helpful, since they directly influence over the material's resistance and its possible application as structural or intermediary fabrication elements. the evaluation of 18 configurations of laminated bamboo boards concludes that the boards elaborated with slats of bamboo present lower water absorption and higher density than the evaluated commercial boards, giving this manufacturing technique as a viable alternative, in which it is still necessary to continue investigating.

Keywords

Bambú, agroindustria, material compuesto, madera, tablero.

Introducción

El bambú es una planta con un alto potencial de agro industrialización, ya que presenta propiedades que lo hacen sumamente atractivo. Es una de las plantas de más rápido crecimiento en el planeta, ayuda al balance de oxígeno/dióxido de carbono atmosférico, es un recurso natural renovable para la producción agroforestal además de un recurso natural flexible en cuanto a su aplicación, resistente y de múltiples usos en la vivienda, industria y la construcción, entre otras. (Mercedes, 2006)

En la actualidad Guatemala tiene varios proyectos de incentivo para el cultivo de bambú, impulsados por la cooperación taiwanesa en conjunto con el Ministerio de Agri-

cultura, Ganadería y Alimentación (MAGA) y la Universidad de San Carlos de Guatemala. Dichos proyectos representan 600 hectáreas de cultivo de bambú, sobre el cual

es posible desarrollar tecnologías de aprovechamiento que representen mejoras económicas y ambientales a nuestro país.

Una de las desventajas en la utilización del bambú en aplicaciones agroindustriales radica en las características estructurales del mismo como una calla. Especies como el *Dendrocalamus asper* y *Guadua angustifolia* llegan a medir más de 20 metros, presentando diámetros entre 5 y 20 cm y distancias entre nudos de 13 a 70 cm (Mercedes, 2006). El laminado es una técnica que permite potenciar las aplicaciones del bambú, como elemento estructural y material de partida para la fabricación de elementos útiles como muebles, tabiques, etc. Esta técnica utiliza latillas o tiras obtenidas por cortes longitudinales de los culmos de bambú en diferentes configuraciones, de manera que es posible obtener tableros de cualquier dimensión y grosor.

Sin embargo, el proceso de fabricación de tableros laminados de bambú, presenta aun diversos retos, pues es necesario encontrar parámetros adecuados respecto de la utilización de diferentes adhesivos, configuraciones de laminado y grosor, pues estas variables influyen de manera directa sobre las propiedades físicas y mecá-

nicas de los tableros obtenidos (González, 2014), estas variables han sido sujeto de estudio en la presente investigación, enfocada a desarrollar tableros de bambú viables.

Materiales y métodos

Se realizó una experimentación con un arreglo multifactorial de tres factores: tipo de pegamento, configuración de laminado y grosor del tablero. Para el factor tipo de pegamento se analizaron dos niveles: pegamento de secado rápido y cola blanca estándar. Para el factor configuración de laminado se evaluaron tres niveles: combinación cara con cara, combinación lateral con lateral, combinación lateral con lateral con capas paralelas. Para el nivel grosor se evaluaron tres grosores: $\frac{1}{2}$, $\frac{3}{4}$ y 1 de pulgada. Se realizaron cinco repeticiones lo cual proporciona un experimento con noventa unidades experimentales y se analizaron tres diferentes tipos de tableros comerciales melanina, plywood y madera, con los mismos grosores para tener 45 tratamientos para la comparación.

Procedimientos

Los culmos de bambú de la especie *Dendrocalamus asper* fueron sometidos a un proceso de latilla-

do en el laboratorio multipropósito de la Sección de Tecnología de la Madera del Centro de Investigaciones de Ingeniería. Las latillas obtenidas se cortaron para luego aplicar adhesivo y formar tableros de 2x4 pies variando la combinación de la siguiente manera: combinación cara con cara, combinación lateral con lateral con capas en la misma orientación y combinación lateral con lateral con capas paralelas, lateral con lateral. Los tableros se inmovilizaron sobre una mesa de trabajo empleando sargentos, prensas tipo C, prensas de apriete rápido, sargentos y prensas de tubo. Una vez curado el adhesivo los tableros obtenidos fueron cepillados y lijados. De cada tablero obtenido y de cada tablero comercial evaluado se cortaron una serie de probetas las cuales se ensayaron en el Centro de Investigaciones de Ingeniería, en la Sección de Tecnología de la Madera, para determinar: porcentaje de humedad, densidad, contracción volumétrica, porcentaje

de absorción, resistencia a la flexión, prueba de adhesión y dureza Janka.

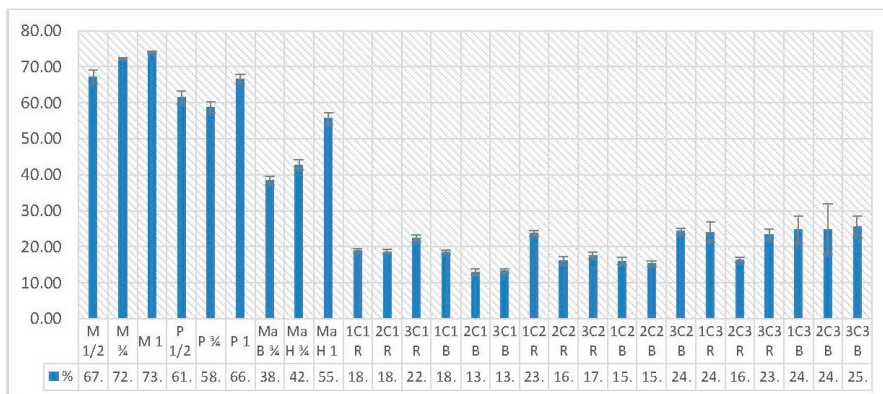
Empleando como referencia las normas de: Densidad ASTM D2395, Contenido de humedad ASTM D 143-94, Corte en línea de adhesivo ASTM D 905, Tracción paralela a las fibras ASTM D 3500-90, Compresión paralela a las fibras ASTM D 143-94, Flexión ASTM D 198, además de ensayos de dureza, contracción volumétrica y adsorción de acuerdo a los procedimientos establecidos por el laboratorio de la Sección de Tecnología de la Madera del Centro de Investigaciones de Ingeniería.

Resultados

A continuación, se presentan los resultados de las dos primeras pruebas físico-mecánicas realizadas a los tableros comerciales y tableros laminados de bambú.

Gráfica 1

**Porcentaje de absorción de agua para
tableros comerciales y tableros de bambú laminado**



Fuente: Elaboración propia con datos experimentales recolectados en el laboratorio multipropósito de la sección de Tecnología de la Madera, Centro de Investigaciones de Ingeniería, Facultad de Ingeniería de la Universidad San Carlos de Guatemala.

*El detalle de cada código asignado a los tableros se describe en el anexo 1.

Tabla 1

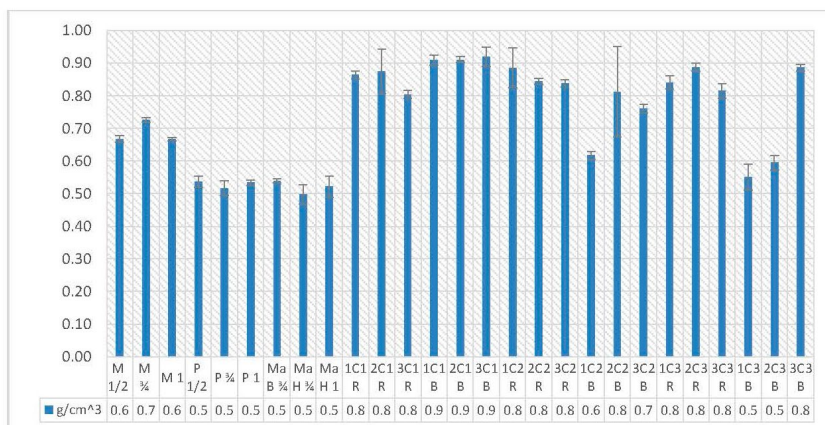
**Análisis de varianza respecto a la absorción
de agua en función del adhesivo utilizado**

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Muestra	0.327390493	1	0.327390493	0.0135476	0.910208929	5.31765507
Columnas	40.12828942	1	40.12828942	1.660534	0.233545482	5.31765507
Interacción	0.405564392	1	0.405564392	0.0167825	0.900122536	5.31765507
Dentro del grupo	193.3271608	8	24.1658951			
Total	234.1884051	11				

Fuente: Elaboración propia con datos experimentales recolectados en el laboratorio multipropósito de la sección de Tecnología de la Madera, Centro de Investigaciones de Ingeniería, Facultad de Ingeniería de la Universidad San Carlos de Guatemala

Gráfica 2

Densidad de los tableros comerciales y laminados expresada en g/cm³



Fuente: Elaboración propia con datos experimentales recolectados en el laboratorio multipropósito de la sección de Tecnología de la Madera, Centro de Investigaciones de Ingeniería, Facultad de Ingeniería de la Universidad San Carlos de Guatemala.

*El detalle de cada código asignado a los tableros se describe en el anexo 1.

Tabla 2

Análisis de varianza respecto a la densidad de los tableros en función del adhesivo utilizado

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Filas	0.11825589	5	0.02365118	2.85850125	0.07404709	3.32583453
Columnas	0.0112135	2	0.00560675	0.67763628	0.5296783	4.10282102
Error	0.08273978	10	0.00827398			
Total	0.21220916	17				

Fuente: Elaboración propia con datos experimentales recolectados en el laboratorio multipropósito de la sección de Tecnología de la Madera, Centro de Investigaciones de Ingeniería, Facultad de Ingeniería de la Universidad San Carlos de Guatemala

Discusión

El bambú es reconocido como un producto forestal no maderable de múltiples aplicaciones, tanto domésticas como agroforestales (Deras, 2005). Su laminado permite transformar el material de partida y extender sus aplicaciones comerciales, dentro de las cuales destaca la elaboración de tableros. El proceso de latillado y armado de los tableros se realizó según lo descrito en la sección de Procedimientos, obteniéndose una serie de tableros de bambú (anexo), los cuales fueron sometidos a pruebas físico-mecánicas empleando normas ASTM para los ensayos de absorción de agua y densidad, así como ensayos propios del laboratorio de Tecnología de la madera, no descritos en esta primera parte.

Para cumplir con la hipótesis planteada se evaluaron las propiedades físico-mecánicas de los tableros, absorción, densidad, humedad, dureza, módulo de ruptura, contracción volumétrica; estas pruebas se realizaron a los 18 tableros de bambú, además de 9 tableros comerciales con dimensiones similares, como método de comparación.

La absorción de agua se define como la cantidad de agua que un

material es capaz de retener dentro de su estructura (Khan et al., 2019), ésta se expresa usualmente como un porcentaje respecto al peso del material en condiciones anhidras (Tamrakar & Lopez-Anido, 2011), e influye de manera directa en las propiedades mecánicas y la viabilidad de su utilización estructural. En la gráfica número 1 se presentan los porcentajes de absorción obtenidos según el procedimiento descrito por la norma ASTM (American Society for Testing and Materials) para la evaluación de propiedades físico-mecánicas de maderas (ASTM D143-94), agrupados por tipo de pegamento y morfología evaluada.

Los tableros comerciales presentan en todos los casos valores superiores respecto a la absorción de agua, siendo mayores para la melamina, seguida por el plywood y finalmente la madera sólida. Considerando que la absorción de agua es una función dependiente de la morfología, tiempo de sumersión y en particular de los factores estructurales en la celulosa y lignina que la constituye (Li et al., 2015), los valores obtenidos para tableros comerciales se justifican por el alto grado de porosidad y de ruptura de fibras presentes en la melamina y el plywood (Winandy et al., 2005), además los tableros elaborados de madera sólida pre-

sentan una menor absorción pues la celulosa y lignina permanecen unidas en su interior, en el caso de la madera sólida suave, la variación respecto a las subunidades de lignanos y fenoles así como los enlaces que estos forman la convierten en una madera susceptible a una mayor hidratación (Lancefield & Westwood, 2015), por lo cual la absorción de agua en las probetas evaluadas incrementa.

Los tableros de bambú laminado presentan valores inferiores de absorción de agua, variando entre un 25.6% hasta 13.0%, el análisis de varianza de dos factores (ANOVA), reportado en la tabla 1 refleja que no existe una diferencia estadística significativa en cuanto a la absorción de agua en relación tanto a los adhesivos utilizados, sin embargo, la comparación entre morfologías presenta una variación estadística superior.

La orientación de las fibras en los tableros laminados de bambú ha demostrado influir sobre la absorción de agua (Li, 2013; Li, 2015; Widiastuti, 2020), los datos obtenidos reflejan dicho comportamiento, encontrándose que los tableros laminados en configuración C1 absorben una cantidad inferior de agua respecto a los análogos C2 y C3. El crecimiento del bambú extiende las unidades de celu-

losa en dirección ascendente a un ritmo aproximado de 600 unidades de glucosa cada segundo, dicha característica permite obtener un material con fibras de orientación muy diferenciada (Lenhninger, 2013), al exponer las fibras por el lado más ancho de la cadena la absorción de agua se ve reducida, obteniéndose un material laminado con mejores propiedades estructurales que los demás elementos evaluados.

La densidad de la madera y derivados de ésta permite caracterizarla y hacer un uso adecuado de la misma; dicho parámetro es dependiente de factores tales como la morfología y características estructurales respecto a la celulosa y lignina (Zanni, 2009; Lancefield, 2015). En el caso de elementos decorativos y de gran complejidad se prefieren densidades bajas, mientras que en el ámbito estructural o de soporte se prefieren densidades altas (Rusch et al., 2019), además valores de densidades superiores se correlacionan con una mayor resistencia a la flexión y el corte (Kurowska & Kozakiewicz, 2010). La gráfica 2 presenta los valores de densidad obtenidos según la norma ASTM D2395 (ASTM D2395-17), considerando las dimensiones exactas de las probetas, una humedad del 12% y el peso de las probetas tan-

to para los tableros comerciales como para los tableros de bambú laminado.

Como se puede observar en la gráfica 2, todas las configuraciones y pegamentos obtuvieron valores mayores respecto de los tableros comerciales; el análisis de varianza estadística (ANOVA) no refleja una diferencia estadística significativa (tabla 2), sin embargo la correlación entre morfologías y adhesivos sugiere que al menos una de las combinaciones difiere del resto. La configuración C1 presenta mayores densidades que el resto de arreglos, la dirección paralela de fibras, así como la presión ejercida durante la manufactura de laminados de bambú permite un aumento de la densidad pues acomoda de una manera más compacta el material, además de generar un efecto plastificante en las fibras (Chen, 2014; Rusch, 2019). Los laminados con pegamento de secado rápido presentan a su vez densidades superiores, pues los tiempos de prensado y el grado de deformación para los tableros se ven disminuidos por la rapidez del secado de las uniones entre las fibras.

El estudio comparativo de las propiedades de absorción y densidad de los tableros de bambú lamina-

do contra los tableros comerciales, determinó que bajo todas las configuraciones evaluadas, los tableros de bambú poseen una menor absorción de agua y densidad mayor, lo cual los convierte en materiales estructurales adecuados para usos posteriores. De igual forma se evidencio el efecto que la configuración de las fibras tiene sobre la absorción de agua y la densidad, prefiriéndose la configuración de latillas C1R y C1B

Referencias bibliográficas

- ASTM (American Society for Testing and Materials) (s.f.) D143-94, Standard Test Methods for Small Clear Specimens of Timber, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2000, DOI: 10.1520/D0143-94, www.astm.org
- ASTM (American Society for Testing and Materials) (s.f.) D2395-17, Standard Test Methods for Density and Specific Gravity (Relative Density) of Wood and Wood-Based Materials, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2017, DOI: 10.1520/D2395-17, www.astm.org
- Chen, F., Jiang, Z., Deng, J., Wang, G., Zhang, D., Zhao, Q., Cai, L. & Shi, S. (2014) Evaluation of the uniformity of density and mechanical properties of bamboo-bundle laminated veneer lumber (BLVL). *BioResources*, v. 9, n. 1, p. 554-565, 2014.

- Deras, J., Stoian, D., & Morales, D. (2005) "La cadena productiva del bambú en Costa Rica. Potencial de desarrollo de un recurso subutilizado en América Latina". En *Recursos Naturales y Ambiente*, (46-47), 127-136.
- Gonzalez, M., & Tam, C. (2014) "Efecto del contenido de humedad en la resistencia a tensión paralela a la fibra del bambú *Guadua Angustifolia Kunth*". En *Scientia et Technica*, 19(3), 245-250.
- Khan, M. Z. R., Srivastava, S. K., & Gupta, M. K. (2019) "Water absorption and its effect on mechanical properties of hybrid wood particulates composites". En *Materials Research Express*, 6(10), 105305. <https://doi.org/10.1088/2053-1591/ab34c3>
- Kurowska, A., & Kozakiewicz, P. (2010) "Density and shear strength as solid wood and glued laminated timber suitability criterion for window woodwork manufacturing". En *Annals of Warsaw University of Life Sciences - SGGW. Forestry and Wood Technology*, 71(71), 429-434.
- Lancefield, C. S., & Westwood, N. J. (2015) "The synthesis and analysis of advanced lignin model polymers". En *Green Chemistry*, 17(11), 4980-4990. <https://doi.org/10.1039/c5gc01334h>
- Lehninger, A., Nelson, D., & Cox, M. (2013) *Principios de bioquímica*. Barcelona: Omega.
- Li, H., Xian, Y., Deng, J., Cheng, H., Chen, F., & Wang, G. (2015) "Evaluation of Water Absorption and its Influence on the Physical-Mechanical Properties of Bamboo-Bundle Laminated Veneer Lumber". En *BioResources*, 11(1). <https://doi.org/10.15376/biores.11.1.1359-1368>
- Li, H., Zhang, Q., Huang, D., & Deeks, A. J. (2013) "Compressive performance of laminated bamboo". En *Composites Part B: Engineering*, 54, 319-328. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2013.05.035>
- Mercedes, J. (2006) *Guía técnica cultivo del bambú*. Santo Domingo, República Dominicana: Centro Agropecuario y Forestal.
- Rusch, F., Trevisan, R., Hillig, É., & Mustefaga, E. C. (2019) "Physical-mechanical properties of laminated bamboo panels". En *Pesquisa Agropecuaria Tropical*, 49. <https://doi.org/10.1590/1983-40632019v4953714>

- Tamrakar, S., & Lopez-Anido, R. A. (2011) "Water absorption of wood polypropylene composite sheet piles and its influence on mechanical properties". En *Construction and Building Materials*, 25(10), 3977–3988. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.04.031>
- Widiastuti, I., Pratiwi, Y. R., & Cahyo, D. N. (2020) "A Study on Water Absorption and Mechanical Properties in Epoxy-Bamboo Laminate Composite with Varying Immersion Temperatures". En *Open Engineering*, 10(1), 814–819. <https://doi.org/10.1515/eng-2020-0091>
- Winandy, J., Wellwood, R., & Hiziroglu, S. (2005) *Using wood composites as a tool for sustainable forestry*. Madison, WI: U.S. Dept. of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory.
- Zanni, E. (2009) *Patología de la madera*. Córdoba: Editorial Brujas.

Anexos

Anexo 1

Descripción de los tableros laminados de bambú y tableros comerciales

Tablero	Descripción	Código/grosor de tableros
Melamina	Es un tablero de aglomerado cubierto por ambos lados o caras con láminas impregnadas con resinas melamínicas teniendo una superficie libre de poros en dimensiones de 6x8 pies.	M ½ / ½ pulgada M ¾ / ¾ pulgada M 1 / 1 pulgada
Plywood	Es un tablero laminado fabricado con capas delgadas de chapa de madera que están pegadas entre sí con capas adyacentes con orientaciones diferentes dimensiones de 4x8 pies	P ½ / ½ pulgada P ¾ / ¾ pulgada P 1 / 1 pulgada
Madera	Es un tablero laminado de reglas de maderas pegados para formar un tablero más grande dimensiones de 4x6 pies	Mad ¾ / ¾ pulgada MH ¾ / ¾ pulgada MH 1 / 1 pulgada
Combinación cara con cara,	Tablero laminado con latillas de bambú pegadas a lo ancho de las latillas, con varias capas hasta llegar al grosor requerido utilizando dos pegamentos diferentes pegado rápido B y pegamento para madera R	1C1R / ½ pulgada 2C1R / ¾ pulgada 3C1R / 1 pulgada 1C1B / ½ pulgada 2C1B / ¾ pulgada 3C1B / 1 pulgada
Combinación lateral con lateral con capas en la misma orientación para llegar al grosor	Tablero laminado con latillas de bambú pegadas por el grosor de las latillas perpendicular, con varias capas hasta llegar al grosor requerido utilizando dos pegamentos diferentes pegado rápido B y pegamento para madera R.	1C2R / ½ pulgada 2C2R / ¾ pulgada 3C2R / 1 pulgada 1C2B / ½ pulgada 2C2B / ¾ pulgada 3C2B / 1 pulgada
Combinación lateral con lateral y capas paralelas lateral con lateral paralelas hasta llegar al grosor adecuado	Tablero laminado con latillas de bambú pegadas a lo ancho de las latillas y la segunda capa con latillas de bambú pegadas por el grosor de las latillas perpendicular, con varias capas intercaladas entre sí hasta llegar al grosor requerido utilizando dos pegamentos diferentes pegado rápido B y pegamento para madera R.	1C3R / ½ pulgada 2C3R / ¾ pulgada 3C3R / 1 pulgada 1C3B / ½ pulgada 2C3B / ¾ pulgada 3C3B / 1 pulgada

Fotografía 1

Tableros laminados de bambú especie *Dendrocalamus asper*

