

II Simposio Internacional de

GUADUA Y BAMBÚ

"Consolidando el Sector con Innovación y Sostenibilidad"

Memorias

II Simposio Internacional

Guadua y Bambú

**"Consolidando el sector con Innovación y
Sostenibilidad"**

ISBN 978-958-716-724-5

Bogotá

4 y 6 de agosto de 2014



II Simposio Internacional de
GUADUA
BAMBÚ
"Consolidando el Sector con Innovación y Sostenibilidad"
4, 5 y 6 de agosto del 2014
Bogotá . Colombia

TABLA DE CONTENIDO

PÁGINA

CONFERENCIAS MAGISTRALES

ESTADO DEL ARTE DE LA CONSTRUCCIÓN DE LA GUADUA EN MÉXICO Agustín Hernández Hernández	2
REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA Y ESTADO DEL ARTE DE LA CADENA DE LA GUADUA (2002-2012) Nohelia Mejía Gallón, Jairo Augusto Caro Mejía	8
ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA GUADUA ANGUSTIFOLIA MEDIANTE TÉCNICAS ESTADÍSTICAS Y REDES NEURONALES Javier Mauricio Rojas Alvarado, Juan Lizarazo-Marriaga	16
INTEGRACIÓN DE LA CADENA AGRO-INDUSTRIAL EN LA ZONA CENTRO SUR DE MÉXICO. Arturo Aguilar Arai	25
VIABILIDAD ECONÓMICA Y SILVICULTURAL DEL BAMBÚ COMO GENERADOR DE BIOMASA PARA LA PRODUCCIÓN DE ENERGÍA BIORENOVABLE Hormilson Cruz Ríos	31
INSTRUMENTACIÓN NORMATIVA PARA EL MANEJO Y APROVECHAMIENTO PERSISTENTE DE GUADUALES NATURALES, DE LOS ESTABLECIDOS CON FINES DE PROTECCIÓN Y PROTECCIÓN – PRODUCCIÓN Alejandra Ruiz Díaz, Carolina Eslava Galvis	37

EL CONCEPTO DE LAS ESTRUCTURAS LIGERAS Marcos Javier Ontiveros Hernández	43
INVESTIGACIONES SOBRE EL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE LA GUADUA DESARROLLADAS POR EL GRUPO DE INVESTIGACIÓN ANÁLISIS, DISEÑO Y MATERIALES GIES Caori Takeuchi	51
LOS BAMBÚES: AQUELLOS PASTOS GIGANTES Ximena Londoño	61
AVANCES EN EL MANEJO FORESTAL DE LOS GUADUALES NATURALES; CASO DEPARTAMENTO DE RISARALDA Rubén Darío Moreno Orjuela	66
CÁLCULO DE ESTRUCTURAS DE BAMBÚ DE GRANDES CLAROS Armando Moreno Sánchez	71
EL CRECIMIENTO DEL MERCADO DEL BAMBÚ EN EL MUNDO Y LA CALIDAD EN LOS PROCESOS INDUSTRIALES. ESTUDIO DE CASO: FABRICACIÓN DE MUEBLES EN GUADUA Jorge Augusto Montoya Arango	77
PROCESAMIENTO DIGITAL DE IMÁGENES PARA MODELAR EL COMPORTAMIENTO DE LA GUADUA M.L.S. Cruz, K. Ghavami, L.Y. Morales	87
CONEXIONES EN GUADUA LAMINADA – EXPERIMENTACIÓN, MODELACIÓN Y TEORÍA Juan F. Correal, Juan S. Echeverry, Fernando Ramírez	95
ALGUNOS CASOS DE ESTUDIO SOBRE ESTRUCTURAS LIGERAS CON BAMBÚ Marcos Javier Ontiveros Hernández	103
PRODUCCIÓN DE GUADUA EN INVERNADERO CON FERTILIZACIÓN NO CONVENCIONAL Lucía Ana Díaz-Ariza, Weimar Hernando Sandoval	110
RESISTENCIA MECÁNICA DE ELEMENTOS DE FIBRA DE GUADUA COMPACTADA Patricia Luna, Caori Takeuchi	119

USO DE LA GUADUA (<i>Guadua angustifolia</i> KUNTH) PARA LA RESTAURACIÓN ECOLÓGICA DE TERRENOS AFECTADOS POR DESLIZAMIENTOS Y EROSIÓN SEVERA Zoraida Calle, Mauricio Carvajal, Adriana Giraldo, Enrique Murgueitio	126
APLICACIONES INDUSTRIALES DE LAS FIBRAS DE GUADUA EN LOS MERCADOS COLOMBIANOS Omar Fabián Bolívar Chaves	132
PROPIEDADES MECÁNICAS DE MATERIALES COMPUESTOS NO CONVENCIONALES DE BASE CELULÓSICA PARA APLICACIONES EN CONSTRUCCIÓN German A. Díaz Ramírez, Julio Cesar Pinillos Fonseca, Ricardo A. Cruz Hernández	138
GUADUA LAMINADA Y LA INNOVACIÓN EN LA TRANSFORMACIÓN DE LA SECCIÓN TRANSVERSAL Walter Mauricio Barreto Castillo	144
MODELO DE FALLA PROGRESIVA DE FIBRAS DE <i>Guadua angustifolia</i> Martin Estrada, Dorian Luis Linero	147
DETERMINACION DEL PORCENTAJE DE DELAMINACION EN ELEMENTOS DE GUADUA COMPACTADA UTILIZANDO PROCESAMIENTO DIGITAL DE IMÁGENES DE CAMPO EXTENDIDO Edgar Torres, Patricia Luna, Caori Takeuchi	155
SILVICULTURA E INVENTARIOS DE PLANTACIONES Y BOSQUES NATURALES DE BAMBÚ Juan Carlos Camargo García, Ángela María Arango Arango	161
INVESTIGACIÓN SOBRE ARQUITECTURA SUSTENTABLE Agustín Hernández Hernández	168
LA VARIACIÓN GENÉTICA AL INTERIOR DE LOS GUADUALES, CAUSAS Y EFECTOS Jaime Eduardo Muñoz, Ximena Londoño, Paula Andrea Rugeles, Carolina Becerra Muñoz, Daniela Raigoza	174

PRESENTACIONES ORALES

- ENRAIZAMIENTO *IN VITRO* DE *Guadua angustifolia* Kunth 180**
PROMOVIDO POR 2,4-DIACETILFLOROGLUCINOL (DAFG) DE
ORIGEN BACTERIANO PRODUCIDO POR UNA CEPA DEL
GÉNERO *Pseudomonas* ASOCIADA NATURALMENTE A
GUADUALES DE CUNDINAMARCA, COLOMBIA.
Hernán Capador, Sandra Constantino, Lucía Ana Díaz-Ariza
- CASOS DE ESTUDIO PARA EL DISEÑO ESTRUCTURAL DE 188**
EDIFICACIONES CONSTRUIDAS CON GUADUA
ANGUSTIFOLIA KUNTH DE ACUERDO A LOS
REQUERIMIENTOS DE LA NSR-10, TITULO G.12
Mateo Gutiérrez González, Johan Camilo Muñoz Rodríguez, Tania
Marcela Sáenz Landinez
- PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO PARA DETERMINAR LAS 195**
ISOTERMAS DE SORCIÓN Y EL CONTENIDO DE HUMEDAD
DE EQUILIBRIO PARA LA *Guadua angustifolia* KUNTH
Mateo Gutiérrez González
- CONSTRUCCIONES SOSTENIBLES APLICADAS A 202**
SOLUCIONES DE VIVIENDA DE INTERÉS PRIORITARIO
“PROYECTO CENTENARIO MUNICIPIO DE TIMANÁ HUILA
2011-2013”
Henry Liscano Parra, Engelberto Rodríguez Burgos, Rosa Elvira Gaviria
Torres
- RIQUEZA Y DIVERSIDAD VEGETAL DE LOS BOSQUES DE 211**
GUADUA. APORTES PARA SU RESTAURACIÓN Y
CONSERVACIÓN. ESTUDIOS DE CASO EJE CAFETERO DE
COLOMBIA
Ramírez Díaz, F. Camargo, J.C.
- MODELO PARA EL ANÁLISIS DE LOS PARÁMETROS 216**
EDAFOCLIMÁTICOS Y CONDICIÓN MICORRIZAL SOBRE LA
PRODUCTIVIDAD DE GUADUALES NATURALES EN
CUNDINAMARCA-COLOMBIA
Bryann Esteban Avendaño-Uribe, Daniel Castillo-Brieva, Lucía Ana Díaz

ESTADO DEL ARTE DE LA CONSTRUCCIÓN DE LA GUADUA EN MÉXICO

Dr. Agustín Hernández Hernández^a

^aFacultad de Arquitectura de la UNAM., ahh@unam.mx

Palabras clave: Otate, Bambú, Anisótropo, Armaduras, Escuadría

Introducción

En México existe una construcción con bambú predominantemente conservadora y artesanal donde se emplean tallos enterizos de la especie *Bambusa vulgaris*, sin embargo desde 1995 en el seno del Posgrado de la Facultad de Arquitectura de la UNAM, surgió interés por estudiar el desempeño estructural de dicha especie que existe de manera silvestre en las regiones tropicales de México y que vulgarmente se conoce como Otate, término derivado de la palabra Outatl o Utatl del lenguaje Náhuatl que aún se habla en éstas regiones tropicales. Asimismo es importante comentar que los esfuerzos empleados desde aquel entonces para deducir su conducta estructural mediante pruebas mecánicas, confirmaron que es un material estructural monolítico y anisótropo, figura. 1.

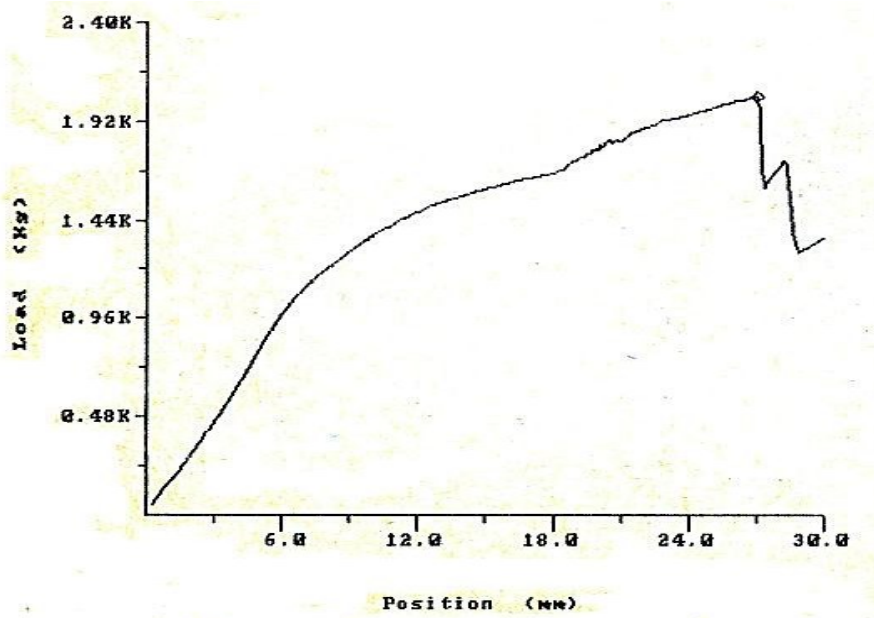


Figura. 1. Gráfica esfuerzo-deformación, típica de la especie *Bambusa vulgaris*, realizada en 1995.

Una característica sobre el desempeño estructural que ilustran las gráficas esfuerzo-deformación, es que las fallas ocurren de manera lenta como un fenómeno tipo plástico, debido a que el rango de deformaciones plásticas o irreversibles es mucho mayor que las elásticas. Es decir que las estructuras de bambú tienen la capacidad de deformarse antes de colapsar como ocurre con las de un auténtico material dúctil.

Resulta importante comentar que en la actualidad las características de la construcción tradicional sufre un proceso de alteración sobre algunos rasgos distintivos que le aportan materiales naturales como la palma, zacate o la teja de barro que se usaban en las cubiertas, debido a que cuando ocurre algún desastre meteorológico, el gobierno implementa programas emergentes donde regala materiales industriales como la lámina metálica y promueve la autoconstrucción con ellos, figura 2.



Figura 2. Una característica de la vivienda tradicional donde se evidencia la sustitución en la cubierta de la palma, zacate o teja por lámina metálica.

Aplicaciones

Desde épocas remotas hasta la actualidad el bambú, ha sido utilizado en varios géneros de construcción, en distintos lugares y en distintos momentos, práctica que a través del tiempo configuró a la denominada construcción tradicional, que se enfoca a resolver claros cortos con tallos enterizos, de los cuales existen varios ejemplos, sin embargo al tratar de interpretar su evolución podemos decir que cuando las actividades del usuario han requerido espacios con mayores claros, dichos elementos de bambú empiezan a resultar masivos y pesados, por lo que suelen complicar la maniobra durante el proceso constructivo.

Es decir, para claros grandes un sistema estructural conformado mediante escuadrías simples que en arquitectura denominamos “sistema resistente por masa”, dejan de ser aconsejables. Ante esa circunstancia, apareció la necesidad de crear soluciones más ligeras, capaces de disminuir las secciones, dicho proceso de evolución dio origen en primer lugar, al concepto conocido como de “barras y nodos” que se ejemplifica con la tipología de las armaduras a dos aguas, conformadas mediante piezas de secciones pequeñas para constituir sus cuerdas, montantes y diagonales, las cuales además de ser ligeras, tienen la virtud de transmitir cargas puntuales en los apoyos, mediante esfuerzos de tracción o compresión en sus miembros, situación que admite apoyarlas sobre columnas esbeltas, sin ninguna situación de riesgo, figura 3.

No obstante, las armaduras pueden ser horizontales, a dos aguas, curvas o con una configuración especial que establezcan las intenciones compositivas de cada diseñador y pueden intervenir simultáneamente distintos materiales en proporción a sus módulos de elasticidad.

Aunque en la actualidad el mayor porcentaje de construcción se hace de manera artesanal, la tecnología que está a nuestro alcance permite aproximarse a la industrialización como un valor agregado legítimo del bambú, porque cada tallo es un elemento prefabricado capaz de empezar a trabajar desde el momento en que se coloca, por lo que existen amplias posibilidades de resolver limitaciones naturales e impulsarlo a que sea trabajado como producto industrial, donde se controlen los acabados desde la fábrica como ocurre con algunos componentes de vanguardia capaces de disminuir costos y tiempos de construcción.

Para **recubrimientos** de bambú es usual por tener poca conductividad térmica, que le proporciona cualidades aislantes excepcionales con bajo costo, por lo que también es común encontrarlo como **elemento ornamental** con buenos resultados, por ser un material estable a cambios de temperatura. Respecto a los **muebles** de bambú, aunque en la actualidad constituyen una opción viable, su proceso de fabricación requiere tecnificarse para obtener mayor control, sin embargo otro tema que no podemos omitir es la importación de pisos de bambú que en los últimos años, la mercadotecnia los ha colocado como una alternativa interesante por su ligereza, costo y rapidez de construcción.

Respecto al campo de las aplicaciones se concluye que en la actualidad la construcción artesanal no cesa, y en varios lugares del país podemos encontrar algunos profesionistas como el Arq. Ricardo Leiva del Estado de Puebla, que no dudan en que funciona para la construcción y comentan que permite hacer obras de manera rápida y económica. Asimismo probablemente por la conciencia progresiva sobre la sustentabilidad, actualmente en México existen instituciones y empresas que le ven buen futuro, con un positivo impacto socioeconómico, por lo que vale la pena hacer investigaciones capaces de mejorar la práctica existente y propagar el bambú como opción arquitectónica para otros géneros de construcción.

A la luz de estas ideas podemos comentar que ahora, una de las tendencias de la arquitectura se enfoca a hacer construcciones más grandes, con mayores claros y con procedimientos constructivos industrializados. Es decir, existen condiciones naturales para pasar de la construcción artesanal a la industrializada con la posibilidad de incorporar variantes en elementos arquitectónicos con diseños innovadores.

Respecto a la producción del bambú como materia prima para la construcción, en la actualidad existen dos empresas que producen varias especies, una es “Bambuerver” localizada en el Estado de Veracruz y otra es “Agromon” ubicada en el Estado de Chiapas, ambas en el sureste de México, las cuales pueden surtir prácticamente cualquier número de tallos al lugar de la obra, con el tratamiento preventivo y contenido de humedad que les sea especificado.



Figura 3. Sistema de cubierta estructurada con armaduras apoyadas en el centro.

En la actualidad podemos encontrar varios sistemas constructivos se han realizado de manera empírica o experimental, sin contar con un estudio metódico comprobable, fundamentado en la conducta estructural del material empleado, por lo que podemos encontrar aplicaciones de todo tipo, ya que suelen aplicar esfuerzos contenidos en bibliografías extranjeras, especialmente de Colombia, donde existen especies de bambú con características distintas a las de México, lo cual requiere formular procedimientos más especializados para la tarea de extrapolación de resultados.

Academia

La presencia del bambú en arquitectura guarda estrecha relación con el enfoque académico que ofrecen las instituciones universitarias. En México la situación académica como base de la actividad arquitectónica, requiere de una interpretación especial porque los planes de estudio de

las licenciaturas en arquitectura e ingeniería civil, han sido injustos tanto con madera como con el bambú, al excluirlos de los contenidos temáticos. Incluso en la actualidad al actualizar los planes

de estudio existe mayor preocupación por integrar en las actividades académicas, materiales industriales o exóticos como un indicador de vanguardia, criterio que al analizarlo escrupulosamente resulta cuestionable.

Como una estrategia de evolución vale la pena implementar desde la academia, Programas de estudio formativos sobre el bambú que permitan orientar el desarrollo de las aplicaciones arquitectónicas sobre distintos géneros de construcción, el cual es un tema que suele ignorarse sistemáticamente, como un espacio donde se pueda orientar a la fuente creadora, en la búsqueda de la forma adecuada, es decir aquella donde no existen momentos, para crear superficies cuya geometría sea capaz de incrementar la capacidad de carga con la rigidez estructural.

Respecto a la bibliografía existente para estudiar el tema del bambú en la arquitectura mexicana, es prácticamente nula, lo que puede encontrarse se refiere especialmente a tesis de Licenciatura o Posgrado, cuyos autores hacen el esfuerzo particular por estudiar dicho material y contemplan principios básicos para el diseño de estructuras con bambú enterizo, sin abundar en el análisis profundo de las uniones. Asimismo es importante señalar que hasta ahora, no sido contemplado en el Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal que es la referencia principal que tienen tanto arquitectos como ingenieros y la otra instancia mexicana que podría protagonizar en la promoción aconsejando una regulación trascendente para obtener mayor apoyo jurídico y administrativo es COMACO, A. C., (Consejo Nacional para la Madera en la Construcción), fundado en 1978 que en la actualidad se enfoca principalmente a difundir la tecnología de la madera de Estados Unidos como componentes para configurar una arquitectura alternativa.

Esa falta de conocimiento sobre fundamentos técnicos orientado a resolver problemas de diseño, es un tema que cada día adquiere mayor relevancia, ya que en la actualidad además de exigir satisfacer requerimientos de funcionalidad, varios proyectos requieren proponer formas innovadoras y lograr la máxima resistencia con mínimo de material.

Sin embargo un factor que lamentablemente ha frenado el desarrollo de la construcción con bambú, es la situación crediticia lo que motiva a crear investigaciones para superar éste desafío del siglo XXI, porque con frecuencia las instituciones bancarias y aseguradoras que podrían financiar la arquitectura con bambú, asocian éste tipo de construcción como provisional por el desconocimiento del material, por lo que vale la pena hacer los esfuerzos necesarios para vencer esa injusta desconfianza.

Conclusiones

Afortunadamente en México existen esfuerzos individuales que mantienen viva la construcción con bambú mediante métodos tradicionales principalmente, sin embargo para explorar mas allá de lo establecido, requiere de cierta experiencia de los arquitectos, que exige profundizar en su conocimiento para redescubrir el amplio campo de soluciones estéticas que puede ofrecer. Al adicionarle tecnología y cultura, puede tener un futuro más promisorio, por lo que resulta razonable proponer la posibilidad de basar las expectativas arquitectónicas en la analogía de la membrana formulada en Alemania por el Ingeniero Prandal en 1915, donde las decisiones se

toman en torno a la geometría para racionalizar material en el espacio, disminuyendo la intensidad de los esfuerzos y anular momentos flexionantes.

De manera particular se puede pensar que gran parte del futuro del arte de la construcción con bambú, depende más de los arquitectos que de los ingenieros civiles, esto debido al enfoque de cada profesión, donde la ingeniería al asociarse a la obra civil, tiene afinidad por materiales mas resistentes debido a que sus construcciones, se caracterizan por ser planas y presentar sollicitaciones mecánicas de gran magnitud y la arquitectura al relacionarse más con la obra de edificación, interactúa con construcciones donde predominan esfuerzos modestos en la escala de los que ofrece el bambú, así mismo suele valorar con mayor fortaleza aspectos tanto estéticos como confortables.

Ante la necesidad creciente necesidad de diseñar sistemas estructurales capaces de librar mayores claros racionalizando el uso del material en el espacio, en México la empresa “Bambuver”, ha empezado a experimentar la producción de paneles laminados, con el objetivo de desarrollar elementos con secciones geométricas innovadoras. Dicha aventura resulta viable porque en sus metas puede apoyarse en la experiencia que brinda la tecnología de la “madera laminada” cuyas estructuras han demostrado la posibilidad de controlar a voluntad la estabilidad y eficacia ante diversas condiciones.

Referencias bibliográficas

- Artículo 2002. El Otate (*Bambusa vulgaris*) como material estructural. Revista BOTÁCOR No 7. Facultad de Arquitectura. UNAM.
- Hernández Hernández, A.1996. Análisis del Otate (*Bambusa vulgaris*) como material estructural. Tesis de maestría. Facultad de Arquitectura UNAM.
- Peschard, E. 1992. “Resistencia de materiales”, México, UNAM.
- Reglamento de construcciones para el Distrito Federal, México. 2005. Edit. Trillas. 2005.
- Rémi, S. Diccionario de la lengua náhuatl o mexicana. Edit. Siglo XXI (1997).
- San Martín Córdova I., Cejudo Collera M. 2012. Teoría e Historia de la Arquitectura, pensar, hacer y conservar la arquitectura. Edit. Facultad de Arquitectura, UNAM. México.

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA Y ESTADO DEL ARTE DE LA CADENA DE LA GUADUA (2002-2012)

Nohelia Mejía Gallón^a, Jairo Augusto Caro Mejía^b

^a Corporación Ecocalidad Empresarial. ecocalidad05@gmail.com

^b Corporación Ecocalidad Empresarial. jairocaro@gmail.com

Palabras clave: *Guadua angustifolia*, revisión bibliográfica, acuerdo de competitividad, cadena de valor, Eje Cafetero.

Resumen

En 2005, la cadena productiva de la guadua y su acuerdo de competitividad fueron reconocidos ante el Ministerio de Agricultura. Este hito facilitó el acceso de instituciones, empresas y productores a los instrumentos de política para el desarrollo del sector. Entre 2003 y 2012 se presentaron avances técnicos y científicos. El estudio registró 420 publicaciones obtenidas a partir de investigaciones, estudios y/o proyectos y analiza el estado del arte en los eslabones de la cadena para conocer su estado actual, con miras del nuevo acuerdo de competitividad para el periodo 2013-2023.

Abstract

The Guadua Bamboo productive chain and its competitiveness agreement were recognized by the National Ministry of Agriculture in 2005. This milestone facilitated the access of institutions, companies and producers to political instruments for the development of the sector. Between 2003 and 2012 many technical and scientific improvements were presented. The study recorded 420 publications from researches, technical studies, and projects, and analyzes the state of art of the links of the productive chain envisioning the new agreement of competitiveness for the period 2013-2023.

Introducción

En 2005, el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural elevó la guadua al estatus de cadena productiva con acuerdo de competitividad, reconocimiento que facilitó el acceso a los instrumentos de política para el desarrollo de este sector por parte de instituciones, empresas y productores. La necesidad de actualizar el acuerdo de competitividad de la cadena productiva de la guadua, para el período 2013-2023, supone reconocer en dónde se encuentra la cadena hoy, cuál ha sido el camino recorrido y hacia dónde se deben dirigir los esfuerzos.

El presente trabajo constituye la síntesis de un estudio realizado para la CARDER entre diciembre de 2012 y abril de 2013, con el propósito de conocer el estado del arte de la cadena de la guadua en el Eje Cafetero entre 2010-2012. Teniendo en cuenta la caracterización de la cadena realizada en 2003, la Corporación Ecocalidad Empresarial financió el costo de recolección y análisis de información del período 2003-2009 que permitiese conocer la evolución en su primera década de operaciones y el estado del arte a 2012.

1 Metodología

1.1 Revisión bibliográfica

Se definieron temas que facilitaron la organización, consulta y análisis de la documentación (ver tabla 1). Los títulos y la principal información bibliográfica de los documentos fueron compilados y editados con el software Mendeley. Se citaron utilizando el estilo de referencia APA 6a edición. La base de datos puede ser consultada a través de la página web de Mendeley, grupo: “Investigaciones de la cadena de la guadua en Colombia 2002-2012”¹. Los temas y subtemas empleados en la clasificación son los siguientes:

1.2 Estado del arte

Para efectos del presente estudio, se tomaron los resultados de los proyectos que fueron ejecutados con recursos del MADR, de Colciencias y/o de cooperación internacional en el período 2003-2012 cuyos objetivos respondieran a las necesidades identificadas en el acuerdo de competitividad y en la agenda de investigación con énfasis en la región Eje Cafetero y Valle del Cauca, y que hubiesen generado resultados aplicables en el sector productivo. Para analizar los proyectos, se agruparon en tres categorías:

- i) Proyectos ejecutados dentro del sistema de ciencia y tecnología que generaron resultados tecnológicos aplicables al desarrollo e innovación o mejoramiento tecnológico en procesos productivos;
- ii) Proyectos de desarrollo ejecutados con apoyo de la cooperación nacional e internacional que generaron fortalecimiento del sector productivo y de la institucionalidad;
- iii) Estudios realizados bajo la modalidad de proyectos con financiación nacional o internacional que dejaron recomendaciones al sector para el mejoramiento de la competitividad de la cadena en aspectos de mercado, gestión de la cadena, organización y visión del sector.

¹<http://www.mendeley.com/groups/3085871/investigaciones-cadena-productiva-de-la-guadua-2002-2012-en-colombia/>

Tabla 1. Temas y subtemas para la organizar la información bibliográfica

Tema	Subtemas
	Silvicultura
	Gobernanza
	Certificación forestal voluntaria
<i>Producción primaria</i>	Condiciones de calidad del material en función del sitio y uso final
	Manejo de la guadua como recurso forestal
	Genética
	Taxonomía
<i>Biotecnología</i>	Propagación in vitro
	Biotecnología para el sector forestal
	Corredores ribereños
	Biodiversidad
<i>Bienes y servicios ambientales</i>	Bioingeniería
	Sistemas de tratamiento de aguas
	Cambio climático
	Pago por servicios ambientales
<i>Poscosecha</i>	Preservación
<i>Artesanías</i>	Secado
	Arquitectura en guadua
	Bahareque y sismorresistencia
<i>Construcción</i>	Propiedades mecánicas de la guadua
	Laminados
	Fibras y materiales compuestos
	Puentes
	Alimentos y nutrición
	Carbón activado
<i>Subproductos de guadua y otras aplicaciones</i>	Industria farmacéutica
	Vinagre de guadua
	Vainillina
	Platos desechables
	Pellets para torrefacción
	Cadena productiva de la guadua
	Análisis del mercado
	Análisis de sostenibilidad
<i>Gestión</i>	Núcleos forestales y centros de procesamiento primario
	Tema sociales, históricos y culturales
	Propiedad intelectual
	Semilleros de investigación.
	Norma unificada de la guadua
<i>Normalización e instrumentos de política</i>	Normas de competencia laboral
	Icontec CTN 178
	Manuales de construcciones sismorresistentes
	Certificación forestal voluntaria

2 Resultados

2.1 Revisión bibliográfica

Se registraron 420 publicaciones en el período 2002-2012 (Figura 1). En el año 2012 se observa un descenso en publicaciones en todos los temas con respecto a los años 2010 y 2011, situación que se explica en la medida en que en 2011 concluyeron la mayor parte de los proyectos de investigación.



Figura 1. Total de publicaciones revisadas entre 2002 y 2012. Fuente: Caro y Mejía (2013)

En cuanto a las publicaciones por grupos de temas y subtemas se observa que la construcción con guadua es el grupo con mayor porcentaje de publicaciones por subtemas, seguido por la normalización, servicios ambientales, subproductos y silvicultura (Figura 2).

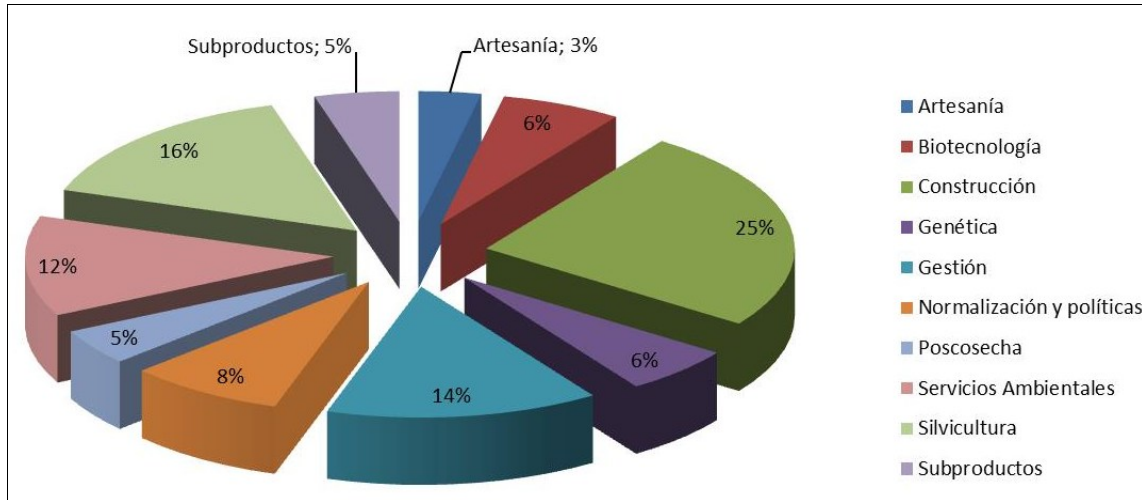


Figura 2. Porcentaje de publicaciones 2002-2012 por temas y subtemas. Fuente: Caro y Mejía (2013)

2.2 Estado del arte

2.2.1 Proyectos ejecutados en el período 2003-2012

Los proyectos relacionados con ciencia y tecnología que fueron ejecutados por la comunidad científica correspondieron con las demandas de la agenda de investigación de 2004, dejando una base tecnológica importante para que las empresas mejoren la competitividad. No obstante, la mayor parte de la tecnología no se ha llevado a la práctica empresarial porque las empresas de la cadena tienen baja capacidad de inversión para asumir los costos de la nueva tecnología. En cuanto a los proyectos de desarrollo financiados con aportes de cooperación internacional y recursos públicos, el mayor impacto lo generó la certificación forestal voluntaria de los estándares FSC para Colombia y la certificación de 47.5 Ha de guadua en Quindío y Risaralda. En esta misma categoría, se destacan los desarrollos de maquinaria y de procesos para preindustrialización de la guadua en centros de procesamiento de productos intermedios y la innovación a partir de subproductos de la guadua en productos cosméticos llevado a nivel de pruebas comerciales para la industria farmacéutica y diferentes avances de investigación para la industria. El proyecto de promoción e innovación para la guadua gestionado por la cadena productiva y financiado por la cooperación internacional y aportes de recursos públicos, cuya ejecución estuvo a cargo de un organismo privado, se formuló con el propósito de instalar la capacidad básica para el desarrollo industrial de la guadua en la región del Eje Cafetero. Los resultados de dicho proyecto frente a la magnitud de los recursos que fueron movilizados no reflejan beneficios directos para el sector de la guadua en la región.

2.2.2 Desempeño técnico y económico de la cadena

Se concretaron tres líneas de negocios para el sector, a partir de talleres realizados en 2011 con investigadores y empresarios para construir la segunda agenda de investigación en guadua. A saber: i) sistemas constructivos y carpintería con guadua; ii) bioingeniería y Servicios ambientales; iii) uso de subproductos para la industria farmacéutica, cosmética, medicinal y alimenticia y otros. Se revisó el desempeño técnico y económico de la cadena, utilizando cifras y aspectos que evidenciaran evolución, oportunidades para la cadena en el sistema nacional de competitividad y el aporte de la cadena de la guadua como recurso agropecuario y ambiental en la transformación productiva del país. Se buscaron estadísticas e información para analizar la evolución empresarial e institucional en la región del estudio que sustentaran análisis, pero no fue posible por lo que se acudió a información de proyectos, talleres realizados con empresas, estudios, informes y otros documentos que aportaran luces para documentar los sectores, cadenas de valor, productos con mercado, tecnología disponible, alianzas para investigación y capacitación, y empresas e instituciones trabajando en la región Eje Cafetero y Valle del Cauca. Con la información disponible, más los estudios de mercado, muestran oportunidades de comercio para la guadua en las tres líneas de negocio. Se construyó una matriz (Tabla 2) en la que se relacionan los sectores y cadenas de valor con mercado, innovación, alianzas y concentración de empresas e instituciones, trabajando en temas de guadua que permite visualizar en qué sectores se concentra el desempeño técnico, empresarial e institucional y de las alianzas Universidad – Empresa - Estado en los tres departamentos de la región Eje Cafetero y el Valle del Cauca. La información muestra que en la cadena de valor de vivienda se conjugan las mayores fortalezas en los cuatro departamentos y se concentra buena parte de las alianzas Universidad - Empresa – Estado.

Conclusiones y recomendaciones

El estado del arte de la cadena, en el periodo 2003-2012, indica que los productos de guadua pueden lograr una participación significativa y creciente en mercados internacionales, para lo cual, es necesario desarrollar un esfuerzo conjunto entre el sector productivo, el estado y la academia. Los lineamientos generales se esbozan así:

La guadua presenta cadenas de valor con oportunidades de mercado; corresponde a la cadena brindar acompañamiento a los empresarios para estudiar los requisitos y normas técnicas, ambientales y sociales que deben cumplirse según las regulaciones nacionales o internacionales y los acuerdos comerciales firmados en el marco de los TLC. Es importante que el sector productivo organice el sistema de suministro capaz de satisfacer la demanda de compradores nacionales e internacionales, en términos de volúmenes, continuidad y profundidad de gama; establezca la estructura logística desde los procesos primarios hasta la colocación del producto final en los centros de consumo y defina estructuras de costos y márgenes en la cadena de valor para los diferentes negocios. El sector productivo necesita el acompañamiento sostenido del gobierno con políticas nacionales, departamentales y locales que favorezcan la internacionalización. Por parte de las instituciones se hace necesaria la implementación de estrategias que incentiven a los propietarios apropiarse del negocio integrando la guadua al sistema productivo; apoyo para la consolidación de los procesos industriales que generen valor

Tabla 2. Elementos de desempeño en función de sectores, cadenas de valor, mercado, innovación, alianzas y concentración de empresas e instituciones

Sector	Cadena de valor	Mercado		Innovación		Alianzas universidad empresa		Concentración de empresas e instituciones trabajando en el sector							
		Internacional	Nacional	Nuevos productos	Nuevos procesos	SI	NO	Caldas		Quindío		Risaralda		Valle del Cauca	
								Emp	Inst	Emp	Inst	Emp	Inst	Emp	Inst
Construcción con guadua rolliza y laminada	Vivienda	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx		xxx	x	xxx	x	xxx	x	xxx	xxx
	Muebles	xxx	x				x			xx		xxx		xxx	
	Accesorios y artesanías	x	x	x	x		x	x	x	x	x	x	x	x	x
Cosméticos, farmacéuticos y medicinales de subproductos de guadua	Antisolares de extracto de vinagre de guadua	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx									
	Champú de extracto de hojas de guadua	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx									
	Carbón activado	xxx	xxx	xxx		x									
Bienes y servicios ambientales y bioingeniería	Envases desechables			xxx											
	Captura de CO ₂	xxx			xxx				xxx						
	Bioingeniería		xxx		xxx					xxx	xxx			xxx	xxx
	Protección de la biodiversidad								xxx		xxx		xxx		xxx
	Ecoturismo	xxx	xxx		xxx			xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx

Convenciones: xxx= alto xx= medio x= bajo

Fuente: Nohelia Mejía

agregado y escalas de producción para mercados nacionales y globales y a fomentar la participación de productores y empresarios en ferias comerciales. La academia tiene el compromiso de investigar, transferir la tecnología y promover la innovación en desarrollo de productos, procesos y servicios con los estándares de calidad requeridos por el mercado; y mantener actualizado el análisis de la legislación y de los requisitos técnicos, ambientales y sociales que rigen para colocar productos de Guadua en nichos de mercado.

Referencias bibliográficas

- Caro, J. y N. Mejía (2013). *Revisión bibliográfica de la cadena productiva de la guadua en Colombia (2002-2012)*. Anexo. Pag 1-62. En Mejía y Moreno (2013) Estado del arte de la cadena de la guadua en Colombia 2003-2012. CARDER. MinAmbiente. p. 106
- Mejía, N. y R. Moreno (2013) *Estado del arte de la cadena de la guadua en Colombia 2003-2012. Bases para la visión prospectiva del nuevo acuerdo de competitividad del Eje Cafetero y Valle del Cauca*. CARDER. MinAmbiente. p. 106

ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA GUADUA ANGUSTIFOLIA MEDIANTE TÉCNICAS ESTADÍSTICAS Y REDES NEURONALES

Javier Mauricio Rojas Alvarado ^a, Juan Lizarazo-Marriaga ^a

^a Universidad Nacional de Colombia. Carrera 45 #26-85. Bogotá, Colombia. jmrojasa@unal.edu.co

^a Universidad Nacional de Colombia. Carrera 45 #26-85. Bogotá, Colombia. jmlizarazom@unal.edu.co

Palabras clave: Guadua angustifolia, propiedades físicas, propiedades mecánicas, inteligencia artificial, redes neuronales artificiales

Resumen

En este trabajo se estudiaron las propiedades físicas y mecánicas de la Guadua Angustifolia mediante análisis estadístico y técnicas de inteligencia artificial, con el fin de obtener modelos de predicción para determinar los valores medios de resistencia del material ante diferentes sollicitaciones. Se desarrollaron modelos a partir de las siguientes técnicas: redes neuronales artificiales, lógica difusa y Sistema de inferencia neuronal difuso adaptativo, *ANFIS*, siendo esta última mediante en la cual se obtuvieron resultados satisfactorios. Como resultado de la investigación se obtuvieron modelos que predicen con suficiente aproximación algunas de las propiedades mecánicas de la Guadua Angustifolia.

Abstract

In this paper the physical and mechanical properties of Guadua Angustifolia were studied by statistical analysis and artificial intelligence techniques in order to obtain predictive models to determine the mean strength of the material under different load conditions.

Models were developed with the following techniques: Artificial Neural Networks, Fuzzy Logic, and Adaptive Neuro Fuzzy Inference System. The last technique showed better results, in which the proposed models were suitable to predict the mechanical properties of Guadua Angustifolia with enough approximation.

Introducción

El bambú y en especial la guadua, en los lugares donde crece de manera natural, se ha empleado por muchos años como material estructural y en diferentes aplicaciones constructivas; no obstante, la mayor parte del desarrollo se ha dado especialmente a partir de una tradición oral y artesanal y aún no cuenta con el desarrollo científico e investigativo suficiente para darle un tratamiento estructural con el mismo nivel de confiabilidad de la madera (González L. O., 2006).

Una restricción para el desarrollo del bambú como material de construcción es la falta de datos experimentales sobre las propiedades de ingeniería del material (Yu, Chung, & Chan, 2003). Al respecto, en este artículo se presentan los resultados de una investigación encaminada a obtener modelos de predicción de las propiedades mecánicas de la guadua, a partir de análisis estadístico e inteligencia artificial.

3 Caracterización mecánica experimental de la guadua

Morfológicamente, la guadua angustifolia está compuesta por raíz, tallo, hojas, flores y frutos, sin embargo, es el tallo, y particularmente el culmo el que es empleado para aplicaciones estructurales. El culmo es una especie de cilindro hueco en el cual se distinguen 3 partes: la cepa, la basa y la sobrebasa (Figura 1), cada una de las cuales a su vez se encuentra dividida en segmentos o entrenudos de entre 10 y 15 cm. de altura, separados por diafragmas (nudos).

Las propiedades físicas y mecánicas de la guadua, están determinadas por un número muy amplio de variables entre las que se encuentran la edad, el suelo, la ubicación geográfica, la humedad relativa, la temperatura y el nivel de precipitación, entre otras, lo que produce una altísima variabilidad que dificulta su normalización y afecta la industrialización y utilización del material en la construcción.

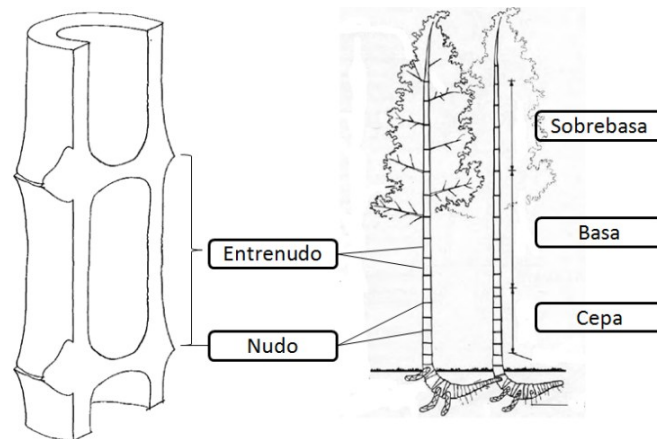


Figura 1. Partes de un culmo de guadua

Con el fin de determinar la influencia de diferentes parámetros en las propiedades mecánicas de la guadua angustifolia se estableció en este trabajo una metodología que incluye la recopilación de una base de datos suficientemente amplia de ensayos de laboratorio, los cuales fueron obtenidos durante la elaboración del proyecto llevado a cabo por el grupo de investigación en estructuras de la Universidad Nacional de Colombia (GIES y Grupo de Investigación en Madera y Guadua, 2010), con recursos del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural de Colombia, en el que se llevaron a cabo ensayos de compresión paralela a la fibra, compresión perpendicular a la fibra, flexión, tensión paralela a la fibra y torsión, así como ensayos para determinar el contenido de humedad, la densidad y el módulo de elasticidad de las probetas.

4 Análisis Estadístico

El análisis estadístico de los datos para cada una de las propiedades evaluadas se realizó de tres formas. Primero se consideraron todas las muestras en general; segundo, se agruparon de acuerdo con su ubicación geográfica en el país (Quindío, Cundinamarca y Valle del Cauca); y tercero, se agruparon por su posición dentro del culmo (cepa, basa y sobrebasa), para determinar la influencia de estas características en la resistencia del material. El análisis estadístico consistió en la obtención de medidas de tendencia central y de dispersión. Se realizaron también pruebas de normalidad y homogeneidad de varianzas como supuestos fundamentales para la elaboración del análisis de varianza ANOVA (Turner & Thayer, 2001).

En la Tabla 1 se muestra un resumen de los resultados estadísticos obtenidos y en la Figura 2, la relación entre la compresión paralela a la fibra y otras propiedades mecánicas ensayadas, a partir de un análisis de regresión lineal simple. La baja correlación entre variables es debida a diversas causas, entre ellas la variabilidad de las propiedades mecánicas de la guadua por tratarse de un material natural, afectado por un sinnúmero de factores que influyen de manera directa tanto sus características físicas como su resistencia ante las diferentes sollicitaciones. El presente trabajo de investigación se basó justamente en el conocimiento a priori de la no linealidad en el comportamiento de la guadua angustifolia, el cual impide obtener resultados satisfactorios mediante análisis convencionales.

Los métodos de inteligencia artificial utilizados en la modelación de problemas físicos han demostrado tener un buen comportamiento cuando se aplican a todo tipo de problemas con componentes no lineales y estocásticos, por lo cual se buscó determinar mediante estas técnicas, posibles correlaciones entre las propiedades físicas y mecánicas de la guadua angustifolia.

Tabla 1. Resumen de resultados estadísticos

	Compresión paralela a la fibra	Compresión perpendicular a la fibra	Cortante	Tensión	Flexión
Número de datos	227	153	263	226	89
Resistencia promedio (MPa)	32,31	6,78	5,97	62,27	69,07
Desviación estándar (MPa)	7,54	3,17	1,55	14,02	22,09
Coefficiente de variación (%)	23,3	46,8	26,0	22,5	32,0
Normalidad de los datos	Si (Sig=0,21)	Si (Sig=0,50)	Si (Sig=0,12)	Si (Sig=0,84)	Si (Sig=0,20)
Homogeneidad de varianzas por ubicación geográfica	No (Sig=0,001)	Si (Sig=0,066)	Si (Sig=0,08)	No (Sig=0,04)	Si (Sig=0,33)
Homogeneidad de varianzas por localización en el culmo	Si (Sig=0,171)	Si (Sig=0,559)	No (Sig=0,00)	No (Sig=0,02)	No (Sig=0,43)
Influencia de la ubicación geográfica	No (Sig=0,573)	Si (Sig=0,000)	Si (Sig=0,00)	Si (Sig=0,00)	No (Sig=0,72)
Influencia de la localización en el culmo	Si (Sig=0,000)	Si (Sig=0,019)	No (Sig=0,13)	No (Sig=0,78)	No (Sig=0,76)

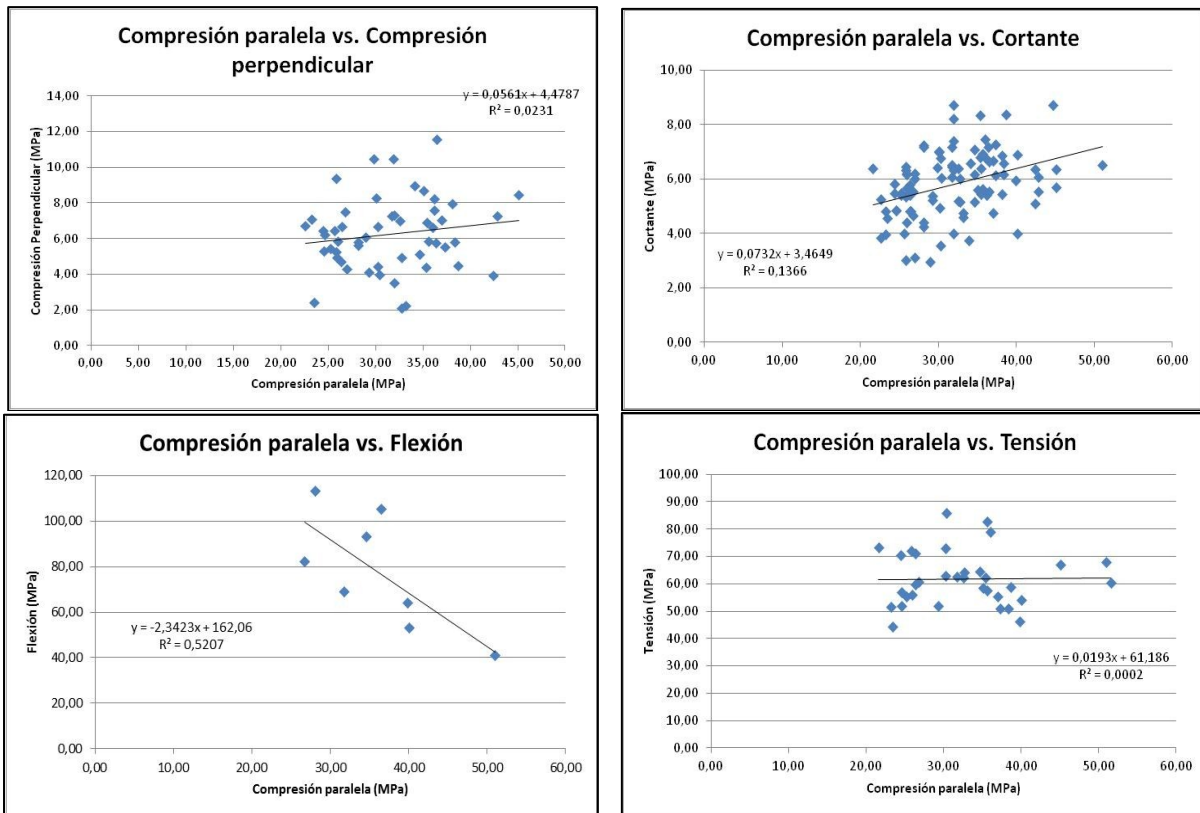


Figura 2. Relación entre la compresión paralela a la fibra y otras propiedades mecánicas ensayadas.

5 Redes Neuronales Artificiales

Las redes neuronales artificiales son uno de los métodos de inteligencia artificial más aplicados y consisten en modelos computacionales que por su arquitectura imitan el comportamiento del cerebro, con un número limitado de elementos interconectados entre sí (neuronas), distribuidos en una capa de entrada, una o más capas ocultas y una capa de salida. Las capas y las neuronas están interconectadas, como se muestra en la Figura 3 (Lizarazo, 2007).

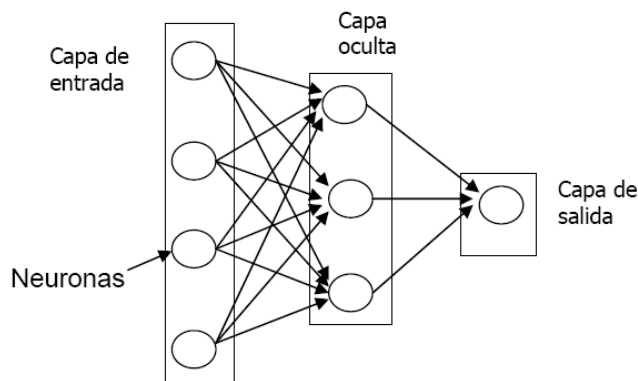


Figura 3. Esquema red neuronal artificial (RNA)

Se establecieron modelos simples de RNA para establecer relaciones más confiables y precisas entre los diferentes parámetros bajo análisis, relacionando una a una las variables. Se determinó de esta manera que los coeficientes de correlación son significativamente superiores a los que arrojan los valores experimentales, siendo además susceptibles de ser optimizados mediante la elaboración de regresiones de tipo no lineal. En la Figura 4 se muestra como ejemplo, el resultado para uno de los modelos elaborados a partir de la base de datos de resistencia a la compresión paralela a la fibra.

Aunque los modelos presentan coeficientes de regresión aceptables, los valores simulados a partir de los mismos no muestran una tendencia real con relación a los datos experimentales, y por tanto se concluye que existe una baja confiabilidad de los resultados obtenidos. Debido a esta falla de los modelos de redes neuronales, los cuales fueron elaborados empleando una variedad de configuraciones, se vio la necesidad de establecer modelos teóricos iniciales más profundos y modelos de predicción más refinados.

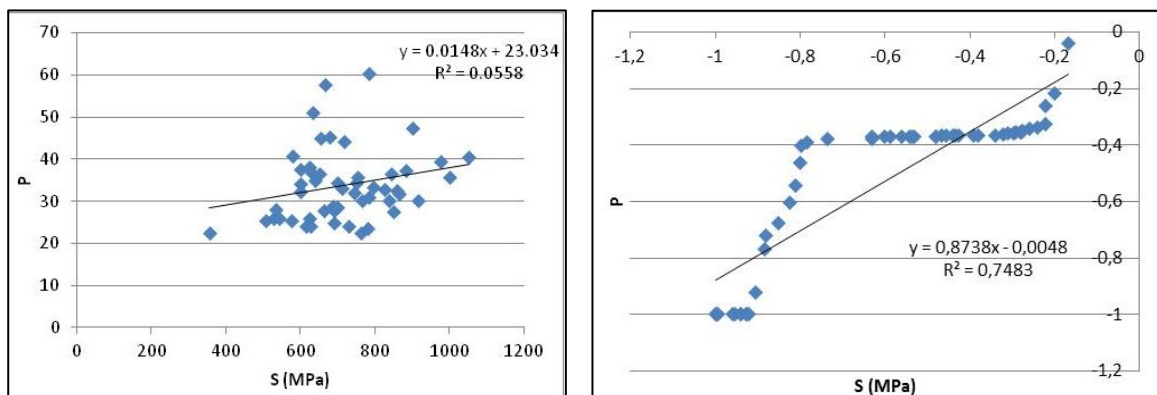


Figura 4. Modelo de redes neuronales: Densidad – Resistencia a la compresión paralela a la fibra

6 Lógica Difusa y Adaptive Neuro Fuzzy Inference System (ANFIS)

Con base en la posible relación entre variables, identificada mediante los análisis estadísticos previos, y debido a las altas variaciones encontradas en los ensayos, así como la baja precisión obtenida mediante los modelos de redes neuronales, se utilizó la lógica difusa y el *ANFIS*.

La lógica difusa es una técnica que incorpora una regla simple basada en un enfoque “Si *X* y *Y* entonces *Z*” para resolver problemas, en lugar de intentar modelar el problema matemáticamente. La base de la lógica difusa es la comunicación humana, consistente en crear un campo de entrada y un campo de salida, donde el mecanismo primario es crear una lista de condiciones o reglas, las cuales son evaluadas de forma simultánea y se refieren a variables y adjetivos que describen dichas variables (Ross, 2010).

Se elaboró un modelo de lógica difusa para los datos de resistencia a la compresión paralela a la fibra, buscando predecir el valor de la resistencia a partir del contenido de humedad (Figura 5).

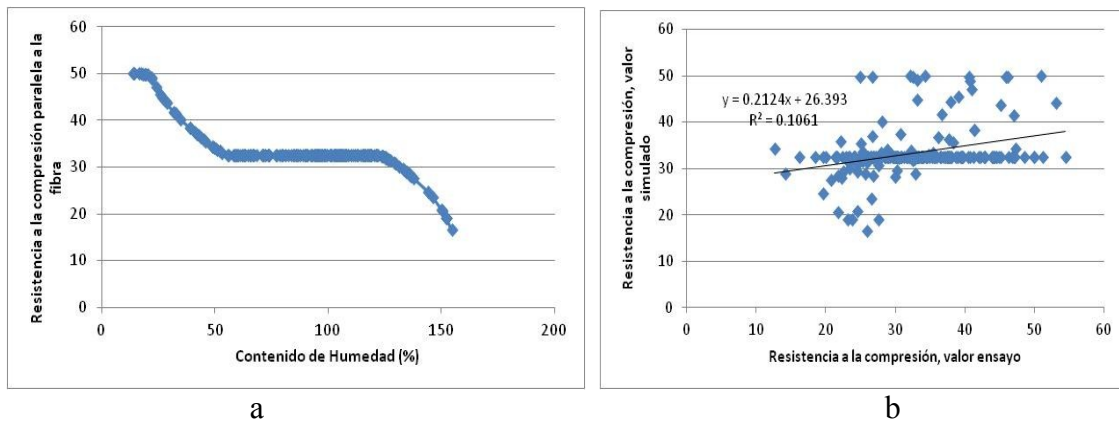


Figura 5. Modelo de lógica difusa, Contenido de humedad vs. Resistencia a la compresión paralela a) Resultados del modelo b) Valores reales vs. Valores simulados

La diferencia significativa entre los valores reales y los simulados, permite determinar que los modelos obtenidos mediante esta técnica no son adecuados, a menos que se conociera con mayor detalle la influencia del contenido de humedad en la resistencia. La imprecisión del modelo se produce debido a la dificultad para establecer las reglas que requieren de un conocimiento previo importante del problema específico, de manera que se ajusten con mayor exactitud a los valores experimentales. Mediante el uso de la técnica conocida como Sistema de Inferencia Neuronal Difuso Adaptativo, o en inglés, Adaptive Neuro Fuzzy Inference System, ANFIS, es posible corregir esta limitante.

ANFIS es una red neuronal en la que los nodos y los vínculos se encuentran asociados a reglas de aprendizaje. Se denomina adaptable debido a que algunos, o todos, los nodos de la red tienen parámetros que afectan al nodo de salida. La arquitectura básica de un modelo ANFIS con dos variables de salida se muestra en la Figura 6.

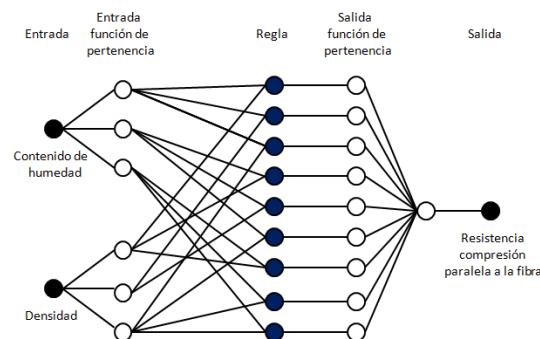


Figura 6. Estructura de la red con dos variables de entrada

Se desarrollaron modelos mediante esta técnica para las posibles relaciones existentes entre las variables en estudio. Entre todas las configuraciones, se eligieron aquellas que presentaron el menor error tras el entrenamiento de la red. La figura 7 presenta los modelos que arrojaron mejores resultados y que podrían ser empleados en aplicaciones prácticas, siempre y cuando sean manejados con suficiente criterio.

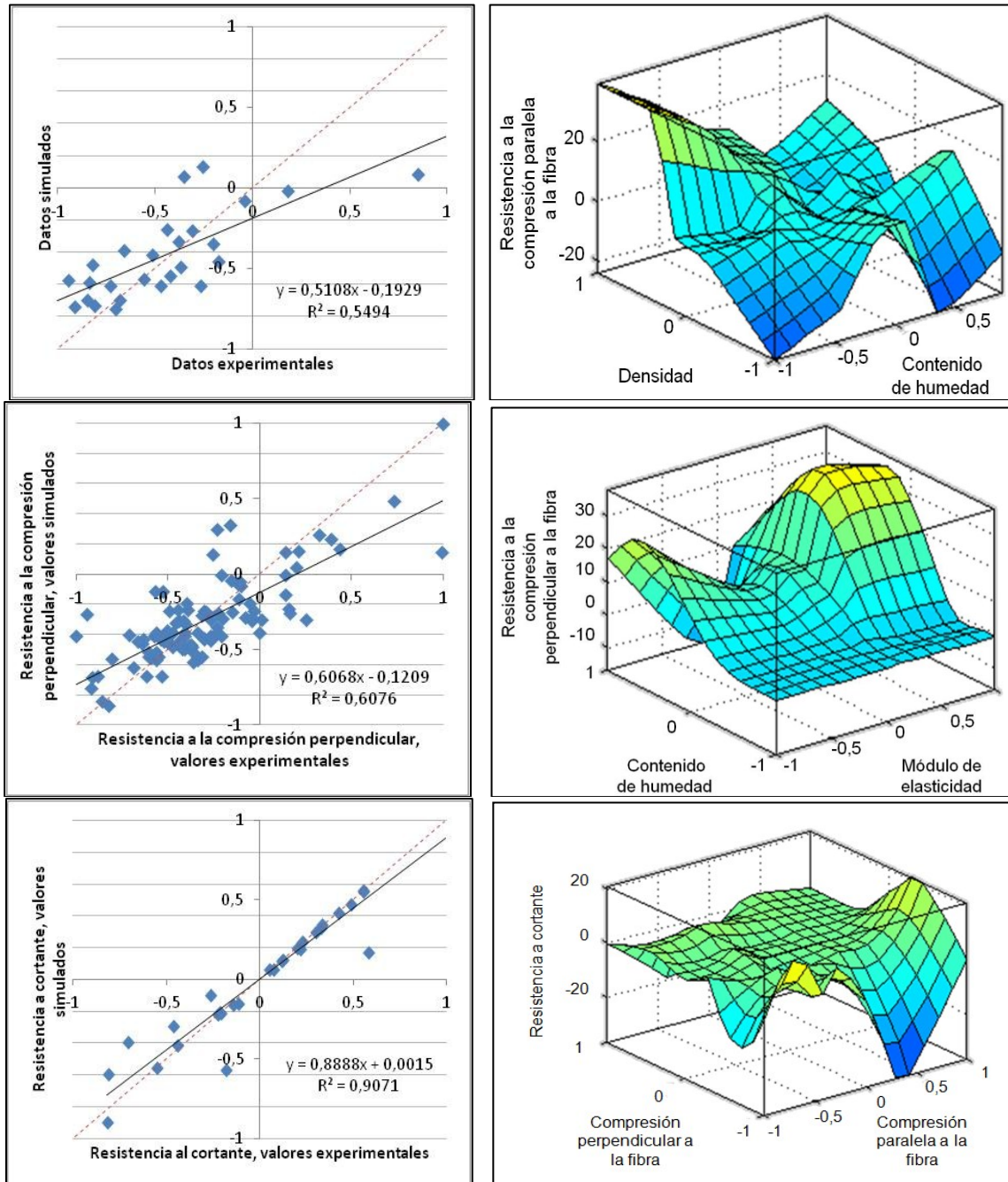


Figura 7. Modelos ANFIS. a) Resistencia a la compresión paralela a partir del contenido de humedad y la densidad. b) Resistencia a la compresión perpendicular a partir del contenido de humedad y el módulo de elasticidad. c) Resistencia al corte a partir de la resistencia a la compresión paralela y perpendicular a la fibra

Conclusiones

- Los resultados de los ensayos para definir las propiedades físicas y mecánicas de la guadua angustifolia, presentan una altísima variabilidad y dispersión debido tanto al gran número de parámetros que intervienen en ellas, como al error inherente a la ejecución de los ensayos mismos.
- Mediante análisis estadísticos se determinó que la resistencia a las diferentes sollicitaciones de la guadua angustifolia está relacionada con sus propiedades físicas, sin embargo no es sencillo determinar la influencia independiente de cada una de ellas.
- La ubicación geográfica y la localización en el culmo tiene influencia en algunas de las propiedades mecánicas de la guadua angustifolia.
- En general, los modelos generados a partir de redes neuronales artificiales presentan mejores resultados que los obtenidos mediante técnicas estadísticas básicas, sin embargo no son lo suficientemente confiables como para predecir las propiedades mecánicas de la guadua.
- La lógica difusa es un buen método para el desarrollo de modelos de predicción cuando se conocen con suficiente certeza las funciones de pertenencia y las reglas asociadas a las variables de entrada y de salida.
- Los modelos desarrollados mediante ANFIS para dos variables de entrada y una de salida, presentan los mejores resultados entre todos los modelos desarrollados y en la práctica podrían ser empleados para determinar con suficiente grado de aproximación la resistencia de la guadua a diferentes sollicitaciones.

Referencias bibliográficas

- GIES y Grupo de Investigación en Madera y Guadua. 2010. *Validación de la guadua angustifolia como material estructural para diseño, por el método de los esfuerzos admisibles*. Bogotá.
- González, L. O. 2006. Elementos para la caracterización mecánica de la guadua Angustifolia Kunth. *Revista Virtual Forestal*.
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas. 2007. *Métodos de ensayo para determinar las propiedades físicas y mecánicas de la Guadua Angustifolia Kunth (NTC5525)*. Bogotá: ICONTEC.
- International Organization for Standardization. 2001. *Bamboo Structural Design - ISO 22156*.
- International Organization of Standardization. 2001. *Laboratory manual on testing methods for determination of physical and mechanical properties of bamboo*.
- Janssen, J. 1980. *The Mechanical Properties of Bamboo Used in Construction*. Ottawa.
- Lizarazo, J. 2007. Desarrollo de un modelo de redes neuronales artificiales para predecir la resistencia a la compresión y la resistividad eléctrica del concreto. *Ingeniería e Investigación*.
- Osorio, J., Vélez, J., & Ciro, H. 2007. Estructura interna de la Guadua y su Incidencia en la Propiedades Mecánicas. *Dyna*, Vol. 74, Núm 153, pp. 81-94.
- Ross, T. 2010. *Fuzzy Logic with Engineering Applications*. Chichester, Inglaterra: Wiley.

- Salas, E. 2006. *Actualidad y Futuro de la Arquitectura de Bambú en Colombia*. Barcelona: Universidad Politécnica de Cataluña.
- Takeuchi, C. 2004. Comportamiento Estructural de la Guadua Angustifolia. Uniones en Guadua. *Ingeniería e Investigación* 5(1), 3-7.
- Turner, J., & Thayer, J. 2001. *Introduction to analysis of variance*. Londres: Sage Publications.
- Yu, W., Chung, K., & Chan, S. 2003. Column Buckling of Structural Bamboo. *Engineering Structures*.

INTEGRACIÓN DE LA CADENA AGRO-INDUSTRIAL EN LA ZONA CENTRO SUR DE MÉXICO.

Arturo Aguilar Arai

Bambuaraí

Palabras clave: Cadena, Agro-Industrial, México.

Resumen

La integración de la cadena agro-industrial del bambú en la zona centro - sur de México comenzó en 2006 con la colaboración de los productores con organismos de apoyo rural y el gobierno tanto federal como estatal, pero no fue sino hasta 2008 que se comenzaron a realizar esfuerzos por llevarla a cabo de manera sustentable a fin de poder llegar a la etapa de transformación, con el objetivo de generar una industria formal, con la capacidad de llevar a México al panorama mundial del bambú.

Abstract

The integration of the agro-industrial chain of bamboo in the central - south of Mexico began in 2006 with the collaboration of producers organizations rural support and federal and state government, but it was not until 2008 that they began to make efforts to carry it out in a sustainable manner in order to reach the stage of transformation, with the aim of generating a formal industry, with the ability to take on the world map of Mexico bamboo.

Introducción

México cuenta actualmente con todas las condiciones necesarias para tener una industria sustentable y potencialmente fuerte en cuanto a bambú se refiere; Ya que se cuenta con las condiciones geográficas, biológicas, económicas y políticas necesarias para detonarla.

El siguiente artículo hace referencia, desde el punto de vista empresarial del proceso de conjugación de los factores de los cuales depende la integración de la industria de transformación del bambú, en el apartado de maderación para fabricar tableros y paneles, a la actividad comercial de la economía mexicana sustentable.

Si bien se trata de un material que en Estados Unidos, Canadá, Europa, Asia y Centro América cuenta ya con buenos niveles de conocimiento y aceptación, en México ha resultado un tanto ajeno a gran parte de la población, quedando en el apartado de artesanías y planta de ornato, lo que generó un retraso en la creación de una industria formal; Sin embargo, gracias principalmente a la globalización y al empuje que diversas instituciones e investigadores le han dado al bambú, en los últimos años se ha generado un interés en la población por conocer más de los usos y aplicaciones que se pueden obtener.

Este nuevo interés ha generado una creciente demanda del bambú en muchas de sus presentaciones, principalmente en la industria de la construcción, que si bien es un factor positivo ha tenido que enfrentarse a diversos factores tanto económicos, como políticos y culturales con la finalidad de alcanzar los parámetros aceptables para convertirse en un producto agrícola, de cualidades financieras aceptables para productores, transformadores y consumidores; Y para lo

cual ha sido necesario integrar una cadena agro-industrial específica, la cual, hasta hace unos años era inexistente.

Antecedentes

En el año 2006, teniendo en cuenta dos factores claves:

1. El comportamiento del mercado mundial del bambú.
2. La necesidad de lograr un desarrollo económico rural en las sierras: Norte, Oriente, Negra y Mixteca.

Se inicia un programa para desarrollar una cadena agro-industrial del bambú de manera formal en el estado de Puebla, en donde ya se contaban con plantaciones silvestres de: *Guada Aculeata* (Criollo), *Otatea Acuminata Aztecorum* (Otate) y *Guadua Velutina* (Ocotate) las cuales no tenían un uso comercial, sino más bien su función era la de delimitar linderos y colindancias entre las fincas y ranchos de la región, en donde en algunos casos se le llegó a considerar como una plaga. Fue gracias a la colaboración de diversos organismos de gobierno y fundaciones privadas que se comienzan a desarrollar las bases de un agro-negocio basado en el cultivo de bambú, al que rápidamente se suman agricultores y empresarios con el objetivo de crear bambusales en sus tierras.

Posteriormente en 2008, ya con la integración de estados del sur como Oaxaca, Chiapas, Tabasco, Quintana Roo, Campeche y Veracruz, por la parte sur y al centro Puebla, Jalisco, Tamaulipas y Sinaloa (Estos dos últimos solo al sur de su territorio) se realiza un censo que nos refleja la existencia de 1,700 hectáreas de Bambú tanto en sus 15 especies endémicas: *Olmeca recta*, *Olmeca reflexa*, *Guadua velutina*, *Otatea acuminata aztecorum*; *Otatea fimbriata*, *Chusquea bilimekii*, *Chusquea circinata*, *Chusquea galeottiana*, *Chusquea glauca*, *Chusquea muelleri*, *Chusquea repens*, *Chusquea peotensis*, *Rhipidocladum martinezii*, *Aulonemia fulgor*, *Aulonemia clarckiae*; Así como especies introducidas como el *Oldhamii* y la *Guadua angustifolia*.

Por su parte Puebla cuenta con 5 especies nativas: *Guadua aculeata*; *Guadua amplexifolia*; *Otatea acuminata aztecorum*; *Otatea fimbriata* y *Chusquea glauca*.

De manera paralela a este censo, se define la necesidad de realizar investigación sobre silvicultura, manejo y aprovechamiento del bambú, la cual era casi inexistente, por lo que se realizan diversos viajes a Colombia, Costa Rica y China, con la finalidad de generar un acervo intelectual que pudiera generar la creación de plantaciones saludables y explotables, del mismo modo se hace la invitación a diversas personalidades del medio a ser partícipes de conferencias y congresos locales.

Durante los primeros años de integración de la cadena se crean plantaciones saludables, que comienzan a generar una industria de materiales de construcción, artesanías y productos alimenticios que comienzan a despertar el interés de la población en el uso y aprovechamiento del bambú, incluso de crea, al norte del estado de Puebla, un hotel ecológico que tiene como tema central el bambú, y que ha sido un punto de encuentro para empresarios, investigadores y todos aquellos interesados en el tema.

Caso de estudio “Rancho Paraíso”

Enclavado al norte del estado de Puebla, en el municipio de Ayotoxco, se encuentra el “Rancho el Paraíso” con una extensión de 1,100 hectáreas, en donde se desarrollan actividades agrícolas como la reproducción y la investigación ganadera, siembra de diversos cultivos propios de la región y que ha destinado cerca de 30 hectáreas a la construcción de un complejo eco-turístico que ha utilizado para la construcción de sus instalaciones la *Guada aculeata*, y en menor medida la *Guadua angustifolia*; El hotel cuenta con todas las comodidades imaginables, centro de convenciones, actividades de todo tipo; Sin embargo su importancia radica en la aportación a la educación ecológica que promueve; Se trata del primer y único rancho certificado como productor de carbón neutro, a través de la Bio-masa, genera sus propios combustibles y cuenta con un programa de plantaciones sustentables de bambú, el cual tiene como meta alcanzar las 400 hectáreas para 2016; Ahí se siembran especies maderables y comestibles, tanto endémicas como extranjeras; También se encuentra en el desarrollo de un *bambusetum* que albergará 40 especies y que será parte de un recorrido educacional, el cual incluirá visita a las plantaciones más grandes y los talleres de corte.

Actualmente es un sitio de reunión al que convergen empresarios e investigadores tanto nacionales como extranjeros, así como un sinfín de interesados en el tema ambiental, ya que es reflejo del potencial que puede ser el bambú como agro-negocio.

En el año 2010 se crea la iniciativa de aperturar un primer taller piloto de proceso industrial de bambú, en el municipio de Hueytamalco, Puebla, el cual comienza a operar en 2011 y que desafortunadamente cierra sus puertas en 2012 debido a una mala organización por parte de los accionistas. En ese momento queda definido que la cadena agro-industrial, no está completa aún, ya se contaba con el conocimiento en materia de silvicultura, los productores habían encontrado el primer paso de la comercialización que son principalmente los culmos tratados, los cuales venden a las pequeñas empresas pioneras de la construcción con bambú en México, y los talleres de artesanías, dejando otros usos y aplicaciones rezagados, por lo que no se continuó trabajando en la integración de los siguientes eslabones de la cadena.

En 2012, se genera un nuevo análisis del mercado internacional, en donde se detectan diversas áreas de oportunidad tanto en mercados extranjeros como en el local, siendo las principales:

1. Incremento de la demanda de bambú procesado.
2. Escases de maderas tradicionalmente utilizadas en la construcción.
3. Alto porcentaje de consumidores de productos sustentables y de bajo impacto ambiental.
4. Cantidad de bambú maderable en México.

Por lo que se retoma el trabajo de integración de la cadena, esta vez con una visión de negocios, que promueva la regularización y estandarización de todos los eslabones de la misma.

La cadena agro-industrial del bambú en México:

Esta nueva etapa en la cadena agro-industrial del bambú, es impulsada por una nueva ola de empresarios ajenos al campo, en búsqueda de nuevos productos y materias primas aún sin explotar en México, que encontramos en el bambú los elementos clave para detonar la industria: OFERTA Y DEMANDA; Y para hacerlo de manera efectivo era necesario:

1. Identificar los eslabones más débiles y mejorarlos hasta el punto óptimo.
2. Establecer nuevas redes de trabajo y de información que nos permitieran conocer a fondo todos los elementos de los procesos industriales que se tienen contemplados.
3. Buscar el respaldo de instituciones tanto privadas como de gobierno a fin de promover entre los agricultores el incremento de hectáreas sembradas y las condiciones de las mismas.
4. Definir los elementos faltantes en la cadena y llevarlos al punto de implementación efectiva.
5. Debido al alto costo que conlleva el instalar una fábrica de procesamiento de bambú, a escala industrial y capaz de competir con otros países productores, fue necesario buscar el apoyo del gobierno, para lo cual se tuvieron que realizar estudios de impacto económico, social y ambiental, a fin de justificar los beneficios que podría representar su apoyo.
6. Profundizar en la investigación del mercado, sobre todo en Estados Unidos, a fin de poder plantear un panorama comercial que nos permitiera establecer los parámetros de comercialización.
7. Establecer contacto con empresas dedicadas al comercio de maderas, con las que posteriormente se pudiera establecer una relación comercial.
8. Generar una estrategia comercial apta para el mercado local e internacional (Etapa actual).

Si bien la cadena que se ha desarrollado no es en su estructura muy diferente a las de otros productos agrícolas, su importancia radica en que se tuvo que integrar desde cero, paso por paso, trabajando en el desarrollo de cada uno de los aspectos, técnicos, financieros, legales y de viabilidad, para que hoy por hoy se integrará de la siguiente manera:

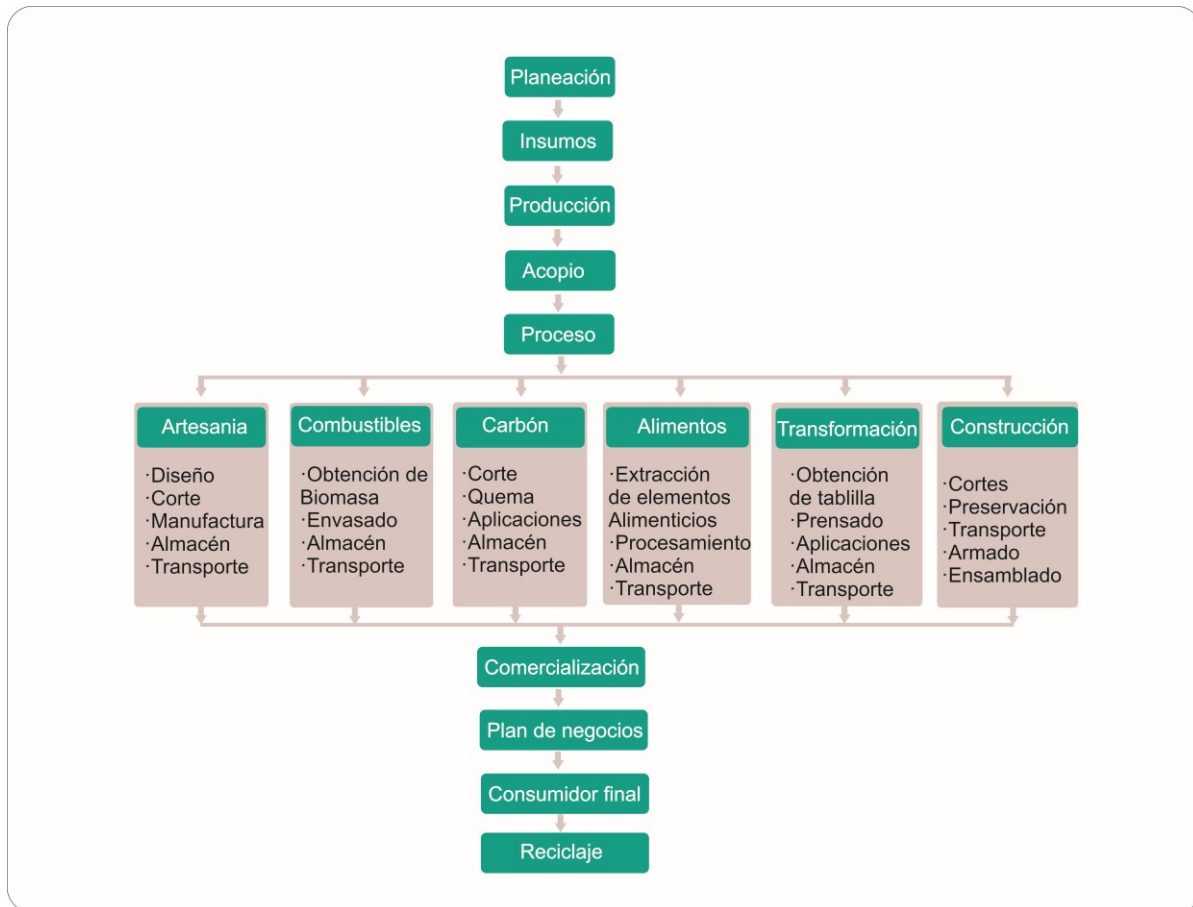


Figura 1. Integración general de la cadena agro-industrial del bambú en México.

Al ser de reciente creación y encontrarse en su primera fase de implementación, ira presentando variaciones a fin de ajustarse al comportamiento del mercado.

Es importante recalcar que esta cadena se ha planteado con el uso de dos especies no endémicas de México que son: la *Guadua angustifolia* y el *Oldhamii*, las cuales se han logrado reproducir de manera muy exitosa en el país, además de ser las especies que comúnmente se trabajan en Latinoamérica, por lo cual existe mayor información sobre sus posibles usos y los procesos de manejo que se deben de seguir para alcanzarlos.

El futuro de la cadena agro-industrial

Actualmente México se encuentra en el despertar de la industria del bambú a gran escala y comenzará a afrontar los retos propios de la industria: Estandarización de procesos, fijar estándares de calidad, explotar de manera correcta las plantaciones, diversificación de productos, establecimiento de posibles alianzas comerciales dentro y fuera del país; Afortunadamente, gracias a los años de investigación y la estrecha colaboración entre gobierno, productores y transformadores, se han generado las herramientas necesarias para superar los retos antes mencionados.

A la par del establecimiento formal de la cadena en todos sus niveles, se ha venido desarrollando la investigación necesaria para dar un valor agregado a la industria del bambú mexicano: **La utilización de las especies endémicas** como la *Guada aculeata* y la *Acuminata aztecorum* con

las cuales se planea realizar plantaciones comerciales, así como comenzar a desarrollar productos que las utilicen como materia prima, ya que por sus cualidades físicas y químicas pueden competir con las especies que comúnmente se ocupan en la elaboración de pisos, muebles y estructuras de soporte.

Se tiene calculado que el *boom* del bambú en México se de en no más de cinco años, y que se alcance a través de la inserción de las primeras fábricas transformadoras y la constante aparición de casos de éxito relacionados al tema de plantaciones y beneficiados directamente con esta industria, para lo cual, como se mencionó anteriormente se han comenzado a desarrollar plantaciones estratégicas que puedan comenzar una demanda creciente, así mismo ya existen programas de apoyo económico y técnico tanto a productores como transformadores.

Conclusiones

1. México cuenta con todos los elementos y recursos necesarios para generar una gran industria del bambú.
2. La integración total de la cadena solo ha sido posible gracias a la intervención del sector empresarial, el cual demanda procesos de calidad y abastecimiento constante.
3. La base del posible éxito depende de la colaboración del gobierno, los productores y los empresarios.
4. La correcta explotación de especies endémicas dará una clara ventaja sobre otros países productores de bambú.
5. En México, la industria del bambú llegó para quedarse.

VIABILIDAD ECONÓMICA Y SILVICULTURAL DEL BAMBÚ COMO GENERADOR DE BIOMASA PARA LA PRODUCCIÓN DE ENERGÍA BIORENOVABLE.

Hormilson Cruz Ríos. Bamboo Premier. México. direccion@bambuaguaduapremier.com

Palabras clave: Bambú, biomasa, pellets, coenergía, biorenovable

Resumen

El establecimiento de grandes plantaciones de bambú como productoras de materia prima para diferentes tipos de industrias, el establecimiento de una procesadora industrial productora de pellets de bambú generadores de energías bio-renovables y una planta de generación de energía eléctrica utilizando pellets o biomasa cruda de bambú como materia prima, son algunos de los proyectos sustentables que se pueden realizar exitosamente con algunas de estas especies. Se enfatiza que pocas especies son las más apropiadas desde el punto de vista económico. Seleccionar una especie inadecuada con fines empresariales es un grave error de tipo económico.

Abstract

The establishments of large bamboo plantations as a biomass raw material producer to different types of industries, the establishment of a bamboo pellets factory, the realization of a power plant generation of electricity using bamboo biomass as a raw material, are some of the sustainable projects that can be done successfully with some of these species. It is emphasized that few species are appropriate from an economic point of view. Select an inappropriate species for business purposes is a serious economic mistake.

Introducción

No se puede hablar solo de medio ambiente sino se involucran variables de rentabilidad económica y desarrollo social. Los proyectos de generación de biomasa y energías bio-renovables utilizando especies de bambú como materia prima deben cumplir esos requisitos para que sean aceptados mundialmente.

La elección de los combustibles fósiles en lugar de la biomasa hace daño irreversible a nuestro clima. Las fuentes de energía tradicionales se basan en materias primas no bio-renovables, especialmente el petróleo, pero en la actualidad el mundo busca intensamente otras fuentes de energías nuevas clasificadas como renovables que ayuden a mitigar las consecuencias desastrosas del cambio climático.

Esta necesidad de buscar la energía del medio ambiente en el mundo, también llamada energía verde, energía limpia, energía verde o energía bio-renovable, ha hecho esencial la búsqueda de nuevas fuentes para su producción, y la biomasa se presenta como una excelente respuesta. La biomasa es una materia prima útil para producir energía bio-renovable. Cualquier planta produce

biomasa que puede ser utilizada como combustible para la generación de calor. La biomasa producida por las plantas se convierte en una excelente producción de energía limpia, pero no todas las plantas cumplen los requisitos de calidad y cantidad de biomasa requeridas para generar continuamente energía bio-renovable económicamente. Por ello es necesario buscar plantas de rápido crecimiento, alta capacidad de adaptación a diferentes condiciones climáticas, con altos rendimientos de biomasa y con alto poder calorífico. Pocos vegetales pueden cumplir esa cantidad de requisitos como lo hacen varias especies de bambú.

El establecimiento de grandes plantaciones de bambú como productor de materia prima para diferentes tipos de industrias, el establecimiento de una procesadora industrial productora de pellets de bambú generadores de energía limpia, productos ecológicos o bio-renovables y una planta de generación de energía eléctrica utilizando pellets o biomasa cruda de bambú como materia prima son algunos de los proyectos sustentables que se pueden realizar exitosamente con algunas de estas especies, pero se advierte que no con cualquier especie, sino con las más apropiadas para cada caso.

Las plantaciones de bambú son las iniciadoras de la cadena de un proyecto silvicultural-social-industrial y estas deben tratarse como una unidad estratégica independiente del negocio y responsable de generar la materia prima, o sea la biomasa, para la producción de pellets. La biomasa debe obtenerse a precios competitivos de mercado, además, la plantación debe registrarse y establecerse analizando su viabilidad técnica, económica, ambiental y social.

El éxito de un proyecto de producción de energía biorenovable utilizando como materia prima el bambú, debe ligarse a un proceso industrial, para este caso una fábrica de producción de pellets con una capacidad de producción mínima de 60.000 toneladas anuales. La parte industrial también debe tratarse como una unidad estratégica del negocio independiente y esta debe comprarle la biomasa a la plantación según los precios del mercado. Estos pellets a su vez pueden venderse en Europa o en el mercado nacional a aquellas empresas que requieran energía térmica para sus calderas o que deseen generar su propia energía eléctrica utilizando como precursor la energía producida por los pellets o la biomasa de bambú.

Bamboo Premier, bajo la dirección de Hormilson Cruz Ríos, ha desarrollado todas las proyecciones económicas de ambos aspectos del proyecto y para ello se han realizado estudios técnicos y financieros que demuestran la viabilidad de este tipo de proyectos siempre y cuando la especie de bambú iniciadora del proceso sea seleccionada bajo análisis rigurosos que muestren su viabilidad económica antes que la silvicultural

Los bambúes como productores de biomasa

Actualmente la biomasa vegetal con fines energéticos se obtiene a partir de residuos de árboles aserrados, tales como puntas de tallos, ramas y troncos de baja calidad que quedan tras la extracción de los troncos de mayor calidad, o árboles que no pueden ser comercializados como madera dura o blanda. La mayor parte de la biomasa forestal se produce a partir de material que no tienen otro uso más que el de residuos de aserraderos, arboles muy delgados y residuos forestales. Por otra parte, las plantaciones de gimnospermas, eucaliptus, melinas, pinos y otras especies forestales, que normalmente se siembran para producir madera o materia prima para ser utilizado como precursor de la producción de celulosa y papel, no se siembran para producir biomasa ya que los costos de producción son mucho más altos y toman mucho tiempo para ser cosechados y además se siembran para otros objetivos diferentes a la producción de biomasa para combustible, por ello, pocas especies de bambúes seleccionadas cuidadosamente para ese propósito específico pueden sembrarse como generadores de biomasa en forma continua.

Bajo las circunstancias mencionadas, las plantaciones con especies de bambú apropiadas para la producción de biomasa, son una alternativa conveniente y altamente viable desde muchos puntos de vista. Los bambúes se siembran una sola vez, son productores de biomasa en grandes cantidades y poseen alto poder calorífico. Los bambúes permiten ser considerados como especies altamente aconsejables para generación de energías bio-renovables ya que pueden producir biomasa sosteniblemente y pueden hacer una contribución a la mitigación del cambio climático, además de generar importantes beneficios sociales y económicos.

Debido a su rápido crecimiento y a su alta plasticidad genética para adaptarse a diferentes condiciones climáticas, los bambúes de porte gigante están siendo considerados actualmente como plantas preferidas para ser establecidos en proyectos que busquen grandes producciones de biomasa. Se advierte que aunque los bambúes de porte gigante son altos productores de biomasa, no todos son recomendados desde el punto de vista económico.

Especies de bambúes con altas producciones de biomasa

Desde el punto de vista morfométrico, los bambúes más aconsejables para producción de biomasa son los de porte gigante debido a que producen tallos entre los 15 y los 40 metros de longitud y diámetros en sus culmos a la altura del pecho (DAP) alcanzan entre los 7 y los 35 cm. También se deben considerar en algunos casos bambúes de porte medio de culmos sólidos o semisólidos.

Se nombran los siguientes bambúes de porte medio y gigante aconsejables para ser establecidos en plantaciones con el objetivo de producción de biomasa: *Bambusa balcooa*, *Bambusa bambos*, *Bambusa blumeana*, *Bambusa polymorpha*, *Bambusa tulda*, *Bambusa spinosa*, *Bambusa vulgaris var vulgaris*, *Bambusa vulgaris var vitatta*, *Bambusa oldhamii*, *Dendrocalamus giganteus*, *Dendrocalamus asper*, *Dendrocalamus latiflorus*, *Dendrocalamus sinicus*, *Dendrocalamus brandisii*, *Gigantochloa apus*, *Gigantochloa verticillata*, *Gigantochloa levis*, *Guadua angustifolia*, *Guadua aculeata*, *Guadua chacoensis*, *Guadua superba*, *Oxythenathera abyssinica*, *Phyllostachys pubescens*. Aunque los bambúes *Dendrocalamus strictus* y *Guadua amplexifolia* son de porte medio, son altamente potenciales para la producción de biomasa debido a que sus tallos son sólidos o semisólidos, lo que implica que poseen paredes gruesas o muy gruesas como componentes de sus culmos.

Poder calorífico de los bambúes

Indiscutiblemente el poder calorífico de un vegetal le da características importantes para ser considerado o no como materia prima principal para la producción de fuentes de energías verdes o bio-renovables. Investigaciones a este respecto han demostrado que los bambúes tienen similares poderes caloríficos a las maderas y que algunos de ellos lo poseen aún mayor. Investigaciones realizadas en México por Cruz, 2012, muestran los siguientes datos de poder calorífico de algunas especies de bambúes.

Tabla 3. Poder calorífico de algunas especies de bambúes

PODER CALORÍFICO DE ALGUNAS ESPECIES DE BAMBÚES		
ESPECIE	TIPO DE PLANTA	Kcal/kg
<i>Eucaliptus urophylla</i>	Eucalipto	4723
<i>Dendrocalamus asper</i>	Bambú	4689
<i>Bambusa vulgaris var vitatta</i>	Bambú	4655
<i>Bambusa vulgaris vulgaris</i>	Bambú	4597
<i>Bambusa oldhamii</i>	Bambú	4587
<i>Guadua angustifolia</i>	Bambú	4261

Fuente: Hormilson Cruz Rios. Business Plan para el establecimiento de plantaciones de bambú generadores de biomasa y fábrica de pellets productoras de energías bio-renovables. 260 paginas. 2013. Sin publicar.

Los resultados obtenidos en México de poder calorífico de algunas especies de bambúes muestran similitud con muchos otros realizados en otros países del orbe. Estas excelentes características muestran a la materia prima producida por el bambú como recomendable para la producción de biomasa y de productos fuentes de energía renovable como el carbón vegetal, pellets, madera ecológica y como materia prima para la co-generación de energía eléctrica.

Futuro del mercado de la biomasa de bambú en el mundo

La biomasa de bambú se puede utilizar en bioetanol y cogeneración de energía eléctrica, pero si en esta parte sólo se analiza la electricidad producida por la biomasa, según *Pike Fuels Research*, (analistas de mercado y consultores del mercado de energías limpias a nivel mundial), 2011, el valor de mercado de la electricidad a partir de biomasa en los Estados Unidos va a crecer de manera constante hasta 53 mil millones de dólares en 2020, (su valor en 2010 fue de 45 mil millones de dólares aproximadamente).

El Foro Económico Mundial predice que el valor global de la calefacción y la electricidad generada con biomasa combinada alcanzarán 65 mil millones de dólares para 2020. Pike fuels Research afirma que el valor de mercado del biodiesel y el bioetanol ascendió a 76 mil millones de dólares en el año 2010 y que la cifra podría aumentar a 247 millones para el 2020. El valor del mercado mundial de biocombustibles podría superar los 280 mil millones de dólares en 2022.

Requisitos de selección de un bambú para ser establecido como generador de biomasa

Según Cruz Hormilson, 2013, desde el punto de vista producción biomasa como materia prima para la generación de energía renovable, se debe considerar que el bambú seleccionado para tal propósito cubra los siguientes factores determinantes:

- 1) Que sea de fácil propagación.
- 2) Fácil de cultivar. Domesticado.

- 3) Que sean de porte medio a gigante.
- 4) Que sus características morfométricas permitan altas producciones de biomasa.
- 5) Que sean de rápido crecimiento.
- 6) Que posean alto poder de regeneración natural.
- 7) Que posean alto poder calorífico.
- 8) Alta plasticidad genética.
- 9) Facilidad de manejo en el proceso industrial.

Es demasiado importante la consideración e inter-relación silvicultural y económica de todos esos factores para que en un proyecto de energía biorenovable utilizando el bambú como materia prima permita obtener no sólo la mayor cantidad posible de materia prima al más bajo costo, sino también las kilocalorías/kilogramo de producto más económicas. Resolver lo mejor posible esa ecuación permitirá que el producto que se genere sea más competitivo en el mercado de fuentes de energías bio-renovables.

Aprovechamiento de los bambúes productores de biomasa

Los bambúes de porte gigante productores de biomasa se pueden aprovechar bajo dos formas y ello depende de la especie y de las características de tipo ambiental que se le desee dar al proceso de producción de materia prima de biomasa de bambú. El aprovechamiento basándose en el tiempo de corte y su metodología puede hacerse bajo dos consideraciones.

- APROVECHAMIENTO A TALA RASA
- APROVECHAMIENTO BAJO INVENTARIO FORESTAL.

Desde el punto de vista económico y búsqueda de buenos resultados financieros se deben seleccionar bambúes que puedan aprovecharse a tala rasa ya que estos poseen producciones intensivas de biomasa en ciclos de corte más cortos.

Aspectos económicos de plantaciones de bambú, fábrica de pellets y planta de energía eléctrica como productores de energía biorenovable

Un proyecto de producción de energía biorenovable a base de bambú puede y debe considerar tres áreas independientes: A) la plantación de bambú para generar biomasa B) la zona de producción industrial, que puede incluir una planta de producción de 60.000 ton/pellets de bambú/año y C) si se desea una tercera etapa dentro del proyecto, se pueden utilizar los pellets como combustible para generar energía eléctrica y esta energía se podría interconectar a las redes estatales de electricidad.

A) La plantación de bambú puede consistir en 2.200 hectáreas para producir la biomasa suficiente para cubrir las necesidades de la fábrica. Esta área se puede incrementar si se desea hacer el proyecto más grande. El proyecto de las 2,200 Ha se considera a más de 20 años por ser el bambú una planta perenne. La inversión a realizar en la plantación en el primer año será de USD 2.38 millones. En el segundo la inversión será de USD 3.27 millones y para el tercer año será de USD 2.35. La inversión total incluidos los activos sin considerar renta o compra de la tierra es de USD 9.38 Millones. Cuando la plantación alcance su madurez

generará ingresos brutos por USD 4.9 millones e ingresos netos de USD 2.72 millones al año. La T.I.R. del proyecto de la plantación es del 21.96 %, VPN, USD 5,042.888 considerando una tasa de descuento de 12 %. El Pay Back es de 7 años.

B) La fábrica productora de 60.000 ton / pellets de bambú / año necesita una inversión de USD 7.81 millones. Este tamaño de fábrica es considerada de producción media y se puede llevar hasta 200,000 ton/año. Se debe empezar a hacer un año después de sembrarse el bambú. Si la fábrica considerada vende la producción a Europa, generará ingresos brutos de USD 11.28 millones e ingresos netos de USD 3.74 millones al año. Bajo este esquema La T.I.R. del proyecto es de 40,70 %, VPN de USD 15,371.366 considerando una tasa de descuento de 12% y el Pay Back es de 4 años.

Si la fábrica busca mercado nacional (México) en los ingenios y empresas que necesiten vapor o cogeneren energía presentara ingresos netos anuales de USD 5.65 millones y presenta una T.I.R. de 72%, un VPN de 31,980.766 millones y un Pay Back de 2 años. Bajo este esquema el ahorro en costos es de USD 2.46 millones anuales ya que no existirían costos de transporte interoceánico.

El flujo de inversión anual cuando se unen los dos proyectos, plantaciones y fábrica, necesitará una inversión total de 17,18 millones de USD distribuidos de la siguiente manera: USD 2.88 en el primer año, USD 11,11 en el segundo y USD 3.19 millones en el tercer año del proyecto.

Si el proyecto decide comprar las 2200 Ha de tierra para la plantación debe considerar USD 4.23 millones más de inversión considerando un valor de USD 1,923 dólares la Ha y 40,000 dólares para la compra de una Ha de terreno donde se ubicaría la fábrica.

El costo de la electricidad en la fábrica de producción de pellets es de USD 1,39 millones al año que se pueden ahorrar en más de un 60% si la planta co-genera su propia energía empleando biomasa o pellets de bambú. El proyecto tiene una ventaja especial ya que va a producir su propia materia prima de bambú por lo que puede ajustar el precio de la misma en función de los mercados.

C) La planta de generación de energía eléctrica utilizaría las 60.000 ton / bambú pellets / año. Esta producción de pellets puede generar una planta de 12.3 MW. Estos MW generan 12,300 kw/h y si se considera un valor de venta de 0.11 USD/kw/h, los ingresos brutos serian de 11.8 millones de dólares anuales. Es determinante aclarar que el valor del kw/h cambia enormemente según las leyes de cada país y por ello el análisis financiero debe basarse en gran medida en este concepto.

Los costos de instalación de este tipo de plantas oscilan entre 2 a 3 millones de dólares por MW a producir dependiendo de la tecnología a seleccionarse. Para este caso se necesitaría una inversión entre 24.6 y 36.9 millones de dólares y la planta se iniciaría a construir un año después de iniciada la plantación.

Referencias bibliográficas

- Cruz Rios H. 2013. Business Plan para el establecimiento de plantaciones de bambú generadores de biomasa y fábrica de pellets productoras de energías biorenovables. 260 paginas. Sin publicar.

INSTRUMENTACIÓN NORMATIVA PARA EL MANEJO Y APROVECHAMIENTO PERSISTENTE DE GUADUALES NATURALES, DE LOS ESTABLECIDOS CON FINES DE PROTECCIÓN Y PROTECCIÓN – PRODUCCIÓN

Alejandra Ruiz Díaz^a, Carolina Eslava Galvis^a

^aDirección de Bosques, Biodiversidad y Servicios Ecosistémicos. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible – MADS. Calle 37 No. 8 – 40 Bogotá, Colombia. Conmutador (571) 3323400. www.minambiente.gov.co

Palabras Claves: Guadua, Corporaciones Autónomas Regionales, Manejo y Aprovechamiento, Vacíos Normativos.

Resumen

En Colombia se reconoce a la Guadua como la especie de bambú nativo más importante no solo por los servicios ecosistémicos asociados, sino por el uso tradicional arraigado en el cultura cafetera y su potencialidad en el desarrollo de elementos alternativos al uso de maderas tradicionales por su rápido crecimiento y fácil manejo, por lo que se ha identificado por parte del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible–MADS, la necesidad de establecer lineamientos generales para el establecimiento, manejo y aprovechamiento de guaduales naturales, que fomenten la sostenibilidad del recurso y se propicien condiciones favorables al mercado de disponibilidad de materia prima.

Abstract

In Colombia is recognized the Guadua as the most important native species of bamboo, not only for the ecosystem services associated, else for the traditional use in the coffee culture and for this potential in the development of alternative items to the traditional use of wood, considering their fast growth and workability, so it has been identified by the Ministry of Environment and Sustainable Development - MADS, the need to establish general guidelines for the establishment, management and harvesting of natural bamboo forests, to promote the sustainability of the resource and conducive conditions market friendly and the raw material availability.

Colombia posee gran diversidad biológica la cual es sustentada en la multiplicidad de climas, ecosistemas y especies; sin embargo dicha megadiversidad, históricamente ha venido siendo reducida en función del avance de la colonización, el requerimiento de nuevas tierras para la producción agropecuaria y el tráfico ilegal de especímenes silvestres entre otras, no escapando a ello comunidades vegetales como los guaduales, cañaverales y bambusales.

Considerando que Colombia ocupa el segundo lugar en diversidad de bambú en Latinoamérica², y que se reconoce a la Guadua como el bambú nativo más importante en el país no solo por los servicios ecosistémicos asociados, sino por el uso tradicional arraigado en el cultura cafetera y su potencialidad en el desarrollo de elementos alternativos al uso de madera tradicionales, se ha identificado la necesidad de establecer lineamientos generales para el establecimiento, manejo y aprovechamiento de guaduales naturales, que fomenten la sostenibilidad del recurso y se propicien condiciones favorables al mercado de disponibilidad de materia prima.

Se estima que el área de Guadua en el país asciende a 56.000³ hectáreas, identificando que aproximadamente 36.027 hectáreas se localizan en los departamentos de Caldas, Quindío, Risaralda, Valle del Cauca y Tolima.

Tabla 1. Superficie de guaduales naturales y plantados en algunos departamentos

Departamentos	Naturales área en has.	Plantados- área en ha.	Total área en ha.
Caldas	5.875	320	6.195
Quindío	7.708	905	8.613
Risaralda	3.315	615	3.930
Tolima	2.896	1.326	4.222
Valle del Cauca	9.688	2.179	11.867
Subtotal Eje Cafetero	29.482	5.345	34.827
Cundinamarca	378	228	606
Antioquia	489		489
Putumayo y Caquetá	2.000		2.000
Cauca	1.500	300	1.800

Fuente: Información estadística reportada por las CAR, 2010.

² LONDOÑO, Ximena. The American Bamboos with Emphasis in the Genus Guadua. Instituto Vallecaucano de Investigaciones Científicas- INCIVA. Cali, Colombia.

³ Convenio 77 de 2013, Corporación Autónoma Regional de Risaralda CARDER- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible –MADS. Estado del Arte de la Cadena de la Guadua en Colombia 2013 – 2012: Bases para la Visión Prospectiva del Nuevo acuerdo de competitividad del Eje Cafetero y Valle del Cauca. Bogotá D.C., 2013. 59 p.

Como parte del reconocimiento a los servicios ecosistémicos, de regulación y de aprovisionamiento que prestan los ecosistemas de guaduales el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible a través de Programas como SINA II y diferentes convenios con Corporaciones ha impulsado el establecimiento de programas de restauración con especies de bambú en el país, priorizando municipios con vulnerabilidad hídrica, los cuales se han desarrollado a través de modelos con finalidad protectora y protectora – productora.

Tabla 2. Proyectos de restauración con especies de Bambú, liderados MADS 2004-2012

Corporación	Convenio No.	Hectáreas	
		Proyectadas	Establecidas
CRC	13F-04	14	14
	5F-06	180,5	180,5
CSB	14F-06	100	100
CORPOCHIVOR	12F-04	235	235
CORTOLIMA	49F-05	149	149
	25F-07	180	180
CVC	51F-05	192	162
	14F-04	372	372
CRQ	5F-08	400	400
CORNARE	3F - 11	200	20
TOTAL		2.022,5	1.812,5

Fuente: Dirección de Bosques, Biodiversidad y Servicios Ecosistémicos – MADS, 2012.

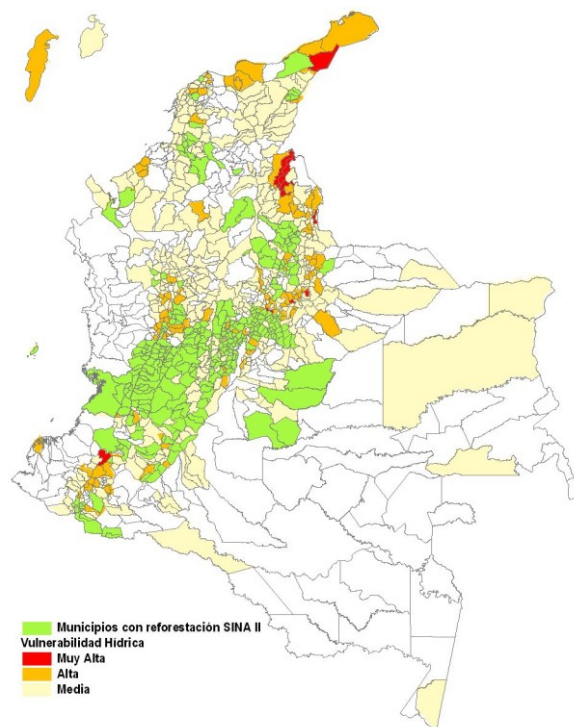


Figura.1 Localización indicativa de los Proyectos de restauración con especies de bambú liderados por el MADS 2004 – 2012.

Fuente: Dirección de Bosques, Biodiversidad y Servicios Ecosistémicos – MADS, 2012.

Para los departamentos en donde se han reportado áreas naturales en guadua por parte de las CAR, se identifica una deforestación para el periodo 2005 – 2010 de **517.254⁴** hectáreas, señalando que en el Eje Cafetero se presenta un 12% del total registrado en pérdida de bosques para estos departamentos en este periodo de tiempo.

⁴ Cabrera E., Vargas D. M., Galindo G. García, M.C., Ordoñez, M.F., Vergara, L.K., Pacheco, A.M., Rubiano, J.C. y Giraldo, P. 2011. Memoria técnica de la cuantificación de la deforestación histórica nacional – escalas gruesa y fina. Instituto de Hidrología, Meteorología, y Estudios Ambientales-IDEAM-. Bogotá D.C., Colombia. 101 p.

Tabla 3. Deforestación estimada en los Departamentos que reportan áreas naturales de Guadua. Periodo 2005 - 2010

Departamentos	Deforestación (Has)
Caldas	12.134
Quindío	2.711
Risaralda	6.732
Tolima	21.965,22
Valle del Cauca	17.342
Subtotal Eje Cafetero	60.884
Cundinamarca	18.998,82
Antioquia	145.890,27
Caquetá	178.350,57
Putumayo	65.048
Cauca	48.083
Subtotal Otros Departamentos	456.370
Total País en donde se reportan Naturales por las CAR	517.254

Fuente: IDEAM, 2011.

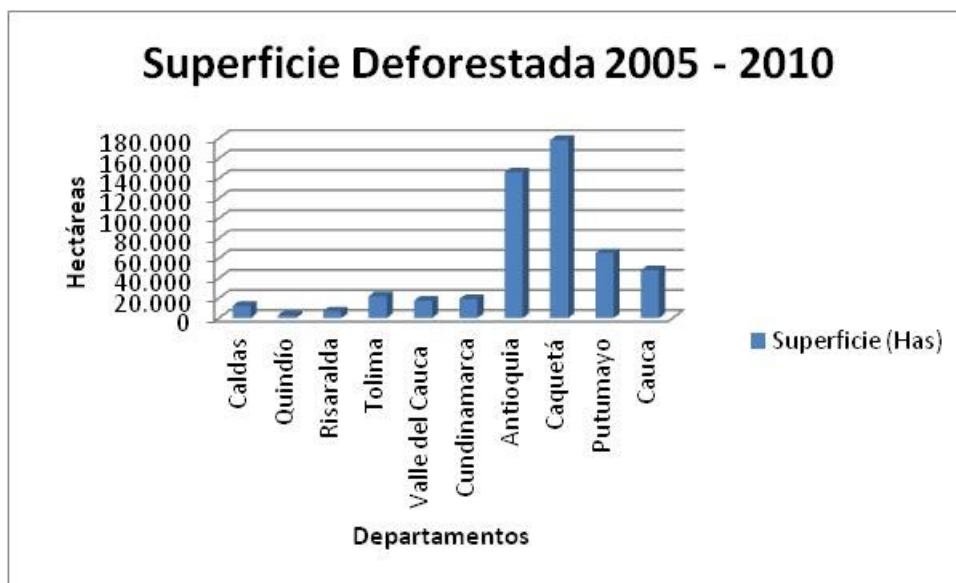


Figura 2. Deforestación estimada en los Departamentos que reportan áreas naturales de Guadua. Periodo 2005 – 2010.

Fuente: IDEAM, 2011.

De esta manera el marco normativo para el manejo y aprovechamiento de guaduales naturales se enmarca en el Artículo 62 del Decreto 1791 de 1996, el cual establece que “*cada Corporación reglamentará lo relacionado con los aprovechamientos de especies y productos del bosque no maderables, como: guadua, cañabrava, bambú, palmas, chiquichiqui, cortezas, látex, resinas, semillas, entre otros*”⁵. Aspecto que ha generado diferencias conceptuales y procedimentales sin existir unidad de criterio en el manejo de productos forestales no maderables en el país.

Una de las iniciativas más representativas en el manejo y aprovechamiento de estos ecosistemas ha sido la desarrollada conjuntamente por las Corporaciones Autónomas Regionales de los Departamentos de Caldas, Quindío, Risaralda, Tolima y Valle del Cauca, quienes desde hace años, han realizado acercamientos para unificar criterios técnicos para el manejo silvicultural de la Guadua, obteniendo resultados de estudios en la materia desde el año 1994.

Las Corporaciones mencionadas anteriormente, en el año 2000 a través del Proyecto Manejo Sostenible de Bosques para Colombia para el área piloto del eje cafetero adelantó acciones para el otorgamiento de autorizaciones de aprovechamiento forestal para los Para los ecosistemas naturales y plantados de Guadua, Cañabrava y Bambú (*Bambusa* sp.), llegando a la conclusión que era necesario unificar por lo menos en la eco región una norma que reglamentará el registro, manejo y aprovechamiento sostenible de los ecosistemas de guaduales, bambulales y cañaverales naturales y plantados en los cinco departamentos(Caldas, Quindío, Risaralda, Tolima y Valle del Cauca).

Cabe anotar que el trabajo mancomunado de las dichas corporaciones logro la norma unificada de la guadua, la cual a su vez fue adoptada mediante resoluciones particulares en el año 2008 por cada una de estas entidades; contribuyendo para esta ecorregión en solucionar las diferencias conceptuales y procedimentales en el manejo de dichas comunidades vegetales.

Tabla 4. Resoluciones particulares de adopción de la Norma Unificada de la Guadua

Corporación	Resolución	Adopta
	Norma Unificada	
CORPOCALDAS	No. 185 de 2008	
CRQ	No. 666 de 2008	
CARDER	No. 944 de 2008	
CORTOLIMA	No. 1150 de 2008	
CVC	No. 01000439 de 2008	

De esta manera el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible – MADS como ente rector de política, ha identificado la necesidad de generar una norma de tipo nacional que unifique criterios y supla los vacíos conceptuales y procedimentales para el establecimiento, registro, manejo y aprovechamiento forestal sostenible de los ecosistemas naturales de bambús en el país.

⁵ Decreto 1791 de 1996 (Octubre 4). Por medio de la cual se establece el régimen de Aprovechamiento Forestal en Colombia y se dictan otras disposiciones

EL CONCEPTO DE LAS ESTRUCTURAS LIGERAS

Marcos Javier Ontiveros Hernández

Facultad de Arquitectura, Universidad Nacional Autónoma de México
Laboratorio de Estructuras, Edificio Anexo, Ciudad Universitaria, México, D.F., CP 04510,
México
arq-ontiveros@comunidad.unam.mx

Palabras clave: geometría estructural, mecánica, mecametría, sustentabilidad.

Resumen

El objetivo de este trabajo es mostrar los conceptos, procedimientos y logros académicos resultado de la enseñanza de Estructuras Ligeras dentro del Laboratorio de Estructuras de la Facultad de Arquitectura en la Universidad Nacional Autónoma de México – UNAM; donde jóvenes estudiantes de arquitectura e ingeniería se preparan dentro del espíritu heredado por grandes académicos de la institución como Félix Candela o Juan Gerardo Oliva, logrando resultados positivos que pueden ser ejemplificados con premios obtenidos en concursos nacionales e internacionales especializados en el tema.

El autor de este documento los últimos 12 años, conjuntamente con Juan Gerardo Oliva, desarrollando un concepto de enseñanza denominado Mecametría, que une los conocimientos de mecánica y de geometría, contenidos en la curricula de los primeros semestres de la carrera de arquitectura, para detonar en los estudiantes la comprensión de las relaciones que existen entre la forma y el comportamiento mecánico con la finalidad de capacitarlos en el diseño de estructuras lógicas, eficientes y consecuentemente sustentables, lo cual ha llevado a la búsqueda de nuevas posibilidades como el bambú o la guadua.

Este sistema de enseñanza es tan sólo una propuesta que complementa lo que se viene haciendo en la UNAM desde hace varios años, se alimenta de otros ejemplos y se encuentra en continúa búsqueda de nuevos aportes.

Abstract

The aim of this work is to show the teaching procedures practiced along several years at the Faculty of Architecture at the Universidad Nacional Autónoma de México – UNAM; addressed to the teaching of design and construction of lightweight structures to the students of Architecture and Civil Engineering. The obtained results will be demonstrated with the projects realized by the students, most of them now Architects or Engineers, in international competitions as well as in the professional field. The author of this paper is aware that these teaching methods constitute just one proposal that can be improved among many others.

Mechanics and Geometry, emphasizing on each step of the teaching process the relationship between form and structural behavior. From the fusion of both disciplines a new term emerges called MECHAMETRY, which might be defined as the application of Mechanics and Geometry to the architectural and structural design of lightweight structures

Introducción

En la Facultad de Arquitectura de la UNAM, MECAMETRÍA se imparte como una asignatura optativa, para los niveles superiores de la licenciatura, con duración de 32 horas en 16 semanas de un semestre académico y también se imparte, con un contenido más amplio y profundo, durante el primer semestre académico, en la Especialización en Diseño de Cubiertas Ligeras que ofrece el posgrado de la Facultad de Arquitectura con una duración de 48 horas y se continúa en un segundo semestre de la Especialización con la materia “Arquitectura Textil” con otras 32 horas.

Durante más de 10 años, los autores impartieron dos materias de manera independiente, por una lado geometría estructural y por otro lado estática y resistencia de materiales. Sin embargo, cada vez era más evidente la necesidad de combinar el contenido de ambas materias en un solo curso. De esta manera, el alumno podría conceptualizar de manera más acertada los sistemas estructurales de sus propuestas de anteproyecto.

Metodología

MECAMETRÍA se imparte transmitiendo de manera paralela conocimientos de geometría estructural y de mecánica tanto en la licenciatura como en el posgrado de la Facultad de Arquitectura de la UNAM. De esta manera, el estudiante relaciona la forma con el comportamiento estructural durante todo el proceso de aprendizaje.

A continuación se enlistan los motivos que dieron origen a la MECAMETRÍA

a) Sobre el conocimiento previo adquirido

Aunque los alumnos ya cursaron previamente cursos de estática y de resistencia de materiales, no han adquirido la conciencia, ni la práctica necesaria para aplicar dichos conocimientos directamente al proceso de diseño arquitectónico, que integre estructura forma y función.

b) Sobre las consideraciones de los alumnos

Muchos estudiantes consideran que las materias de cálculo estructural son propias de los ingenieros civiles y lejos de disfrutar y tratar de entender más el contenido de las mismas, las consideran como requisitos “non gratos” a cumplir en el programa de estudios para poder ser arquitectos.

c) Sobre la impartición de geometría y mecánica de manera independiente

Si los alumnos cursan en diferentes aulas y/o semestres, las materias de geometría estructural y de estática y resistencia de materiales, olvidan rápidamente el contenido de ellas y su aplicación, principalmente de los cursos de mecánica.

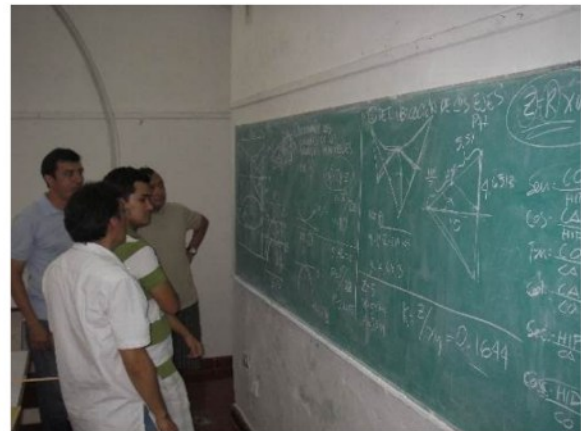
Pasos a seguir durante el desarrollo del curso de MECAMETRÍA

a) Sobre la impartición paralela de conocimientos sobre geometría y mecánica

Los alumnos reciben los conocimientos teóricos necesarios sobre geometría y sobre el comportamiento estructural de diferentes sistemas considerados ligeros (resistentes por forma y no por masa). Sobre la Geometría, los temas que se discuten durante el desarrollo de los cursos son: Los nueve cuerpos regulares, las secciones cónicas, el paraboloides elíptico, el paraboloides hiperbólico y la catenaria.

Sobre la Mecánica, los temas que se discuten son: El manejo vectorial de las fuerzas, los cuatro estados de trabajo que actúan en los diversos elementos que constituyen una estructura (compresión, tracción, y flexión).

En todos y cada uno de los temas se relaciona la forma con el comportamiento estructural, como una constante frecuente, se realizan comprobaciones algebraicas y estáticas, se muestran ejemplos de estructuras donde se puede ejemplificar el conocimiento transmitido a los alumnos.



Transmisión de conocimiento cuantitativo de los sistemas estructurales



b) Sobre las propuestas de diseño de estructuras por los alumnos.

Los alumnos realizan una propuesta de cubierta ligera a través de un modelo físico, es decir de una maqueta, cuyo tamaño le permita transportarla sin dificultad y cuya escala permita manipular el comportamiento mecánico de manera análoga a como lo haría en la realidad. Aunque es deseable que cada alumno desarrolle su propia propuesta, la demanda de los alumnos por esta materia selectiva de los semestres superiores de la licenciatura en arquitectura es muy alta y por ello cada maqueta se elabora con tres o cuatro alumnos.

Los materiales utilizados para la maqueta son: tela de lycra elástica para la membrana, postes de madera, aluminio o cobre; cables de hilos de cáñamo o usados para la elaboración de maquetas especializadas y una base consistente en una placa de madera, con la sección suficiente para que no se deforme durante la fijación de la membrana.

c) Sobre la evaluación de las propuestas de los alumnos

Se discuten y evalúan frente al grupo todas y cada una de las propuestas. Se identifican los aciertos y los errores y se discuten soluciones alternas derivadas del trabajo presentado por los alumnos.

d) Sobre el resultado final del proyecto de tenso estructuras

Cada grupo, interviene nuevamente en su propuesta original y la modifica y/o mejora de acuerdo con la evaluación frente a grupo efectuada con antelación. La mayoría de las propuestas son evaluadas y calificadas al terminar la segunda evaluación de las maquetas. Sin embargo, algunos alumnos requieren de una evaluación más para mejorar sus proyectos y es hasta la tercera presentación que se evalúan, dando fin al curso



Evaluación final de modelos físicos

Proyectos con reconocimientos internacionales

Los diseños de estudiantes y de arquitectos que han cursado la materia de Mecametría y recibido reconocimientos internacionales se muestran a continuación. También se indican los artículos premiados sobre Mecametría escritos por los alumnos en el Journal de la International Association for Shell and Spatial Structures – IASS.

Diseños y artículos de estudiantes.

Como complemento integral en la enseñanza de las estructuras ligeras, que provee un indicador de la calidad y profundidad del conocimiento adquirido por el alumno, esta los concursos estudiantiles que a la fecha han generado los resultados indicados en la

Víctor Hugo Roldán Rodríguez

1999 / 1er Lugar

International Fabrics Association, IFAI, Concurso Estudiantil

Centro para estudiantes junto al domo del Milenio en Inglaterra

Mauricio Cortés Sierra, Cinthya Echave y Miguel del Río

1999 / Mención Honorífica

International Fabrics Association, IFAI, Concurso Estudiantil

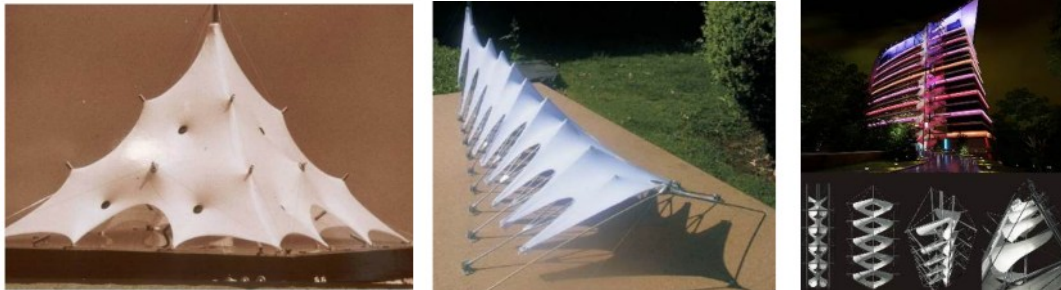
Centro para estudiantes junto al domo del Milenio en Inglaterra

Jesús Flores Hernández
2006 / 2o Lugar
TensiNet Concurso Estudiantil
Pabellón de exposiciones en el centro de Coyoacán

Diego A. Calixto, Alejandro Montes, Pedro Ortiz, Alberto Robles
2011 / 1er Lugar
V Simposio Latinoamericano de Tenso Estructuras, Santiago de Chile, Concurso Estudiantil
SEET: Sistema estructural de evacuación tensado

Carolina Carmona Aparicio
2008 / Ponencia ganadora
IASS Hangai Prize
Computational methods in the teaching of the Complex forms, study case: hypar

Carlos Zetina Gargollo
2008 / Mención Honorífica
IASS Hangai Prize
Design and development of a convertible dome for the patio of a historical building



Propuestas de alumnos acreedoras a reconocimiento internacional:

a) Victor Hugo Roldan; b) Jesús Flores Hernández; c) Calixto C., Montes G., Ortiz F. y Robles R.

Proyectos de arquitectos

Uno de los objetivos de la Especialización en Cubiertas Ligeras es ser profesionalizante, buscando que los a egresados se integren al ámbito laboral en los distintos ámbitos que permite la industria, una vez ahí tienen oportunidad de desarrollar los conocimientos aprendidos y en algunas ocasiones con resultados que también han sido considerados acreedores a reconocimientos como los que se enumeran en la siguiente lista:

Marcos Javier Ontiveros Hernández

Oustanding Achivement Award, International Fabrics Association, IFAI

2007 / Trajineras, Rivera Maya, Cancún, Méx.

2008 / Cubierta para restaurante "Los Danzantes" Oax. Mex

2010 / Cubierta para las aéreas exteriores edificio de la Judicatura Cancún. México

Eric Valdez, Juan Ramírez, Héctor Mendoza.

Award of Excellence, International Fabrics Association, IFAI
2013 / Cubierta para cafetería en León Guanajuato Mex.



Proyectos ganadores de reconocimiento IFAI a) 2007 b) 2018

Conclusiones

En esta ponencia se demuestra que la enseñanza de las estructuras ligeras a través de la transmisión de conocimientos simultáneos de geometría y mecánica, han producido resultados exitosos y alentadores en la práctica profesional de la arquitectura y de la ingeniería. El compromiso de generar estructuras en el marco de una arquitectura sustentable al servicio de la sociedad, es más fácil de cumplir cuando se poseen los conocimientos necesarios y se aplican adecuadamente, logrando estructuras eficientes y bellas. La MECAMETRÍA no es una invención, es simplemente el resultado de reunir los contenidos de dos áreas científicas en una sola. Los resultados obtenidos se demostraron a través de los proyectos sobre tenso-estructuras de estudiantes y profesionistas descritos en este trabajo y que han recibido reconocimientos internacionales. Los autores desean contribuir con una propuesta de enseñanza, que sin duda alguna no es la única ni la mejor, pero que sí ha demostrado su eficacia en el diseño y construcción de las tenso-estructuras.

Reconocimiento

Esta ponencia es resultado del trabajo conjunto del doctor Juan Gerardo Oliva Salinas y el Especialista en Cubiertas Ligeras Marcos Javier Ontiveros Hernandez y es auspiciada por la Dirección General de Asuntos del Personal Académico DGAPA-UNAM, Proyecto PAPIIT IG401014.

Referencias bibliográficas

- J.G. Oliva-Salinas, “The Structure During the Design Process: Teaching and Professional Performance.” International Colloquium SEWC 2013: Architecture-Structure Interaction for Sustainable Built Environment, Nueva Delhi, India, 18-20 Noviembre 2013.
- M.J. Ontiveros-Hernández, “Tensile Structures: a Tool for teaching a conceptual and sustainable architecture”, International Colloquium IASS-SLTE 2008: New Materials and Technologies, New Designs and Innovations – A sustainable Approach to Architectural and Structural Design, Acapulco, México, 27-31 Octubre 2008.

INVESTIGACIONES SOBRE EL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE LA GUADUA DESARROLLADAS POR EL GRUPO DE INVESTIGACIÓN ANÁLISIS, DISEÑO Y MATERIALES GIES

Caori Takeuchi^a

^a Universidad Nacional de Colombia. Carrera 30 45-03, Edificio 406, Oficina 301. Bogotá, Colombia. cptakeuchit@unal.edu.co

Palabras clave Bambú Guadua, comportamiento estructural, bambú laminado, esfuerzos admisibles

Resumen

Desde el año 2001, el grupo de investigación Análisis, Diseño y Materiales GIES de la Universidad Nacional de Colombia ha desarrollado varios trabajos de investigación sobre el bambú *Guadua angustifolia* Kunth. Los trabajos contemplan el estudio del comportamiento estructural de vigas, columnas, armaduras, pórticos y conexiones de guadua rolliza, también, su caracterización mecánica para validarla como material estructural para el diseño por esfuerzos admisibles. Se han desarrollado amplios programas experimentales para determinar las propiedades mecánicas de la guadua laminada y de la fibra de guadua compactada. El presente artículo es una revisión de los estudios realizados.

Abstract

Since 2001, the research group Analysis, Design and Materials GIES of the Universidad Nacional de Colombia has developed several studies on bamboo *Guadua angustifolia* Kunth. The investigations include the study of the structural behavior of beams, columns, trusses, frames, connections of round bamboo and its mechanical characterization in order to validate it as structural material for the allowable stresses design. Also, the research group has carried on extensive experimental programs to determine the mechanical properties of the laminated bamboo guadua and compacted bamboo guadua fiber material. This article is a compendium of the studies.

Introducción

La construcción de viviendas económicas, seguras y ambientalmente sostenibles es una necesidad que se manifiesta con mayor claridad en los países en vía de desarrollo. Si bien es cierto que la guadua se ha utilizado como material de construcción en vivienda, en la forma de bahareque encementado y como guadua rolliza a la vista, su uso ha disminuido porque se construye con otros materiales como son el concreto, el acero o los ladrillos de arcilla. Este fenómeno se presenta, por la ausencia de textos, normas y porque, en general, no forma parte de ninguna asignatura de los programas de Ingeniería Civil que se imparten.

Conscientes de las posibilidades de utilizar la guadua en elementos estructurales, el grupo de investigación Análisis, Diseño y Materiales GIES de la Universidad Nacional de Colombia ha realizado desde el año 2001 varios programas de investigación sobre este material. Se

determinaron sus características físico-mecánicas, se realizaron ensayos en vigas, columnas, armaduras y pórticos en guadua rolliza y conexiones entre elementos. También se estudió el comportamiento mecánico del bambú guadua laminado y de la fibra de guadua compactada.

Elementos, estructuras y conexiones en guadua rolliza

Prieto y Sánchez (Prieto & Sánchez, 2000) ensayaron 289 vigas a flexión de diferentes longitudes desde 0.5m hasta 3.0m con intervalos de 0.5m y calcularon para cada ensayo los esfuerzos máximos a flexión y a cortante y el módulo elástico aparente. Determinaron el módulo de rotura, la resistencia a corte y el módulo de elasticidad.

En su investigación “Estudio de elementos solicitados a compresión armados por tres guaduas” (Durán & Uribe, 2002), Durán y Uribe ensayaron a compresión 80 probetas sencillas. De estas, 35 con longitudes entre 0.8m y 3.0m y 45 probetas con altura igual a su diámetro para la determinación de la resistencia máxima a compresión y del módulo de elasticidad. Adicionalmente ensayaron 9 probetas de 3m compuestas por 3 guaduas de tres tipos diferentes de unión. En el primer y segundo tipo las tres guaduas estaban en contacto y varió el material de amarre. En el tercer tipo las guaduas se encontraban separadas con bambúes de 10cm de longitud. Con base en las cargas últimas de las probetas sencillas y compuestas ensayadas y en sus momentos de inercia se elaboraron diferentes curvas teóricas esfuerzo crítico en función de la relación de esbeltez, variando el módulo de elasticidad.

Gómez y Gutiérrez (Gómez & Gutiérrez, 2002) ensayaron 6 armaduras tipo Warren invertido, de 5 m de longitud y diferentes tipos de conexión entre elementos. Todas las armaduras fallaron en las uniones y la falla en su mayoría fue por corte paralelo a la fibra.

Camacho y Páez (Camacho & Páez, 2002) determinaron la capacidad de resistencia de momento flector de conexiones. Ensayaron tres tipos de uniones viga-columna donde no se esperaba una conexión rígida, 3 tipos de uniones que se esperaban fueran resistentes a momento, un tipo de unión con pie de amigo y un pórtico utilizando una de las uniones que tuvo mejor comportamiento. Por otro lado, realizaron análisis numéricos y con elementos finitos de las conexiones viga-columna y del pórtico utilizando el módulo de elasticidad promedio obtenido del ensayo de la conexión con pasadores y pletina. Se determinó un módulo de elasticidad de 8GPa. Se encontró que la unión con pasadores y mortero y elemento secundario de guadua horizontal y la unión con pasadores y pletina son uniones rígidas. También se concluyó en este estudio que cuando el análisis se hace suponiendo uniones resistentes a momento y en efecto las uniones son rígidas, es posible determinar los desplazamientos con buena aproximación.

Jaramillo y Sanclemente (Jaramillo & Sanclemente, 2003), considerando que puede existir un ángulo entre los elementos de una armadura (diagonales, paralelos y cordones), ensayaron tres tipos de conexión con ángulos de 90°, 60° y 45° entre elementos. Los ensayos con ángulo de 60° y 45° estaban formados por tres elementos, uno horizontal y dos diagonales a tensión compresión. Para los ensayos con ángulo de 90° entre elementos, el tramo horizontal fue más largo que el vertical, el cual se ensayó a compresión y a tensión. Las principales formas de falla en las conexiones fueron por corte paralelo a la fibra y tensión perpendicular.

Prada y Zambrano (Prada & Zambrano, 2003) estudiaron los posibles efectos que la perforación para el llenado del mortero, puede causar en la resistencia de un elemento solicitado a compresión y buscaron una alternativa de solución para disminuir estos efectos. Se ensayaron probetas de cuatro tipos diferentes: probetas sin perforación y sin mortero, con perforación y sin mortero, con perforación y con mortero y finalmente con perforación, con mortero y con masilla epóxica que tapa la perforación ya que el mortero colocado dentro del cañuto al presentar retracción no le da continuidad a la superficie de la guadua en el sitio de la perforación. Adicionalmente realizaron análisis con elementos finitos para observar la concentración de esfuerzos alrededor de la perforación y entender el comportamiento de las probetas. Encontraron que la resistencia a compresión disminuyó en las probetas con perforación y con perforación y con mortero. También observaron un mejor desempeño de las probetas con masilla epóxica con respecto a las probetas tipo 2 y tipo 3. La forma de falla, en las probetas tipo 2 y tipo 3 coincide con la distribución de esfuerzos obtenidos en la modelación: donde se presentan altos esfuerzos de tensión se presentan fisuras y donde se presenta concentración de esfuerzos verticales, hay falla por aplastamiento.

Flórez (Flórez, 2003) considerando que el mortero de relleno queda suelto dentro del cañuto de la guadua por la retracción, ensayó conexiones a tensión para observar si el uso de mortero expansivo mejoraba la resistencia de la conexión mortero varilla. Después de encontrar las características necesarias para que el mortero expansivo fuera lo suficientemente fluido y resistente y ensayar las conexiones encontró que las probetas se fisuran longitudinalmente antes de presentarse la falla por corte en el tabique. También, que aunque existe mayor contacto entre el mortero y las paredes internas de la guadua, la adherencia no mejora y no se presentan mayores aumentos de resistencia

Caracterización mecánica

Considerando que en el momento de su investigación no estaban definidos los protocolos de ensayos ante diferentes sollicitaciones ni se contaba con los aditamentos necesarios, Castrillón y Malaver (Castrillón & Malaver, 2004) acondicionaron y fabricaron los diferentes dispositivos necesarios para ensayos de compresión, tensión y corte paralelo a la fibra, tensión perpendicular a la fibra y flexión.

Acuña y Pantoja (Acuña & Pantoja, 2005) determinaron la resistencia a corte paralelo a la fibra en probetas de *Guadua angustifolia* variedad angustifolia de Quindío y de Cundinamarca (Colombia) y de *Guadua angustifolia* variedad bicolor proveniente de Cauca (Colombia), encontrando un valor promedio de 7.2Mpa. No observaron que tuviera incidencia en la resistencia al corte, la presencia o ausencia del nudo. La única diferencia, fue la forma de falla, ya que las probetas con nudo no se rajaban completamente.

Pacheco (Pacheco & Takeuchi, 2006) ensayaron probetas a tensión perpendicular a la fibra de guadua proveniente de tres regiones diferentes de Colombia (Cundinamarca, Quindío y Tolima). Encontró que la resistencia en probetas con nudos fue mayor con respecto a las probetas sin nudo. Los valores de resistencia fueron de 1MPa y 0.73 MPa respectivamente.

González (González & Takeuchi, 2007) ensayó 1618 probetas a compresión con nudo y sin nudo proveniente de cuatro guadales diferentes de Quindío y Caldas (Colombia) encontró la resistencia a compresión y el módulo de elasticidad por dos procedimientos diferentes.

Rusique (Rusique, 2007) estudió la influencia de la perforación axial de tabiques para la inmunización en guaduas solicitadas a flexión. Para esto ensayó 120 probetas con luces entre 0.5m y 3.0m encontrando diferencias en los esfuerzos de rotura y módulo de elasticidad tanto en probetas cortas como largas cuando existe o no la perforación.

Estudio del comportamiento de pórticos en *Guadua angustifolia* Kunth

Considerando que la Norma de Construcciones Sismo Resistente, NSR-98 (AIS, 1999) no contemplaba el diseño de pórticos en guadua rolliza y teniendo en cuenta que el uso de pórticos da mayor flexibilidad arquitectónica con respecto al sistema de muros de carga, se realizó un programa de investigación con varios estudios sobre el comportamiento de pórticos, pensando en su aplicación futura para la construcción de vivienda. Para todos los estudios, se trabajó con un pórtico estandarizado a escala natural, con uniones viga-columna fáciles de construir y con todos los cortes de las guaduas rectos.

Lamus (Lamus & Takeuchi, 2009) estudió el comportamiento de la conexión viga columna. Para esto, realizó 15 ensayos con cuatro tipos de uniones viga-columna y 3 ensayos de pórticos planos y modeló mediante el método de los elementos finitos la conexión más completa y mediante análisis matricial los pórticos ensayados. Además de encontrar los valores de resistencia mecánica y las constantes elásticas del material utilizado de determinar la conexión con mejor comportamiento, Lamus encontró que la conexión viga columna estudiada no es una conexión rígida sino semi-rígida y que debido a que los desplazamientos horizontales que se presentaron en los pórticos fueron excesivos, es recomendable combinar el sistema estructural usando pórticos con desplazamientos restringidos, ya sea con muros o con diagonales.

Echeverri (Echeverri, 2007) ensayó conexiones viga-columnas reforzadas con fibra de vidrio de dos tipos diferentes y las comparó con uniones sin refuerzo encontrando que el uso de la fibra de vidrio es posible para mejorar el comportamiento de la conexión.

Malaver (Malaver, 2007) ensayó seis pórticos planos de doble altura ante solicitaciones horizontales de carga y descarga. De los seis pórticos, 3 se ensayaron sin cables y 3 con cables de los cuales un pórtico se ensayó con cable sencillo y los otros dos con cables dobles.

Herrera (Herrera & Takeuchi, 2009) ensayó dos tipos de paneles prefabricados con marco de madera, paralelos y diagonal interna en guadua rolliza y con recubrimiento de malla y mortero para el primer tipo y con tiras de guadua para el segundo tipo. Después ensayó pórticos planos de doble altura con ocho paneles cada uno ubicados de tal modo de que existiera un arrojamiento diagonal cruzado doble en el pórtico. Se realizó una modelación numérica tanto de los paneles como de los pórticos. Se encontró un incremento de rigidez de alrededor del 50% con respecto a los pórticos sin paneles ensayados por Lamus.

Rivera (Rivera et al, 2009) estudió el comportamiento de pórticos espaciales con diagonales. Realizó ensayos de las uniones de las diagonales con los pórticos y de pórticos espaciales a escala real con entrepiso y cubierta, analizó los pórticos con modelos numéricos y por último

propone una aplicación práctica de construcción de vivienda modular de dos pisos, de interés social, utilizando pórticos y diagonales en guadua.

Guadua laminada en la construcción de vivienda

Como parte del programa “Innovación para el fortalecimiento de la productividad de la cadena de la guadua en la Provincia de Rionegro del Departamento de Cundinamarca”, se desarrolló el proyecto de investigación “Diseño y construcción de vivienda con elementos estructurales en guadua laminada prensada pegada” con el objetivo de mostrar el potencial del uso industrializado del bambú guadua laminado y así incrementar la demanda para la construcción de vivienda con este material.

La primera parte del proyecto consistió en desarrollar la línea de producción del bambú laminado. Para esto fue necesario capacitar a las personas para las diferentes actividades desde el aprovechamiento del bambú hasta la producción de elementos estructurales; adaptar y desarrollar equipos para el corte de latas, elaboración de láminas, aplicación del adhesivo y prensado de elementos y establecer dos centros de producción primaria en zonas cercanas a los guaduales y la línea de producción de laminados en la Universidad Nacional de Colombia.

La segunda parte del proyecto contempló el ensayo de probetas y elementos de bambú laminado (vigas, columnas, paneles y tableros de piso) y de marcos planos para caracterizar el material ante diferentes solicitaciones, estudiar su comportamiento y elaborar gráficos de diseño entre otros.

La tercera parte consistió en el diseño arquitectónico y estructural de una vivienda con elementos estructurales en bambú guadua laminada para finalmente fabricar las estructuras para dos prototipos, realizar la prueba de carga vertical y proceder a la construcción final en el sitio.

La parte experimental que contempla el proyecto de investigación fue la siguiente:

Cortés y otros (Cortes et al, 2010) reportan los resultados del ensayo de 712 probetas de bambú guadua laminado elaboradas con cuatro tipos de pegantes: Urea Melamina Formaldehído, Resorcina fenol formol RFF, Acetato de polivinilo y cola natural elaborada a base de colágeno. Se realizaron ensayos de flexión, compresión paralela y perpendicular a la línea de adhesivo, tensión perpendicular a la fibra y corte paralelo y perpendicular a la fibra.

Rusique (Rusique, 2011) estudió el comportamiento ante el fuego y determinó la velocidad de carbonización de probetas de bambú guadua laminado fabricados con los cuatro tipos de adhesivo estudiados por Cortés y otros.

Cordón y otros (Luna, Takeuchi, & Cordón, 2014) ensayaron probetas de bambú guadua laminada a corte perpendicular y paralelo a la fibra, tensión perpendicular a la fibra y flexión antes y después de ser introducidas a cámara a una temperatura de 45° y 95% de humedad relativa por 45 días. Se ensayaron probetas con tres diferentes tipos de adhesivo encontrando

que las probetas elaboradas con urea melanina formaldehido presentaron mayores valores de resistencia y comportamiento bajo las agresivas condiciones de humedad simuladas.

Con el fin de determinar la influencia de la distribución de láminas de diferente densidad en el comportamiento a flexión se realizaron 120 ensayos en vigas de 50 cm de longitud con cuatro configuraciones diferentes de densidad de láminas Rodríguez (Rodríguez & Takeuchi, 2010). Se encontró para cada ensayo el módulo de rotura y el módulo de elasticidad.

Para elaborar las tablas y gráficos de diseño a flexión de vigas macizas y de sección cajón Rodríguez (Hackmayer et al, 2010) ensayó 50 vigas macizas y 50 de sección cajón de 5 longitudes diferentes. Con las cargas de falla y los diagramas esfuerzo deformación determinó los valores promedio de módulo de elasticidad aparente y la resistencia a flexión para cada longitud.

Alvarado y Moreno (Alvarado et al, 2010) fabricaron y ensayaron 68 columnas macizas de seis alturas diferentes y 60 columnas de sección cajón, cuadrada de alturas comprendidas entre 50cm y 250cm. Se encontraron las curvas esfuerzo deformación y el módulo de elasticidad para las columnas cortas, con altura menor a dos veces su lado y las curvas de esfuerzo vs relación de esbeltez para los dos tipos de columnas

Pinilla (J J Pinilla & Takeuchi, 2012) estudió el comportamiento de paneles con bambú guadua laminada con carga paralela a su plano con el ensayo de dos tipos de paneles (macizo y en sección sándwich), tres alturas diferentes por tipo. Con base en los ensayos obtuvo las gráficas carga desplazamiento para cada tipo de panel y las curvas de diseño.

Para estudiar el comportamiento de tableros con carga perpendicular a su plano Pinilla (Pinilla, 2010) ensayó a flexión dos tipos de tableros en sección T con longitudes de 0.80m, 1.39m y 2.24m. Con base en los ensayos elaboró las gráficas carga desplazamiento con los cuales obtuvo el módulo de elasticidad para cada tablero. Las curvas de diseño se obtuvieron a partir de los esfuerzos máximos a flexión.

Dentro del proyecto de investigación se realizaron ensayos monotónicos y cíclicos a pórticos planos con dos tipos de arriostamiento, el primero de ellos con arriostamiento tipo K y el segundo con paneles tipo sandwich. Con los ensayos monotónicos se obtuvieron las gráficas carga desplazamiento y con los cíclicos las curvas de histéresis para cada pórtico ensayado (Luna & Takeuchi, 2012).

Para evaluar el comportamiento de los elementos y conexiones del prototipo, se realizó una prueba de ensayo (Luna et al, 2014). Para verificar el comportamiento de la estructura, se midieron los desplazamientos en diferentes puntos. Se realizó una simulación numérica del módulo ensayado, siguiendo el mismo protocolo de cargas del ensayo y se compararon los desplazamientos y rotaciones teóricos y experimentales.

Validación de la *Guadua angustifolia* como material estructural para el diseño por el método de esfuerzos admisibles.

Considerando que en el momento de realizar esta investigación no existía una norma de diseño colombiana que contemplara el uso de la guadua rolliza como material estructural, se realizó esta investigación la cual se dividió en dos etapas. La primera parte es un programa experimental que contempla la elaboración de protocolos de corte de guadua y preparación

de probetas para determinar la resistencia mecánica a flexión longitudinal, compresión, corte y tracción paralela a la fibra, torsión, y compresión perpendicular a la fibra y los módulos elásticos de la *Guadua angustifolia* Kunth. Se realizaron ensayos en probetas tomadas de la parte inferior, media y superior de culmos de guaduas provenientes de tres departamentos diferentes de Colombia. Se encontraron los valores característicos de la resistencia a compresión, tensión y corte paralelos a la fibra, flexión longitudinal, torsión y compresión perpendicular así como valores de módulo de elasticidad longitudinal y circunferencial. (Luna et al, 2014) (Luna et al, 2012). Adicionalmente, Gutiérrez (Gutierrez et al, 2012) estudió la variación de la resistencia a tensión paralela a la fibra en función del contenido de humedad.

La segunda parte consistió en la elaboración de guías de diseño que incluye además del diseño de elementos ante diferentes sollicitaciones y conexiones criterios de calidad (Luna et al, 2011).

Estudio del comportamiento mecánico y delaminación de fibra de guadua compactada.

En este estudio se realizó la caracterización mecánica de elementos de fibra de guadua compactada a partir de ensayos experimentales de flexión longitudinal, compresión paralela y perpendicular a la fibra, corte paralelo y perpendicular a la fibra y tensión paralela y perpendicular a la fibra. El material caracterizado corresponde a listones fabricados con tres formulaciones diferentes de adhesivo y cuatro tipos dependiendo de la parte del culmo de la guadua de donde eran obtenidas las fibras (basa, sobrebasa, varillon y mezcla de fibra). También se desarrolló el protocolo de ensayo para determinar la delaminación del material mediante técnicas de procesamiento de imágenes y se determinó este valor para cada formulación de pegante y cada tipo de probeta (Torres, Luna, & Takeuchi, 2014).

Conclusiones

Para un buen diseño es importante conocer el comportamiento estructural del material. En el presente artículo se mencionan diferentes estudios realizados sobre la guadua en su estado natural, laminada pegada prensada y la fibra de guadua compactada.

Agradecimientos

La autora agradece a la División de Investigación de Bogotá de la Universidad Nacional de Colombia, al programa Semilleros de Investigación de la Facultad de Ingeniería de la misma universidad, al Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural de Colombia y al Departamento Administrativo de Ciencia y Tecnología e Innovación de Colombia COLCIENCIAS por el apoyo económico, con los cuales fue posible desarrollar estos estudios.

Referencias Bibliográficas

- Acuña, D., Pantoja, N. 2005. *Resistencia al corte paralelo a la fibra de la guadua angustifolia*. Trabajo de grado. Ingeniería Civil. Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá.

- Alvarado, C., Moreno, J. I., Takeuchi, C. 2010. *Glued laminated guadua columns*. En 12th International Conference on Non-conventional Materials and Technologies “Materials & Technologies for Sustainable Infrastructure Systems” IC-NOCMAT 2010.
- AIS ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE INGENIERÍA SÍSMICA. 1999. *Normas Colombianas de Diseño Sismo Resistente, NSR-98*. Bogotá.
- Camacho, V., Páez, I. 2002. *Estudio de Conexiones en guadua solicitadas a momento flector*. Trabajo de grado. Ingeniería Civil. Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá.
- Castrillón, B., Malaver, D. 2004. *Procedimiento de ensayo para la determinación de las propiedades físico mecánicas de la guadua*. Trabajo de grado. Ingeniería Civil. Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá.
- Cortes, J. C., Lozano, J., Rusinque, M., Takeuchi, C. P. 2010. *Assessment of the influence of glue type in the mechanical behavior of glued laminated guadua (bamboo)*. En 12th International Conference on Non-Conventional Materials and Technologies (IC NOCMAT 2010).
- Durán, A., Uribe, M. 2002. *Estudio de elementos solicitados a compresión armados por tres guaduas*. Trabajo de grado. Ingeniería Civil. Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá.
- Echeverri, A. 2007. *Comportamiento de uniones en guadua utilizando fibra de vidrio*. Trabajo final. Especialización en estructuras. Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá.
- Flórez, E. 2003. *Uniones a tensión en guadua con mortero y varilla. Comportamiento de uniones con uso de expansivo en el mortero*. Trabajo de grado. Ingeniería Civil. Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá.
- Gómez, R., Gutiérrez, J. 2002. *Diseño y elaboración a escala natural de armaduras en guadua angustifolia*. Trabajo de grado. Ingeniería Civil. Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá.
- González, C. E., Takeuchi, C. P. 2007. *Resistencia a la compresión paralela a la fibra de la guadua angustifolia y determinación del módulo de elasticidad*. Ingeniería y Universidad, 11(1), 89–103.
- Gutierrez, M., Takeuchi, C. P., Perozo, M. C. 2012. *Variation of Tensile Strength Parallel to the Fiber of Bamboo Guadua Angustifolia Kunth in Function of Moisture Content*. Key Engineering Materials, 517, 71–75.
- Hackmayer, L. C., Rodríguez, N., Takeuchi, C. P. 2010. *Flexion Behavior of solid section beams of glued laminated guadua*. En 12th International Conference on Non-conventional Materials and Technologies “Materials & Technologies for Sustainable Infrastructure Systems” IC-NOCMAT 2010.
- Herrera, J. C., Takeuchi, C. P. 2009. *Comportamiento de pórticos en Guadua angustifolia mediante paneles prefabricados en bahareque*. Ingeniería e Investigación, 29(3), 5–12.
- Jaramillo, D., Sanclemente, G. 2003. *Estudio de uniones en guadua con ángulo de inclinación entre elementos*. Trabajo de grado. Ingeniería Civil. Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá.
- Lamus, F. A., Takeuchi, C. P. 2009. *Determinación de la rigidez de un tipo de conexión viga-columna en guadua Angustifolia*. Epsilon, 13, 193–204.

- Luna, P., Lozano, J., & Takeuchi, C. 2014. *Determinación experimental de valores característicos de resistencia para Guadua angustifolia*. Maderas. Ciencia y Tecnología, 16, 77–92.
- Luna, P., Lozano, J., Takeuchi, C. P., Gutierrez, M. 2012. *Experimental Determination of Allowable Stresses for Bamboo Guadua angustifolia Kunth Structures*. Key Engineering Materials, 517, 76–80.
- Luna, P., Olarte, A. M., Takeuchi, C. 2014. *Theoretical and experimental analysis of structural joints of glued laminated pressed bamboo guadua for a housing project*. Dyna, 81(184), 110–114.
- Luna, P., Takeuchi, C., Córdón, E. 2014. *Mechanical Behavior of Glued Laminated Pressed Bamboo Guadua Using Different Adhesives and Environmental Conditions*. Key Engineering Materials, 600, 57–68.
- Luna, P., Takeuchi, C., Granados, G., Lamus, F., Lozano, J. 2011. *Metodología de diseño de estructuras en Guadua angustifolia como material estructural por el método de esfuerzos admisibles*. Educación en Ingeniería, (11), 66–75.
- Luna, P., Takeuchi, C. P. 2012. *Experimental Analysis of Frames Made with Glued Laminated Pressed Bamboo Guadua*. Key Engineering Materials, 517, 184–188.
- Malaver, D. M. 2007. *Estabilidad de pórticos de Guadua angustifolia arriostrados con cables*. Trabajo final. Especialización en estructuras. Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá.
- Pacheco, C. A., Takeuchi, C. P. 2006. *Tension strength perpendicular to the fiber in Guadua angustifolia (Bamboo)*. In *Brazilian Conference on Non-Conventional Materials and Technologies in Ecological and Sustainable Construction*. BRASIL NOCMAT 2006. Salvador de Bahía.
- Pinilla, J. J. 2010. *Comportamiento estructural de guadua angustifolia laminada ante carga perpendicular y paralela a su plano*. Tesis. Maestría en estructuras. Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá.
- Pinilla, J. J., Takeuchi, C. P. 2012. *The structural behaviour of laminated-guadua panels under parallel plane loads*. Ingeniería e Investigación, 32(2), 18–22.
- Prada, J., & Zambrano, J. 2003. *Estudio de elementos en guadua solicitados a compresión, con perforación para el relleno de mortero*. Trabajo de grado. Ingeniería Civil. Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá.
- Prieto, E., & Sánchez, J. 2000. *Comportamiento de la Guadua angustifolia sometida a flexión*. Trabajo de grado. Ingeniería Civil. Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá.
- Rivera, J. F., Takeuchi, C., & Rusinque, M. 2009. *Structural behavior of braced guadua frames*. In *Non-conventional Material and Technologies Materials for sustainable and affordable construction IC-NOCMAT 2009* (pp. 1–8).
- Rodríguez, N., Takeuchi, C. 2010. *Evaluation of the influence of the slats placing of different density in the flexion behavior of glue laminated guadua*. In *12th International Conference on Non-conventional Materials and Technologies “Materials & Technologies for Sustainable Infrastructure Systems” IC-NOCMAT 2010* (pp. 1–8).
- Rusinque, M. 2007. *Influencia de la perforación, para inmunización en los tabiques, en el comportamiento de elementos solicitados a flexión de Guadua angustifolia*. Trabajo de grado. Ingeniería Civil. Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá.

- Rusinque, M. 2011. *Determinación de la constante de velocidad de carbonización de guadua laminada pegada sin tratamiento ignífugo*. Tesis. Maestría en estructuras. Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá.
- Torres, E., Luna, P., & Takeuchi, C. 2014. *Determination of the Delamination Percentage of Compacted Bamboo Guadua Using Extended Field Digital Images Processing*. Key Engineering Materials, 600, 15–20.

LOS BAMBÚES: AQUELLOS PASTOS GIGANTES

Ximena Londoño

Sociedad Colombiana del Bambú. Calle 12 #13-10, Armenia, Colombia.

ximelondo@gmail.com

Palabras Claves: Bambú, pasto, gramíneas, guadua, sostenibilidad.

Resumen

Los bambúes son un grupo de gramíneas que reúnen 1450 especies en 120 géneros. Se reconocen molecularmente 4 mayores linajes al interior de esta subfamilia: bambúes leñosos temperados (Arundinarieae), bambúes leñosos paleotropicales y neotropicales (Bambuseae), y bambúes herbáceos (Olyreae). Los bambúes leñosos son plantas con un simbolismo cultural y ecológico reconocido, que pueden sustituir a la madera pero que además poseen valores de conservación como son: rápido crecimiento, sistema rizomático intrincado y sostenibilidad. Los bambúes presentan una serie de características particulares que hacen de él un pasto único y un recurso no forestal.

Abstract

Bamboo are grasses that number more than 1450 described species in 120 genera. Four major plastid lineages are recognized: temperate woody (Arundinarieae), paleotropical woody (Bambuseae), neotropical woody (Bambuseae) and herbaceous bamboo (Olyreae). Bamboos are woody plants with a renowned cultural and ecological symbolism, which can replace the wood but also have conservation values such as: rapid growth, sustainability and intricate rhizome system. Bamboos present a series of characteristics that make it unique and not grass forest resource.

Introducción

Los bambúes son pastos arbóreos y se reconocen como las gramíneas más grandes del mundo. Pertenecen a la familia Poaceae y a la subfamilia Bambusoideae, una de las 12 subfamilias actualmente reconocidas dentro las gramíneas. A diferencia de los otros pastos, los bambúes fueron el único linaje dentro de las Poaceae que se adaptaron y se diversificaron a partir de hábitats boscosos, lo que conllevó a que desarrollaran una serie de caracteres morfológicos y anatómicos particulares como son: culmos huecos, complejos sistemas rizomáticos y de ramificación, presencia de hojas caulinares sobre el culmo, lámina foliar peciolada, ciclos de floración gregaria, y a nivel de anatomía de la lámina foliar presencia de células fusoides bien desarrolladas y células raquimorfas asimétricas e invaginadas (Bamboo

Phylogeny Group, 2012; Judziewicz *et al.*, 1999; Dransfield & Widjaja, 1995; Zhu Shilin *et al.*, 1994; Clark, 1990; Tewari, 1981).

Recientes estudios moleculares reconocen 4 mayores linajes al interior de esta subfamilia, reflejando además una distribución biogeográfica disimil: bambúes leñosos temperados (Arundinarieae), bambúes leñosos paleotropicales y neotropicales (Bambuseae), y bambúes herbáceos (Olyreae), en donde los bambúes leñosos se resuelven como parafiléticos con relación a los herbáceos (Kelchner, S.A., Bamboo Phylogeny Group, 2013; Grass Phylogeny Working Group, 2001).

Los chinos fueron los primeros en darle uso al bambú en las artes y en los procesos tecnológicos, sin embargo los primeros estudios sistemáticos y su reconocimiento científico fue realizado por europeos (Soderstrom, 1985). *Arundo bambos*, descrito por Linneo en 1753, es la primera publicación válida para un bambú en la literatura científica (Soderstrom, 1985).

Los bambúes reúnen 1450 especies descritas, clasificadas en aproximadamente 120 géneros, los cuales a su vez están agrupados en dos formas generales de crecimiento: los bambúes leñosos, importantes desde el punto de vista económico y ecológico (tribus Arundinarieae y Bambuseae) y los bambúes herbáceos, del sotobosque de la selva tropical (tribu Olyreae) (Kelchner, Bamboo Phylogeny Group, 2013).

Colombia es el segundo país de América después del Brasil en diversidad de especies de bambúes, con aproximadamente 110 especies nativas agrupadas en 17 géneros, y un número aproximado de 45 especies introducidas procedentes en su gran mayoría del sudeste asiático, India y China (Londoño, 2004). Sin embargo, a pesar de esta gran diversidad, los esfuerzos se han centrado en el estudio y desarrollo de una especie, *Guadua angustifolia* Kunth, dejando de lado especies potenciales por aprovechar y desarrollar.

Los bambúes son una planta con un simbolismo cultural y ecológico reconocido en muchos países de Asia, América y África, en donde juegan un papel integral ya que pueden proporcionar a la vez beneficios ambientales, sociales y económicos. Son plantas multi-propósito, versátiles, que pueden sustituir a la madera en muchos aspectos por tener los culmos leñosos y porque poseen valores de conservación como son: rápido crecimiento, sistema rizomático intrincado y sostenibilidad.

El bambú, al igual que el maíz, la caña de azúcar, el arroz y el trigo, es otro pasto importante ligado al desarrollo del hombre a quien le ha servido como abrigo, alimento, expresión artística, innovación tecnológica, entre otras; el rango de su uso difícilmente es superado dentro del reino vegetal y por eso se le conoce como *la planta de los mil usos* (Judziewicz *et al.*, 1999).

El bambú se ha convertido en un vehículo para reducir la pobreza, porque contribuye rápidamente a generar actividades productivas y a reducir el desempleo. Es por ello que en este siglo XXI tanto países en vía de desarrollo como países desarrollados buscan en esta planta una alternativa innovadora y ecológica que pueda reducir la brecha social y mejorar la economía de los países que la adopten.

Los bambúes presentan una serie de características particulares que hacen de él un pasto único y un recurso no forestal. Esas características se mencionan a continuación en la Tabla 1 (Londoño, 2012).

TABLA 1. Caracteres comparativos entre BAMBÚ y ÁRBOL.

BAMBÚ	ÁRBOL
➤ Auto-reproducible.	➤ No auto-reproducible en su gran mayoría.
➤ Culmo usualmente hueco y segmentado.	➤ Tallo sólido y no segmentado.
➤ Desarrolla rizoma.	➤ Desarrolla raíz.
➤ La parte más dura del culmo es la periferia.	➤ La parte más dura del tallo es el corazón o el centro.
➤ El culmo no tiene tejido de cambium y no incrementa en diámetro con la edad.	➤ El tallo tiene tejido de cambium e incrementa en diámetro con la edad.
➤ Los tejidos conductivos, floema y xilema, están juntos dentro del haz vascular.	➤ Los tejidos conductivos floema y xilema están separados por el tejido de cambium.
➤ El culmo no desarrolla corteza.	➤ El tallo desarrolla corteza.
➤ No existe comunicación radial al interior del culmo.	➤ Existe comunicación radial al interior del tallo.
➤ Crece extremadamente rápido, lo que lo convierte en la planta lignificada más rápida del planeta.	➤ Crece generalmente lento en altura y diámetro.
➤ Crece asociado, formando una red de rizomas donde un individuo depende del otro y su aprovechamiento afecta al resto de la comunidad.	➤ Crece individualmente, independiente, y su aprovechamiento no afecta al resto de la comunidad.
➤ Cada día hay más interés a nivel mundial por su rápido crecimiento y sostenibilidad.	➤ Cada vez está más escasos y se dificulta su obtención.

Los bambúes, por sus culmos endurecidos, son considerados en algunos países como Colombia, como un recurso forestal, sin embargo en países como India, se logró que a través del programa “Misión Nacional Sobre Aplicaciones del bambú” el Congreso lo reconociera como un cultivo agrícola (Planning Commission Government of India, 2003). En China, a su vez, el bambú se considera un cultivo agroforestal, calificativo apropiado para esta planta de doble propósito (ambiental & económico), que tiene su origen y su evolución en las gramíneas pero que presenta culmos que equiparan a los tallos de los árboles.

Los bambúes son plantas muy diversas, con una gran variación morfológica, los hay desde pocos centímetros de altura hasta ejemplares que alcanzan 46 metros, especies de hojas delgadas y de hojas anchas, con culmos verdes, amarillos o negros, con entrenudos cortos o largos, de formas rectas o sinuosas, de habito decumbente o erecto. Son plantas con una gran capacidad de adaptación, que ocupan diversos ecosistemas, excepto las condiciones climáticas del desierto. Se distribuyen desde los 47° de latitud Sur (Chile) hasta los 51° de latitud Norte (Japón) y desde el nivel del mar hasta los 4300 metros de altitud, registrándose naturalmente en todos los continentes excepto en Europa y Oceanía (Judziewicz *et al.*, 1999).

Los bambúes son plantas que contribuyen rápidamente a recuperar ecosistemas degradados, a proteger las fuentes hídricas, a controlar la erosión, a mejorar la calidad del agua y de los suelos, a incrementar la biodiversidad, en resumen, a mitigar los efectos causados por el cambio climático, como son incrementos de la temperatura, de los gases efecto invernadero, de la degradación del suelo, excesos o déficit de pluviosidad, pérdida de la biodiversidad y de la productividad (Riaño *et al.*, 2002; Rodríguez & Camargo, 2009; Giraldo *et al.*, 2013).

Los bambúes crecen asociados, están unidas bajo el suelo a través de los rizomas, funcionan en colectivo y para un colectivo. Los bambúes cumplen una función social en todos los países que habitan, y es a través de los procesos de transformación de esta planta, en donde se genera empleo y se activa la economía de pequeñas comunidades o pueblos.

A pesar de todas estas bondades, el bambú sigue siendo un recurso “huérfano” con un potencial subestimado. Es hora de que se implemente un Plan de Acción a Nivel Nacional para el bambú, que se revise la política que lo cobija para poder estimular su cultivo, conservación, investigación y utilización, y para que emerja como el *oro verde* de Colombia.

Referencias bibliográficas

- Bamboo Phylogeny Group [BPG] 2012. An updated tribal and subtribal classification of the bamboos (Poaceae: Bambusoideae). In: Proceedings of the 9th World Bamboo Congress, 10–12 April 2012, Antwerp, Belgium, pp. 3–27.
- Clark, L. G. 1990. Diversity and biogeography of neotropical bamboos (Poaceae: Bambusoideae). *Acta Botanica Brasilica* 4 (1): 125-132.
- Dransfield S, Widjaja E. A. 1995. *Plant Resources of South-East Asia No.7. Bamboos*. Backhuys Publishers, Leiden. 189 pp.
- Giraldo, L.P., Calle, Z., Galindo, V., Gandolfi, S., Chará J. 2013. Restauración de corredores ribereños en quebradas andinas: Experiencia en el Eje Cafetero Colombiano. Fundación CIPAV, Editorial Feriva S.A., Cali, Colombia, 56 pp.
- Grass Phylogeny Working Group [GPWG]. 2001. Phylogeny and subfamilial classification of the grasses (Poaceae). *Annals of the Missouri Botanical Garden* 88: 373–457.

- Judziewicz, E., Clark, L.G., Londoño, X., Stern, M.J. 1999. "American bamboos". Smithsonian Institution Press, Washington & London. 392 pp.
- Kelchner S.A, Bamboo Phylogeny Group. 2013. Higher level phylogenetic relationships within the bamboos (Poaceae: Bambusoideae) based on five plastid markers. *Molecular Phylogenetics and Evolution* 67: 404–413.
- Londoño, X. 2012. Una visión integradora del recurso guadua. En: I Seminario Internacional de Innovación en Materiales e Ingeniería Civil. Bogotá, Colombia.
- Londoño, X. 2004. Bambúes exóticos en Colombia. Impresos Richard. Cali, Colombia.
- Planning Commission Government of India. 2003. National Mission on Bamboo Technology and Trade Development. New Delhi. 181 pp.
- Riaño, N.M., Londoño, X., Lopez Y., Gómez, J.H. 2002. Plant growth and biomass distribution on *Guadua angustifolia* Kunth in relation to ageing in the Valle del Cauca - Colombia. *Bamboo, Science & Culture. The Journal of the American Bamboo Society* 16 (1): 43-51.
- Rodríguez, J. A. & Camargo, J.C. 2009. Erosión y escorrentía: indicadores de respuesta temprana del suelo a distintas coberturas en la zona cafetera de Colombia. *Revista Recursos Naturales y Ambiente* No. 58: 25-31.
- Shilin Z., Naixun M., Maoyi F. 1994. A Compendium of Chinese Bamboo. China Forestry Publishing House, China. 241 pp.
- Soderstrom, T.R. 1985. Bamboo yesterday, today and tomorrow. *Journal American Bamboo Society* 6:4-16.
- Tewari, D.N. 1981. A Monograph on Bamboo. International Book Distributors, Dehra Dun, India. 498 pp.

AVANCES EN EL MANEJO FORESTAL DE LOS GUADUALES NATURALES; CASO DEPARTAMENTO DE RISARALDA

Rubén Darío Moreno Orjuela

Corporación Autónoma Regional de Risaralda – CARDER, Calle 46 Avenida Las Américas – Pereira – Colombia. rudamor@carder.gov.co

Palabras clave: guadua, manejo forestal, cobertura forestal, reforestación, silvicultura

Resumen

La CARDER, tomó la decisión de intervenir en el manejo de los guaduales naturales de su jurisdicción, cuando revisó en detalle los resultados de dos inventarios de cobertura vegetal, realizados en los años 1991 y 1996, y detectó que el área cubierta por Guadua, había disminuido en 692,59 hectáreas, de continuarse la tendencia de desaparición de la especie, en un periodo de 21 años, se podría perder toda el área cubierta por esta especie. Las medidas implementadas para recuperar la cobertura vegetal incluyeron la generación de una normatividad específica para la Guadua, pero también la ejecución de proyectos de reforestación, y la promoción del manejo forestal sostenible. Lo anterior permitió que en la actualidad Risaralda, tenga un área cubierta por Guadua superior a la de 1.991 y que se tengan guaduales naturales con manejo forestal sostenible, certificados bajo estándares internacionales.

Abstract

The CARDER, decided to intervene in the management of natural guaduales their jurisdiction, when reviewed in detail the results of two inventories of vegetation cover, made in 1991 and 1996 and found that the area covered by Guadua, had decreased by 692.59 acres, continued the trend of disappearance of the species over a period of 21 years, could lose the entire area covered by this species. The measures implemented to restore vegetation included the generation of a specific regulation for Guadua, but also the implementation of reforestation projects, and the promotion of sustainable forest management. This allowed today Risaralda, has a covered area exceeding the 1,991 Guadua and natural guaduales be taken with sustainable forest management, certified under international standards.

Determinación del Área Cubierta por Guadua

En el departamento de Risaralda en el año 1991 el área cubierta por Guadua era de 3.590.29 hectáreas, la mayor concentración de guaduales se localizaba en el municipio de Pereira, en el año 1.996 la Corporación Autónoma Regional de Risaralda – CARDER, contrató la realización de un nuevo inventario de área cubierta con Guadua, y se determinó que la cobertura en Guadua correspondía a un área de 2.897.70 hectáreas

El municipio con mayor cobertura era Pereira, pero en un tiempo de cinco años, en este municipio desaparecieron 192.91 hectáreas, con una tasa de desaparición de 38.58 Has/año.

En el municipio de Santa Rosa de Cabal la tasa de desaparición fue de 29.13 has/año, en Marsella de 20.65 has/año, en Dosquebradas 6.97 has/año.

Es pertinente tener en cuenta que este periodo de tiempo, correspondió a la crisis cafetera, que originó la desaparición de guaduales para dar paso a otros tipos de uso del suelo, que permitieran generar ingresos alternativos al café.

Lo anterior indicaba que la tasa de desaparición de la Guadua en el departamento era de 138.52 has/año, y que si CARDER no reaccionaba ante esta situación la Guadua podría desaparecer en aproximadamente 21 años.

Para evitar que esta situación se convirtiera en realidad, la Corporación se dio a la tarea, de promover acciones orientadas a regular el uso y aprovechamiento de los guaduales, lo que conllevó a aumentar las labores de control y vigilancia forestal, a concertar con las corporaciones autónomas regionales vecinas (Caldas, Quindío, Tolima, Valle del Cauca) los mecanismos técnicos y jurídicos para lograr el manejo forestal de estos guaduales.

También se desarrollaron proyectos que promovieron la reforestación con Guadua, y se creó el Vivero Regional de la Guadua.

En el año 1.998 en el marco de un trabajo interinstitucional se actualizó el uso de la tierra para el departamento de Risaralda, determinándose que el área cubierta por Guadua cubría un área de 3.476 hectáreas. Esta cifra llamó poderosamente la atención por el aumento del área cubierta por Guadua, entre las posibles explicaciones a esta situación está la metodología utilizada para realizar los inventarios de coberturas forestales, el uso de fotografías aéreas con mejores escalas.

En el año 2002 en el marco del Proyecto de Cooperación Internacional Manejo Sostenible de Bosques en Colombia, se realizó un inventario de área cubierta por Guadua en el departamento, los resultados fueron que el área era de 3.515 hectáreas.

En el año 2011 la CARDER actualizó el Mapa de Coberturas Vegetales y determinó que el área cubierta por Guadua en todo el departamento era de 4.895. 9 has. El análisis del comportamiento de la cobertura de Guadua en el departamento de Risaralda permite concluir que se aumentó el área cubierta por Guadua en 1.305,6 hectáreas en un periodo de veinte años.

La cifra anterior indica que la tasa de recuperación de cobertura forestal fue de 65.2 hectáreas por año, lo cual permitió quebrar la tendencia de desaparición de los guaduales en Risaralda.

El resultado anterior, deja de manifiesto el interés de la CARDER por tratar de conservar y mantener el área cubierta por Guadua en su jurisdicción, debido a varios factores, entre ellos que la Guadua es el primer producto forestal no maderable en lo relacionado con los aprovechamientos forestales.

Proceso de Administración Forestal enfocada a guaduales

De otro lado, es importante tener en cuenta que en la región del Eje Cafetero la Guadua es un elemento fundamental en las labores agrícolas y en la construcción, por lo cual se ha realizado diversas acciones de coordinación interinstitucional que han permitido generar un esquema de administración forestal para los guaduales naturales, esquema que siempre estará en proceso de mejoramiento y modernización.

La CARDER, tomó la determinación en el año 1.993 de manejar los rodales naturales de Guadua existentes en su territorio bajo criterios de sostenibilidad forestal, para lo cual se hizo necesario reconocer a los diferentes actores de la Guadua, este reconocimiento implicó

concertar posturas técnicas, administrativas, legales y la creación de una normatividad especial para este recurso.

También ha sido de gran importancia, comprender que varios actores generan conocimiento, donde se resalta el papel que han desempeñado las universidades de la región, en lo relacionado con las investigaciones de los guaduales entendidos como un ecosistema.

Sin lugar a dudas, un elemento fundamental de este proceso, ha sido el de contar con el tiempo para promover el manejo forestal sostenible de los guaduales, lo cual ha implicado que desde la CARDER se haya liderado el reconocimiento de guaduales con manejo forestal sostenible. Este reconocimiento le permite a un propietario de guadual, realizar los aprovechamientos forestales solamente informándole a la CARDER que va a realizar las labores de manejo y cosecha forestal, y presentar un informe anual de las actividades realizadas en el guadual.

Cooperación Internacional y sus aportes a la región

Desde el año 1995 la CARDER ha participado en la ejecución de proyectos de cooperación internacional para la Guadua, esta situación particular le ha permitido al recurso Guadua estar presente en la agenda regional por varios años, y así mismo ser incluido en el Plan de Acción de la corporación. Sin lugar a dudas los recursos de la cooperación internacional y los expertos que han acompañado este proceso han facilitado la consolidación del trabajo relacionado con la Guadua, ya que promovieron el dialogo entre diversos actores, y la construcción de una mirada de futuro, donde la Guadua pueda ocupar varios escenarios.

Un hecho que ha marcado un hito, en la región, ha sido el del proceso de certificación forestal voluntaria, bajo el esquema del Forest Stewardship Council – FSC, después de décadas de trabajo en lo relacionado con el manejo y aprovechamiento de guaduales naturales y plantados, se tomó la determinación de conocer si el manejo que se estaba realizando se orientaba a la sostenibilidad del recurso, para poder demostrar esta hipótesis fue necesario generar los estándares para la certificación de guaduales.

Los estándares fueron construidos por actores del Eje Cafetero, y para dar paso a su implementación fue necesario realizar un fuerte proceso de capacitación a propietarios, asistentes técnicos particulares, funcionarios de las CAR, operarios forestales, sobre los principales aspectos que abarca una auditoria forestal, y en especial sobre los principios, criterios e indicadores que se deben tener en cuenta para lograr el manejo forestal sostenible.

Este proceso de lograr la certificación forestal voluntaria para guaduales naturales, tiene una connotación especial, ya que además de cumplir con los requisitos técnicos que son de gran importancia, un hecho que la hace todavía más valiosa, y es que la certificación se ha logrado para pequeños productores forestales. Lo que permitió generar un proceso de acompañamiento técnico, social y económico a pequeños productores forestales, experiencia que algunos expertos internacionales han considerado como digna de replicarse en otros países.

En el gráfico siguiente se presenta el proceso que se ha seguido en el departamento de Risaralda, para pasar de Guadua de origen desconocido a poder demostrar la legalidad y sostenibilidad del manejo de los guaduales del departamento.

Origen de la Guadua



Modificado por Rubén D Moreno 2011

Producción Forestal de Guadua en el departamento de Risaralda

De acuerdo con el sistema de información forestal que maneja la Corporación Autónoma Regional de Risaralda - CARDER, desde el año 1994 al 2013 en este departamento se ha autorizado el aprovechamiento forestal de **199.736** metros cúbicos de Guadua, la productividad promedio de una hectárea de Guadua en Risaralda es de 60 metros cúbicos, lo que indica que en 20 años de trabajo se han aprovechado aproximadamente 3.328.94 hectáreas de Guadua.

Una de las grandes preocupaciones de la CARDER, ha sido la de tratar de organizar el manejo forestal de los rodales de Guadua, de tal manera que se pudiera aumentar la producción forestal del departamento, para lo cual se estructuró la propuesta de conformación de Núcleos Forestales Productivos de Guadua, de tal manera que conformando un Núcleo en el municipio de Pereira, se pudiera producir aproximadamente 27.700 metros cúbicos de Guadua por año.

La propuesta, es manejar un total de 813 hectáreas de guaduales naturales para tener una producción anual de 27.700 metros cúbicos de Guadua, y un total para toda el área del Núcleo de 55.400 metros cúbicos. De llevarse a cabo esta iniciativa el departamento de Risaralda, aumentaría su producción forestal de Guadua en aproximadamente 2.8 veces, lo cual conllevaría varios retos, entre ellos el mercado para esta cantidad de Guadua y el segundo el esquema de administración forestal a implementar para lograr consolidar el manejo y el comercio forestal.

Reflexiones con relación al proceso adelantado y los desafíos para el manejo forestal sostenible de la Guadua

En el departamento de Risaralda y en la región del Eje Cafetero, se han desarrollado diversas investigaciones relacionadas con el manejo forestal sostenible, las cuales han permitido que en la actualidad sea posible demostrar bajo criterios internacionales, el manejo forestal

sostenible, pero la principal dificultad, ha sido la dinamización del mercado para los diferentes productos que se obtienen de los aprovechamientos forestales, esta situación se convirtió en un círculo vicioso, que no permite que nuevas áreas de guaduales entren a procesos de manejo forestal, disminuyendo y afectando las posibilidades reales del mercado regional y nacional de la Guadua.

A pesar de los años de trabajo, solamente en los predios certificados bajo estándares internacionales, los operarios forestales, cuentan con los elementos de seguridad industrial para realizar las labores de aprovechamiento forestal, esta situación indica que se debe avanzar en este proceso de generar una cultura de legalización de las operaciones forestales, pensando en la salud y seguridad de los operarios forestales.

No es frecuente en las labores de aprovechamiento forestal que las mismas se realicen con herramientas que hagan más eficiente las labores de manejo forestal, todavía, se hacen las labores de apeo y troceo de la Guadua, con herramientas básicas (machete, palín, hachuelas, etc.) las cuales son de bajo impacto, pero reducen la rentabilidad de las operaciones forestales.

El departamento y la región no cuentan con una buena oferta de asistencia técnica forestal para el manejo forestal sostenible, es evidente que se requiere con urgencia personal capacitado en los aspectos técnicos relacionados con el manejo de rodales naturales y plantados de Guadua, pero también se requiere de personal capacitado en aspectos relacionados con el comercio de la Guadua, con procesos de transformación.

De otro lado, es preciso avanzar en la consolidación de valorar la Guadua y los guaduales, como ecosistemas estratégicos para la mitigación del cambio climático, esta situación indica que se deberá adelantar una revisión juiciosa de los estudios desarrollados a la fecha y definir un plan de trabajo que permita que la Guadua, sea considerada una especie potencial para la restauración de ecosistemas, para la mitigación del cambio climático y como una fuente alternativa maderable.

CÁLCULO DE ESTRUCTURAS DE BAMBÚ DE GRANDES CLAROS

Ing. Armando Moreno Sánchez

*Oriente 146 No. 215
Colonia Moctezuma 2da Sección
Delegación Venustiano Carranza
C.P 15530
contacto@calculo-estructural.com.mx*

Palabras clave: Bambú, Cálculo, Estructura.

Resumen

Antes de empezar el proyecto estructural y tener al 100% el diseño arquitectónico, se deberá analizar en el laboratorio el bambú a emplear. Antes de calcular una estructura hay que conocer lo siguiente: El código Andino, Libros de texto de resistencia de materiales, El reglamento Colombiano sismo resistente, Se procede a calcular las cargas de diseño, diseñar las conexiones, la manera más adecuada de transmitir cargas a la cimentación es por medio de perfiles metálicos.

Abstract

Before starting structural project the architectural design has to be completed 100%. The bamboo selected has to be analyzed first. Some previous data has to be known before the calculating the structure. The Andino Code, Manuals or books about material strengths, The Colombian Regulation Book about earthquakes. After that, the design loads calculation has to be done as well as the connections. The proper manner to transmit the loads toward the foundations is through metal profiles.

Introducción

¿El bambú es en realidad el acero de la selva?

Según pruebas efectuadas en el laboratorio de resistencia de materiales de la UNAM el comportamiento del bambú no es parecido ni al concreto ni al acero, tampoco a la madera, su comportamiento se asemeja más al neopreno, esperamos que próximamente los ensayos efectuados a diferentes tipos de bambú que crecen en México sean publicados por la UNAM y los profesionistas que se están iniciando en el diseño de estructuras de bambú ya no tengan que apoyarse en pruebas de laboratorio efectuadas en otros país.

La finalidad de esta ponencia es compartir las experiencias a nivel profesional en el diseño de estructuras de bambú desde una pequeña estructura hasta estructuras de grandes dimensiones.

Metodología del cálculo estructural de un proyecto en bambú.

1.- Preliminares: Antes de empezar el proyecto estructural es primordial tener al 100% el diseño arquitectónico (Figura 1), es importante que durante el diseño se cuente con la opinión del estructurista con el fin de venir tomando en cuenta que la forma geométrica siga las reglas básicas recomendadas en los manuales de diseño de estructuras.

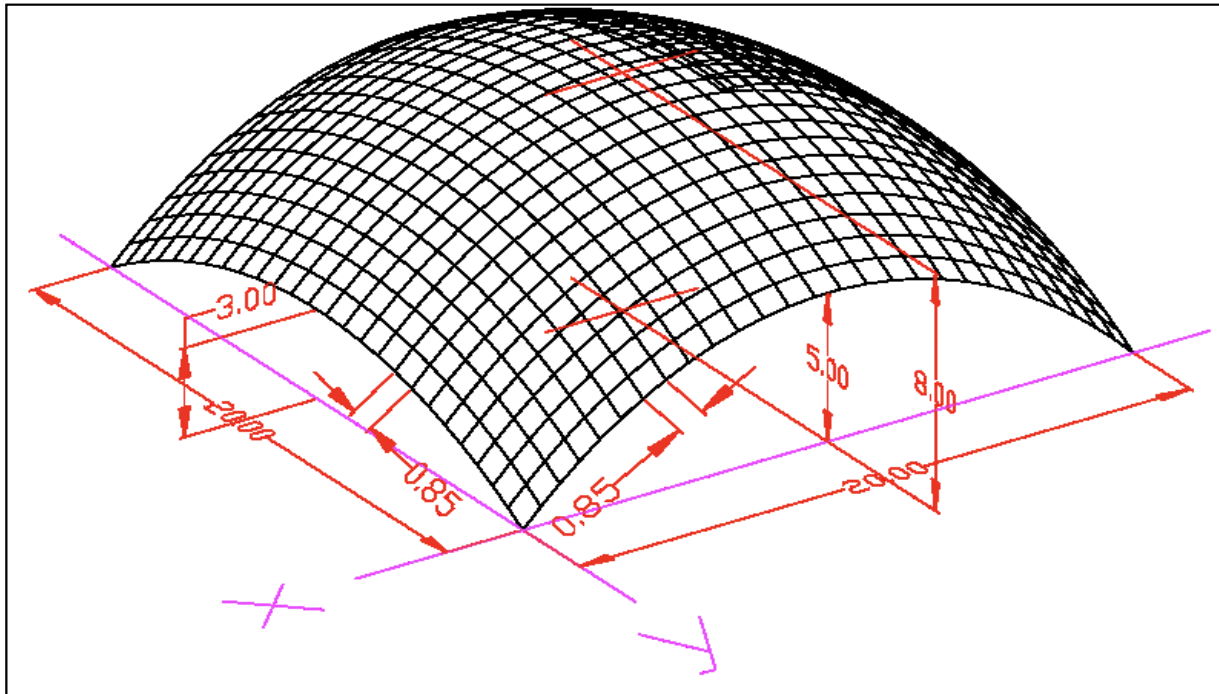


Figura 1. Diseño arquitectónico (unidades en metros).

2.- Análisis en laboratorio: A la par que se trabaja el proyecto arquitectónico, se deberá analizar en el laboratorio el bambú a emplear con el fin de obtener datos como son: resistencia a la compresión, resistencia a la flexión, al cortante, al aplastamiento, la resistencia al cortante paralelo a la fibra, peso volumétrico, módulo de elasticidad, módulo de Poisson.

3.- Información: Antes de calcular una estructura hay que conocer lo siguiente:

- El código Andino para diseño de madera
- Libros de texto de resistencia de materiales
- El reglamento Colombiano sismo resistente (aunque este es muy limitado a estructuras de dos pisos)
- Manejar de manera profesional un programa de análisis de estructuras
- Manejar los módulos de elemento finito teniendo experiencia en interpretar los datos de salida de la corrida del análisis

- Ser su mente cuidadoso cuando se le carguen las unidades al programa de cálculo ya que nos va pedir megapascuales newton por mm kilo libras y otros que si no estamos familiarizados con las conversiones, podemos cometer errores muy importantes y entonces nuestros resultados se van a reflejar a la hora que se construya la estructura

Por qué las estructuras suelen fallar, se nos agrietan, se flechan y vibran, es su manera de decirnos que algo hicimos mal y la cara del cliente nos va decir lo demás, también debemos conocer los reglamentos de construcción locales en sus normas técnicas complementarias así como el manual de diseño por viento de la CFE (Figura 2).

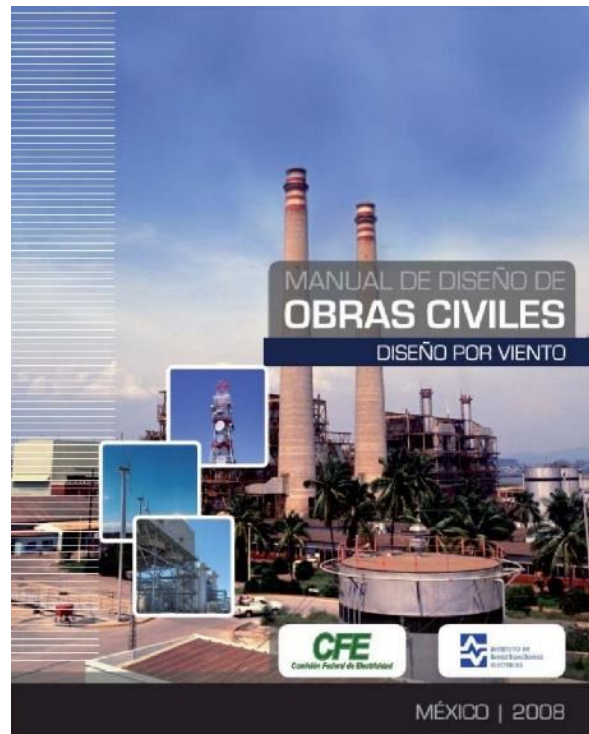


Figura 2. Manual de diseño CFE.

4.- Cargas de diseño: Una vez que se cuentan con todo lo anteriormente mencionado se procede a calcular las cargas de diseño que básicamente son cargas permanentes (es el peso propio de la estructura, el reglamento nos indica los pesos volumétricos que le vamos a aplicar a la estructura) y cargas accidentales (viento el sismo y el granizo la carga viva) estos valores los vamos a obtener del reglamento de construcción vigente y sus Normas técnicas complementarias.

Al aplicar dichas cargas permanentes y accidentales (Figura 3 y 4) se deben afectar de un coeficiente de seguridad que depende si nuestra estructura es del grupo A o B, con todo este conjunto de cargas se elabora un modelo tridimensional utilizando nuestro programa de cálculo, el cual nos va generar en la salida de datos los elementos mecánicos como son

tensión, compresión, torsión, desplazamientos, giros, cortante etc.

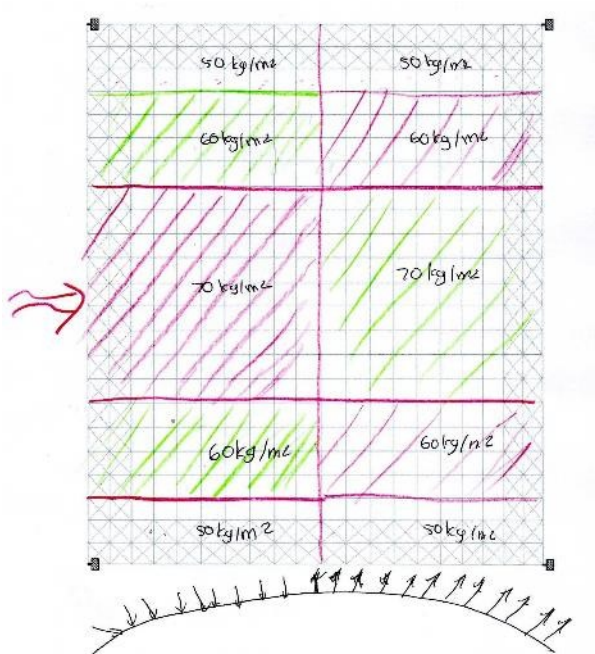


Figura 3. Accidentales (Viento)
(Viento)

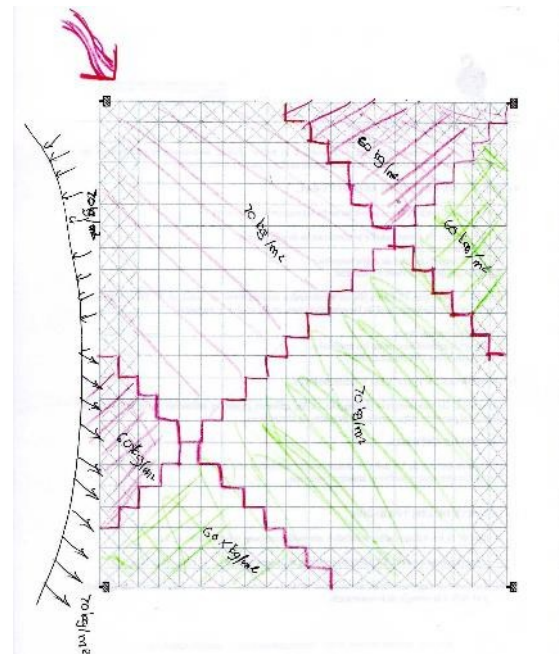


Figura 4. Accidentales

Con estos elementos vamos a calcular los esfuerzos de trabajo a los que están sometidos los diferentes elementos que forman la estructura y vamos a compararlos con los esfuerzos permisibles obtenidos de nuestro análisis de laboratorio.

5.- Diseño de conexiones: El siguiente paso es diseñar las conexiones, aquí es muy importante el trabajo porque precisamente las estructuras de barras fallan en las conexiones, esta debe ser una parte fina del análisis ya que el trabajo del bambú en el cortante paralelo a la fibra es sumamente bajo aproximadamente de 1.5 kg/cm^2 y las paredes del bambú tampoco son muy gruesas, entonces hay que ser muy cuidadosos al checar unas conexiones extremas sobre todo las que trabajan a la tensión (Figura 5), otro punto que debemos cuidar es la longitud de los miembros que forman nuestra estructura no pasen de la longitud de pandeo porque si no vamos tener problemas de deformaciones.



Figura 5. Cable a tensión.

6.- Cargas en cimentación: ¿De qué manera bajamos nuestras cargas a la cimentación?

Se ha hecho un uso indiscriminado de la conexión Vélez la cual consiste en rellenar un canuto de mortero de cemento arena y se usa para hacer las veces de elemento conector entre la estructura y la cimentación. Pero en ese aspecto es muy deficiente su trabajo mecánico ya que forma una especie de articulación lo que origina redistribución de esfuerzos en la estructura, no hay realmente transmisión de las columnas a la cimentación y la teoría nos dice que para que haya una condición de empotramiento la conexión no debe girar, no debe de deformarse, no desplazarse y esto no se logra con la conexión tipo Vélez.

La manera más adecuada sería bajar las cargas a la cimentación por medio de perfiles de acero (Figura 6).



Figura 6. Soporte metálico construido a base de placa.

Conclusiones y comentarios

Con relación a las estructuras de bambú podemos comentar que es un material apropiado para construir estructuras de grandes dimensiones, pero hay que terminar con varios paradigmas uno de los cuales es que solo teniendo culmos arriba de los 10 cm de diámetro, 8 mm de espesor y de bambú de características que iguales o se parezcan al bambú colombiano se puede construir obras audaces y nos hemos olvidado de los culmos de 2 pulgadas de diámetro y espesores de pared de 3 a 4 mm.

En algún momento todos hemos visto cómo es que el cascarón de huevo trabajando como membrana siendo muy delgado no lo podemos romper con toda la fuerza de nuestra mano, esto se debe al trabajo en arco del cascarón, si llevamos este ejemplo tan simple a nuestras estructuras podremos ser capaces de utilizar bambú con diámetros más pequeños en nuestras estructuras.

Un ejemplo más sería el método romano de la cadena para trazar arcos usado en la cúpula del panteón de agripa, por último en concursos estudiantiles de diseño de puentes construidos con palos de paleta pegados con pegamento blanco, se logró obtener en un cilindro simulando una columna una resistencia a la compresión de 500 kg ensayado en los laboratorios del IPN México.

Como conclusión final podemos entender que con la ayuda de software, fórmulas, investigación, ingeniería, apoyo del laboratorio de resistencia de materiales podemos hacer trabajar los materiales al límite dentro de los parámetros de seguridad que nos piden los reglamentos de construcción y sus normas técnicas complementarias de cada país.

EL CRECIMIENTO DEL MERCADO DEL BAMBÚ EN EL MUNDO Y LA CALIDAD EN LOS PROCESOS INDUSTRIALES. ESTUDIO DE CASO: FABRICACIÓN DE MUEBLES EN GUADUA

Jorge Augusto Montoya Arango, Ph.D
UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA
jorgemontoya@utp.edu.co

Resumen

El desarrollo del Bambú en Colombia representado por la *Guadua angustifolia* Kunth, ha tenido en los últimos 15 años progresos significativos, sin embargo el sector carece de apoyo de parte del estado y una verdadera “Política de la Guadua”. La Guadua se considera un digno representante del Desarrollo Sostenible, por todos sus servicios ambientales que ella ofrece y una oportunidad para la mitigación del cambio climático. En cuanto a las aplicaciones industriales, desde su parte basal hasta la apical, la Guadua ofrece múltiples productos y aplicaciones. El desarrollo de estas industrias y sectores representan un impacto significativo en la generación de empleo y disminución de la pobreza en Colombia, el futuro es inmenso pero se debe contar con políticas claras de apoyo a toda la cadena productiva de la Guadua. El estudio de caso que se presenta de la industria del Mueble, muestra los procesos industriales que deben tener en una la línea de producción para obtener una buena calidad y un mejoramiento continuo.

Palabras Clave: Guadua, desarrollo sostenible, procesos industriales, aplicaciones y usos.

Abstract

The development of the bamboo in Colombia, mainly represented by the “*Guadua angustifolia* Kunth”, has had a significant progress in the last 15 years, however, this sector lacks of an actual support from the State and a true "Guadua Policy ". The Guadua is considered a worthy agent of Sustainable Development due to all the environmental services it provides and the opportunity for mitigating climate change. Regarding to the industrial applications, since its base to its top, the Guadua offers multiple products and applications. The development of these industries and sectors represent a significant impact for the employment generation and for the poverty reduction in Colombia. The future is huge but it should have clear policies that support the entire production chain of Guadua. The case study presented in the furniture industry, shows that industrial processes must be in a production line looking to get a good quality and continuous improvement.

Keywords: Guadua, sustainable development, industrial processes, applications and uses

Introducción

El desarrollo del Bambú en Colombia representado por la *Guadua angustifolia* Kunth, ha tenido en los últimos 10 años progresos significativos. Con el Desarrollo Sostenible que impulsa productos naturales que sean renovables y que disminuyan el impacto del cambio climático, la Guadua se presenta como uno de los principales exponentes del tema en mención que aporta principalmente con el desarrollo de productos FSC⁶ fabricados en Guadua cómo son los muebles para decoración.

Los productos fabricados en Guadua, durante su ciclo de vida, han capturado CO₂ fijando el “C” carbono en su estructura leñosa y liberando el “O₂” a la atmosfera. La fijación de éste carbono en su estructura convertido en un “bien o producto”, evita las emisiones de éste elemento al ambiente y reduce la problemática ambiental del planeta. Posteriormente en su fase final del ciclo de vida, es un producto biodegradable que cierra el ciclo del carbono de una forma sostenible y amigable al medio ambiente.

Entre las muchas aplicaciones industriales que tiene la Guadua, podemos decir que son múltiples y de gran variedad. Todas sus partes son de gran importancia, así: las raíces se usan para la medicina, la industria farmacéutica y para productos artesanales; los rebrotes de algunas especies de Bambú, se usan para alimentación; la parte basal los primeros 4m “cepas” para aplicación de pulpa de papel y para la producción de carbón vegetal e industrial cómo el activado; los siguientes 6m para la producción de pisos, denominadas “basas” son empleadas para muebles rollizos, laminados y esterilla prensada; la última parte las “sobrebases”, los siguientes 6m para persianas, palillos, muebles laminados y construcción; la última parte, la parte apical o “varillón”, se usa para producción de palillos, tutores en viñedos, andamios y construcción en general. Las ramas y hojas, son de gran aplicación en textiles, extractos, medicina, alimentación (Zhu, 2005).

Es bueno también, comparar aspectos relacionados con el desarrollo socio-económico de comunidades que usan el Bambú con fines industriales, se puede comparar la generación de empleo por hectárea versus el impacto económico en disminución de la pobreza en (US\$/ha). Los productos como Guadua para construcción, carbón de Bambú (Briquetas) y pulpa para papel; tienen un valor de 0,2 empleos/ha o sea que 5 ha generan 1 empleo e ingresos de 500 US\$/ha. Aplicaciones cómo esteras aglomeradas, paneles de esterilla y la producción de palillos; tienen un valor de 0,8~1,0 empleos/ha e ingresos entre 1.000~1.400 US\$/ha. Los productos de mayor valor agregado son los pisos laminados, laminados para muebles y los muebles en Guadua que presentan un valor de 1,1~1,2 empleos/ha e ingresos por ~2.500 US\$/ha⁷ (Marsh & Smith, 2006).

El crecimiento del mercado del Bambú en el mundo en los últimos 8 años ha venido incrementándose de US\$7.000 millones y se espera que para el año 2020 alcance un valor de US\$20.000 millones, su mayor crecimiento estará en el tema de los laminados de esterilla para paneles y muebles laminados, que crecerá del 5% hace 5 al 45% en el año 2017;

⁶ FSC: Forest Stewardship Council- Consejo de Gobernanza Forestal

⁷ IFC: International Finance Corporation

mientras los mercados de artesanías, persianas, otros muebles (mueble tradicional artesanal) no crecerán mucho, datos del proyecto río Mekong realizado por MPDF⁸.

El gran reto en el futuro para la *Guadua angustifolia* Kunth es incursionar en el mercado de la esterilla prensada, los muebles del mismo material y las estibas de carga o pallets en latas de Guadua cómo lo vienen realizando varias empresas del eje cafetero.

Procesos Industriales Caso De Estudio

La calidad en los productos elaborados en Guadua debe ser la prioridad en los procesos de fabricación de Muebles y otros artículos, en una planta de producción tipo industrial. Los procesos que se muestran aquí, son el proceso productivo de la empresa estudio de caso TECNIAMBIENTAL Muebles en Guadua.

1. Selección del sitio:

El procedimiento de selección de muestras en procesos de investigación debe tener en cuenta el sitio de extracción (González & Montoya, 2006), (Liese, 1998), la topografía y la ubicación del tramo a lo largo del culmo son de gran importancia en la calidad de los productos de Bambú (Liese & Kumar 2003), (Sattar, *et al.*, 1991), (Abd. Latif & Liese, 1998). Se conocen diferentes tipos de sitio, considerados de mucha importancia en el proceso de corte de la Guadua, los tres tipos son Valle, Loma y Cima. Valle se considera que la Guadua esté a 0 a 50m de distancia de un acuífero; Loma, que se encuentre en una pendiente y Cima, que la Guadua esté totalmente en una Cima y retirado de un Acuífero (Montoya, 2006).

2. Selección de la Guadua:

La selección de la Guadua igual que el sitio es importante, se debe tener presente su grado de madurez (NTC 5458: 2006), no sirve Guadua joven o demasiado madura, debido a que no presentan unas adecuadas propiedades físico-mecánicas para las aplicaciones industriales.

3. Transporte primario:

El transporte primario del guadua a las plantas de procesamiento primario es de gran importancia para las aplicaciones posteriores, sí la presentación de la Guadua en forma rolliza es de importancia, debido a que las condiciones de transporte no son las adecuadas y en muchas ocasiones afectan la calidad de los muebles. Se deben tomar las medidas de prevención adecuadas para ello.

4. Pre-secado en patio:

La duración del de secado al aire libre depende de factores climáticos (temperatura, humedad relativa y velocidad del aire) y de las características propias de las guadas, (diámetro, espesor de pared, contenido de humedad, edad, posición del tramo con respecto a la longitud y sitio), por lo que no se puede estimar con exactitud un proceso

⁸ MPDF- Mekong Private Sector Development Facility

normalizado; se podría decir que en época de verano seco, el tiempo de duración del secado puede ser de dos meses y en invierno puede llegar hasta seis meses o más para conseguir un resultado del Contenido de Humedad de Equilibrio (%CHE). El % de CHE se puede calcular tomando la HR% y T°C promedio de sitio, que para el caso de Pereira es de 75% y 22°C respectivamente durante todo el año (Montoya & Orozco, 2005).

5. Preservación

Como segunda fase del proceso, la preservación y el secado industrial, son parte fundamental de la línea de producción. Una buena preservación en sales de bórax, complementado con un secado industrial en cámara, hacen de la calidad, un excelente productos en Bambú-Guadua (Montoya & Orozco Hincapié, 2005), (Montoya, 2008). La preservación se puede hacer en caliente o en frío por inmersión, ambos procedimientos son válidos pero dependen de lo que se desee en el proceso, para procesos industriales eficientes, el proceso se hace con temperatura.

6. Secado en cámara

El secado convencional en cámara es fundamental para la calidad de los productos en Guadua, existen otros métodos para secar no tan eficientes y eficaces como el secado en cámara. Se puede secar con un programa suave de secado que tiene un tiempo de duración de 8 a 12 días (Montoya, 2006), con un programa adecuado de secado de Guadua rolliza en cámara convencional cómo se presenta en la Tabla 1. La Figura 1, muestra la cámara convencional de secado cuyo funcionamiento es totalmente automática.



Figura 1: Secador convencional de Guadua

Tabla1: Programa de secado para cámara convencional (Montoya, 2006),

Programa de Secado para Guadua					
	CH%	Tbs °C	Tbs °C	HR%	ΔT° C
Paso 1	>60	40	32	55	8
Paso 2	50-60	40	32	55	8
Paso 3	40-50	40	32	55	8
Paso 4	30-40	40	32	55	8
Paso 5	20-30	36	26	42	10
Paso 6	10~20	36	26	42	10
Paso 7	<10	36	26	42	10

7. Descortezado

Con el propósito de dar un acabado final a la textura de las fibras superficiales de la Guadua, se realiza un proceso de descortezado o procedimiento de separación de la corteza. Este proceso de producción se hace con máquina herramienta adecuada para tal fin, se debe tener en cuenta la profundidad de descortezado y que sea homogénea la capa superficial. La Figura 2, muestra Guadua descortezada con acabado final lado izquierdo y sin acabado lado derecho.

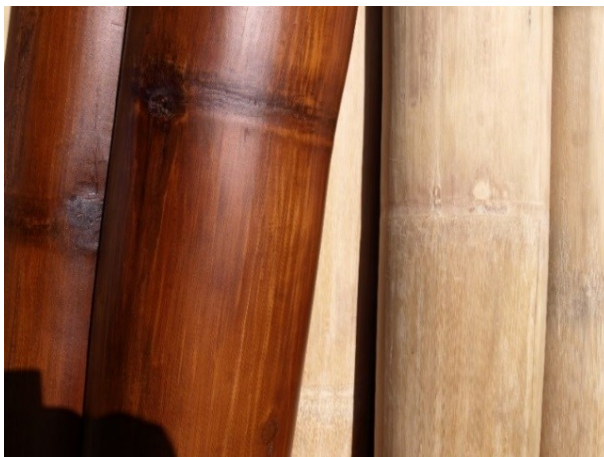


Figura 2: Guadua descortezada con acabado final y sin acabado.

8. Trozado

Después al proceso de descortezado las Guaduas son dimensionadas y cortadas de acuerdo a la pieza que se esté fabricando. En la Figura 3, se puede ver la máquina usada para ésta operación se denomina acolilladora o trozadora. En la Figura 4, se observa tramos trozados.



Figura 3: Máquina Acolilladora o Trozadora



Figura 4: Guaduas Trozadas a diferentes dimensiones

9. Torneado

El proceso de torneado se usa en la fabricación de muebles para dos operaciones, la primera para tornear las Guadua y terminarlas de cilindrar sus diámetros exteriores y la segunda para cilindrar los tarugos⁹ en madera que se introducen al interior de la Guadua para su respectiva fijación. La fijación se hace con bolillos elaborados en Guadua, ver Figura 5 parte inferior izquierda.



Figura 5: Máquina Torneadora de madera y guadua

⁹ Tarugo: Pieza de madera al interior de la parte hueca de la Guadua, para facilitar la sujeción.

10. Tarugado

La operación de tarugado a presión, consiste en introducir los tramos de madera en pino, al interior de la parte hueca de la Guadua, previamente se adiciona pegante PVA, sobre la superficie del tarugo de forma cilíndrica; posteriormente se introduce a presión al interior de la pieza en Guadua



Figura 6: Partes de Guadua con tarugo y sin tarugo

11. Abocardado

El proceso de abocardar es hacer la boca cilíndrica para que una Guadua encaje en otra, comúnmente se conoce como el “boque-pescado”. Esta operación se puede hacer de dos formas, la primera usando copa-sierras y taladro de pie; la segunda empleando rodillos cilíndricos, recubiertos con lijas de tamaño de grano N°24, N°36, N° 50.

12. Montaje /Armado

Para el montaje y armado de los muebles, se debe hacer con elementos o correas de amarre como se muestra en la Figura 7, con el objeto de hacer un adecuado montaje a escuadra. Se debe contar con otros insumos como pegante y puntillas.



Figura 7: Montaje de camas en Guadua

13. Sellado/Lacado

Para el proceso de sellado se debe preparar la superficie de tal forma que esté totalmente seca, libre de contaminantes y suciedades. Posteriormente se debe lijar la superficie con lija suave y adicionar el sellador con pistola. Dejar secar durante 2 horas, proceder a lijar nuevamente y dejar la superficie lista para adicionar la Laca con catalizador o acelerante para un secado rápido, con el objeto de evitar que dure mucho tiempo el proceso de secado y las piezas no se afecte en su calidad. En la Figura 8, se muestra el equipo empleado para el sellado y lacado.



Figura 8: Equipo para sellado y lacado en Guadua

Conclusiones

Del presente artículo podemos presentar varias conclusiones de acuerdo a lo que es hoy el desarrollo industrial de la Guadua en nuestro país y lo que es el Bambú en el contexto internacional, así:

- Es evidente el crecimiento a nivel mundial de los productos elaborados en Bambú, principalmente los chinos que dominan el mercado internacional. Otros países asiáticos vienen en crecimiento, pero aún son bajos comparados con los chinos.
- Los productos que se pueden elaborar y fabricar de Bambú son muchos y de gran variedad para los sectores tanto industrial, como del sector químico, el de la medicina y el artesanal.
- El mercado de los productos en Guadua en Colombia, es un mercado muy incipiente, no existe una oferta y ni demanda considerable, no cuenta con una política de apoyo por parte del estado hacia los productos en Guadua
- y se debe diferenciar de los productos chinos, apoyándose en las fortalezas que tiene la Guadua como materia prima, cómo son su elasticidad, la dureza, las características taxonómicas y por sobre todo los productos deben ser de excelente calidad.
- Para que los productos sean de excelente calidad, deberán tener una preservación adecuada, preferiblemente por inmersión en sales de bórax con temperatura o utilizando autoclave con vapor. El secado deberá ser en cámara convencional automática o secado mecánico.
- La capacitación estándar del personal de las empresas de tipo industrial para la elaboración de productos en Guadua, deberá ser adecuada y de excelente calidad.
- Para la fabricación de muebles en Guadua, el proceso del tarugado y un adecuado abocardado son fundamentales en la calidad de los productos para muebles en Guadua.
- Debido a que la Guadua microscópicamente es porosa, antes del proceso del lacado, se debe hacer un proceso de sellado, esto con el objeto de mejorar la calidad superficial y también disminuye el consumo excesivo de laca catalizada.

Referencias bibliográficas

- Zhu, Zhaohua (2005): Bamboo Industry's Impact Evaluation on Rural Sustainable Development in Anji, China. In INBAR International Training Workshop on a Small Bamboo Daily Product Processing Technologies and Machines, pp. 16-33.
- Marsh, J. & Smith, N. (2006): New Bamboo Industries and Pro-Poor Impact – Lessons from China and Potential for Mekong Countries. Mekong Bamboo Consortium Project.
- González Betancourt, H. A. & Montoya Arango. J.A. (2006): Metodología de preparación de muestras experimentales en procesos investigativos con *Guadua*

angustifolia Kunth. Scientia et Technica. Universidad Tecnológica de Pereira, Volumen 31, pp. 279 - 284.

- Liese, W. (1998): The anatomy of bamboo culms. INBAR Techn. Rep. No 18, Beijing, China. 208 pp.
- Liese, W., & Kumar, S. (2003): Bamboo preservation compendium. INBAR - CIBART, ABS-Technical Report No 22, New Delhi, India. 231 pp.
- Sattar, M.A., Kabir, M.F., Bhattacharjee, D.K. (1991): Effect of the Age and Height Position of Muli (*Melocanna baccifera*) and Borak (*Bambusa balcooa*) Bamboo on the Physical and Mechanical Properties. Bamboo in the Asia pacific, proceeding 4th international Bamboo Workshop, FORSPA Publication N° 6, Chiangmai- Thailand, pp 183-187.
- Abd. Latif M., Liese, W. (1998): Moisture content of two Malasyan Bamboos in relation to age, culm height, site and harvesting month. Bamboo for Sustainable Development, Costa Rica, 257-268pp.
- Montoya Arango. J.A. (2006): Trocknungsverfahren für die Bambusart *Guadua angustifolia* Kunth unter tropischen Bedingungen, Tesis Doctoral, Universidad de Hamburgo, pp. 254. Hamburgo.
- NTC 5458: (2006). Elaboración de artesanías y muebles con culmos maduros de *Guadua angustifolia* Kunth, ICONTEC, Bogotá.
- Montoya Arango, J.A. (2006): Determinación de la curva de secado al aire libre, mediante modelación matemática y experimental de la *Guadua angustifolia* kunth, Scientia et Technica. Universidad Tecnológica de Pereira, Volumen 30, pp. 415 - 419.
- Montoya Arango, J.A. & Orozco Hincapié, C.A. (2005): Secado solar y convencional de la *Guadua angustifolia* Kunth, Scientia et Technica. Universidad Tecnológica de Pereira, Volumen 27, pp. 133 - 138.
- Montoya Arango, J.A. (2008): Evaluación de métodos para la preservación de la *Guadua angustifolia* Kunth. Scientia et Technica. Universidad Tecnológica de Pereira, Volumen 38, pp. 411 - 416.

PROCESAMIENTO DIGITAL DE IMÁGENES PARA MODELAR EL COMPORTAMIENTO DE LA GUADUA

M.L.S. Cruz^a, K. Ghavami^b, L.Y. Morales^c

^a Universidad Militar Nueva Granada, Carrera 11 101.80, martha.sanchez@unimilitar.edu.co

^b Pontificia Universidade Católica de Rio de Janeiro, Marques de São Vicente, 225, Gávea, ghavami@civ-puc-rio.br

^c Universidad Militar Nueva Granada, Carrera 11 101.80, luz.morales@unimilitar.edu.co

Resumen

Debido a la estructura de los culmos de bambú, es posible su denominación como material compuesto natural con *funcionalidad graduada*. Estudios preliminares han demostrado que en los culmos las fibras se distribuyen de forma desigual tanto en el sentido radial como en el sentido longitudinal de los mismos, afectando su comportamiento mecánico. Este trabajo tiene como objetivo analizar la mesoestructura de culmos de Guadua Angustifolia, utilizando el Procesamiento Digital de Imágenes como herramienta para la modelación de su comportamiento mecánico. Se usó el software KS-400 útil en la caracterización de materiales, específicamente en la modelación del bambú como material compuesto. A partir de los resultados obtenidos es posible determinar las propiedades de la matriz y de la fibra del compuesto mediante la aplicación de la regla de las mezclas.

Palabras claves: bambú, procesamiento digital de imágenes, funcionalidad graduada, propiedades mecánicas, volumen de fibras.

Abstract

Due to their structure, the bamboo can be regarded as a composite materials with graded functionality. Preliminary studies have shown that the fibers in the culms are unevenly distributed both in the radial direction as in the longitudinal direction thereof, affecting their mechanical behavior. This work aims to analyze the mesostructure of Guadua angustifolia bamboo culms, using the Digital Image Processing as a tool for modeling the mechanical behavior. Its was used the KS-400 software, that is a useful tool in the characterization of materials, specifically in the modeling of bamboo as composite. From the results obtained it is possible to determine the properties of the matrix and fiber of the composite by applying the rule of mixtures.

Keyword: bamboo, digital image processing, graduated functionality, mechanical properties, fiber volume

Introducción

La utilización de materiales de bajo costo en la construcción civil se ha convertido en una exigencia básica en la actualidad. Los materiales convencionales requieren un consumo elevado de energía para su producción, involucrando numerosos recursos financieros. Es en este sentido que se impone el uso de materiales ecológicos que son económicos en su producción y que contribuyen al mantenimiento de un ambiente saludable (Ghavami, 1982).

Por su versatilidad, el bambú es uno de los materiales más antiguo utilizado por la humanidad. Su uso en la ingeniería data de la era AC en China, donde puentes suspensos eran construídos con cabos de bambú. A partir de esos puentes, estructuras espaciales, cúpulas, andamios y coberturas fueron usualmente encontrados principalmente en países asiáticos.

Características físicas de los colmos

Los culmos de bambú son formados por cáscaras cilíndricas, generalmente huecas y muy esbeltas (Liese, 1985). El espacio vacío dentro de la caña es denominado de cavidad, las cuales son separadas por diafragmas. Las cavidades situadas entre dos diafragmas son llamadas de región internodal y poseen espesor variable. Los culmos se diferencian en dependencia de la especie, en longitud, en diámetro y en distancia internodal.

Estructuralmente, el bambú puede ser considerado un material compuesto, constituido por fibras largas y alineadas de celulosa inmersas en una matriz de lignina. Estas fibras se concentran más a medida que se aproxima a la cáscara más externa, lo que posibilita que el bambú pueda resistir las cargas del viento, que son la sollicitación más constante a la que estarán expuestos durante su vida en la naturaleza. Esta variación de las fibras es conocida como *funcionalidad graduada* (Amada, 1996).

Constituyentes de la pared del culmo

- Superficie exterior dura y lustrosa que evita parcialmente la pérdida de agua de la caña.
- Células parenquimales, donde son almacenados los nutrientes.
- Conjuntos vasculares que contienen:
 - a) Vasos que conducen agua.
 - b) Tubos conductores de nutrientes.
 - c) Fibras de paredes gruesas compuestas de celulosa. Esta región es conocida con el nombre de esclerénquima y es responsable por la resistencia mecánica del bambú

El conjunto vascular es el componente que más variaciones presenta en cuanto a forma, tamaño y distribución en la pared del culmo. Estas variaciones coinciden con la reducción del espesor pared (Liese 1985). Así como el diámetro radial se reduce más que el tangencial, la configuración de los conjuntos vasculares varía a lo largo de la altura del bambú, pasando de forma arredondada en la base a forma oval en el tope (Liese 1998).

Una correcta previsión del comportamiento mecánico del bambú en régimen elástico puede ser realizada utilizando la regla de las mezclas, que ofrece una buena aproximación a las propiedades de los materiales compuestos a partir de las propiedades de la fibra y la matriz y de sus fracciones volumétricas (Tsai, 1987). Para poder utilizar estas ecuaciones en el análisis de elementos de bambú es necesario su adaptación, de modo que sea considerada la variación de la fracción volumétrica de las fibras en el espesor, asumiendo que esta variación se da según un eje x , donde el origen es la pared interna y el límite máximo es la pared externa del culmo de bambú.

La ecuación de la regla de las mezclas puede ser representada según la ecuación 1:

$$E_c = f(x) = E_f V_f(x) + E_m (1 - V_f(x)) \quad 1$$

donde E_c es el módulo de elasticidad del compuesto, E_f es el módulo de elasticidad de las fibras, E_m es el módulo de elasticidad de la matriz y $V_f(x)$ es la variación del volumen de fibras en el eje horizontal (x).

Procedimiento Experimental

Para determinar la fracción volumétrica de las fibras y su variación en el espesor, se obtuvieron con ayuda de un microscopio óptico imágenes de muestras preparadas en el Laboratorio de Microscopia Digital de la Pontificia Universidad Católica de Rio de Janeiro (PUC-Rio). Las muestras analizadas fueron extraídas de la cepa, basa y sobrebasa de culmos de *Guadua Angustifolia*, procedentes del Jardín Botánico de Rio de Janeiro, con una edad de 4 años (ver Figura 1).

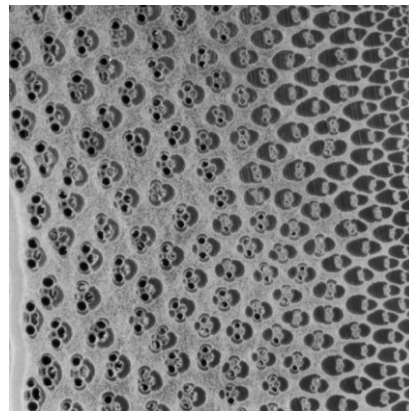


Figura 1. Imagen obtenida para análisis de la mesoestructura de *Guadua angustifolia*.

Para el estudio cada imagen fue dividida en 12 secciones perpendiculares a la dirección de la variación de la concentración de fibras. Siendo calculadas las fracciones volumétricas de cada sección, los valores obtenidos son trazados en un gráfico en función de la posición en el espesor. Las manipulaciones realizadas sobre las imágenes fueron realizadas con el software KS-400 versión 3.0.

La etapa inicial de estudio fue el seccionamiento de cada imagen (Paciornik & Mauricio, 2004). Esta división permitió darle un tratamiento individual a cada porción de la misma hasta la etapa de extracción de atributos.

La separación de las fibras fue realizada utilizando dos métodos diferentes de segmentación: segmentación automática y segmentación adaptativa. En la segmentación adaptativa se analizó cada sección separadamente hasta obtener la mayor aproximación a los tamaños de los conjuntos vasculares (González & Woods, 2008).

El post procesamiento realizado consistió en la reducción de los ruidos de la imagen. Estos ruidos son pequeños elementos que pueden ser considerados fibras, alterando la confiabilidad de las mediciones (Gomes, 2001). Una vez hecho esto podemos proceder a la extracción de atributos, o sea, la determinación de la fracción volumétrica de fibras. La secuencia de etapas de análisis es esquematizada en la Figura 2.

Análisis de los Resultados

Los resultados obtenidos en el estudio comprueban que el volumen de fibras aumenta de la base para el tope del culmo, independientemente de la región analizada. Esto es coherente si analizamos la resistencia mecánica a tracción y cizallamiento de los mismos, la cual es mayor en el tope por ser esta la zona de mayor concentración de esclerénquima. La esclerénquima se encuentra orientada de forma paralela al eje del bambú, siendo la mayor responsable por la resistencia de los mismos debido a su alto contenido de celulosa. En los gráficos obtenidos no se aprecian variaciones significativas cuando son estudiadas muestras extraídas de diferentes regiones de del culmo (ver Figura 3). Cuando se compara los resultados obtenidos con diferente tipo de segmentación, se observa una mayor precisión con la segmentación adaptativa. La tabla 1 presenta los valores obtenidos en estos casos, analizando imágenes divididas en 12 secciones.

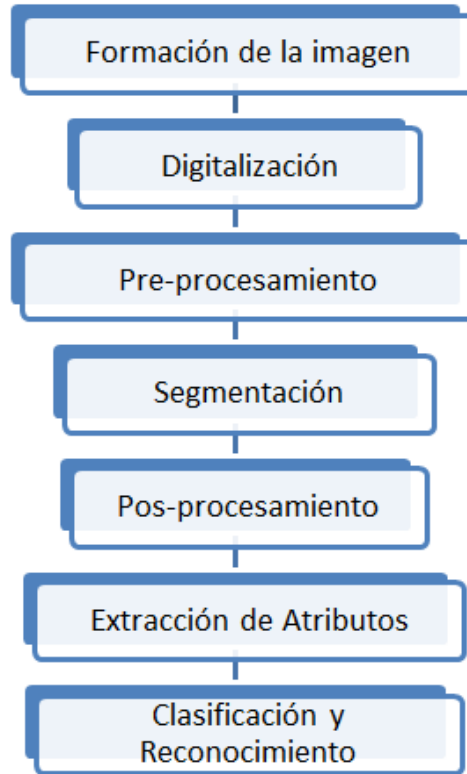


Figura 2. Esquema de la secuencia de trabajo.

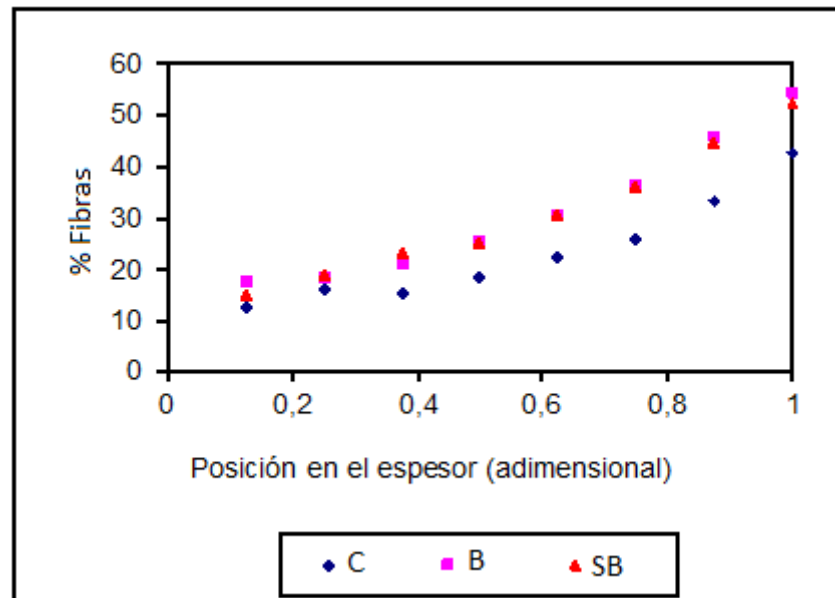


Figura 3. Variación del volumen de fibras a lo largo de longitud del culmo C:Cepa, B:Basa, SB:Sobrebasa

Tabla 1. Variación del porcentaje de fibras para muestras divididas en 12 secciones.

No. de Sección	6.1.1 Segmentación adaptativa			6.1.2 Segmentación automática		
	Cepa	Basa	Sobrebasa	Cepa	Basa	Sobrebasa
1	7,76	10,95	16,83	19,41	14,22	22,03
2	15,58	16,06	17,86	22,96	21,40	25,14
3	20,16	18,53	22,13	24,72	22,92	27,25
4	23,16	23,97	28,84	27,30	27,82	28,59
5	30,88	28,31	36,65	31,99	30,64	31,82
6	29,95	30,83	37,71	35,08	35,56	35,07
7	34,51	37,58	38,58	39,56	40,06	39,03
8	40,61	44,86	51,31	46,94	47,14	47,55
9	43,66	49,80	52,06	51,80	50,79	52,81
10	46,31	51,10	59,63	56,81	56,73	59,43
11	49,62	55,77	61,37	64,18	63,98	66,20
12	50,48	58,60	64,21	68,30	69,77	70,05

Analizando los resultados obtenidos para este tipo de muestra, se observa que para esta especie la distribución del volumen de fibras es menor en la cepa del culmo y posee valores muy próximos en la basa y la sobrebasa. No obstante es de señalar que las características anatómicas de los culmos dependen de numerosos factores: edad de la planta, clima, lugar de plantación, etc. Comparando los resultados obtenidos con el volumen de fibras para la especie *Phyllostachys aurea*, se nota que la *Guadua* presenta menos volumen de fibras. Este es uno de los motivos por el cual su resistencia mecánica es menor cuando es solicitada a esfuerzos de tracción y cizallamiento interlaminal (ver tabla 2).

Tabla 2. Influencia del porcentaje de fibras en el comportamiento mecánico de bambú de las especies *Phyllostachys aurea* y *Guadua angustifolia*.

Región	<i>Phyllostachys aurea</i>			<i>Guadua angustifolia</i>		
	V _f (%)	(σ _t) (MPa)	τ (MPa)	V _f (%)	(σ _t) (MPa)	τ (MPa)
Cepa	8,85- 49,9	193, 13	3,92	14,85- 52,21	93,40	3,55
Basa	13,32- 58,81	234, 80	4,61	17,92- 54,49	95,80	4,19
Sobreba sa	16,9- 61,43	272, 42	4,80	12,77- 42,69	115,8 0	3,59

Conclusiones

La solución de los problemas propuestos fue realizada de forma simple, obteniendo resultados satisfactorios. El empleo de la segmentación adaptativa propició resultados más reales y confiables, permitiendo visualizar el resultado y obteniendo mayor precisión en el resultado que se desea cuantificar. El uso del KS-400 es una herramienta muy útil en la caracterización de materiales en sentido general, siendo en nuestro caso específico de gran aplicación en la modelación del bambú como material compuesto. A partir de los resultados obtenidos es posible determinar las propiedades de la matriz y de la fibra del compuesto mediante la aplicación de la regla de las mezclas.

Referencias bibliográficas

- Amada, S. The mechanical structures of bamboos in viewpoint of functionally gradient and composites materials. Journal of composites materials. Vol.30, n° 7, 1996.
- Ghavami K.. Bambu, um Material Alternativo na Engenharia. Revista Engenharia: Construção Civil / Pesquisa Engenho Editora Técnica Ltda, São Paulo, No. 492, pp. 13-27, 1992
- **Gonzalez R.C & Woods R. - "Digital Image Processing" – Prentice Hall, 2008. 3rd ed. 954p**
- Gomes O. Processamento e Análise de Caracterização Automática– Dissertação de Mestrado – PUC-Rio (2001)
- Liese. W. Bamboos- Biology, silvics, properties, utilization. Schriftenreihe der GTZ, No. 180. Eschborn, 1985

- Liese, W. The Anatomy of Bamboo Culms. Technical Report. International Network for Bamboo and Rattan, Beijing. Peoples Republic of China, 1998. 203p.
- Paciornik S. and Mauricio M.H.P Digital Imaging in ASM Handbook: Metallography and Microstructures (2004).
- Tsai. S. Composite Design. Think Composites, 1987 - 512 páginas.

Agradecimientos:

Los autores agradecen a las agencias brasileras CAPES y CNPq por el auxilio financiero en el desarrollo de este trabajo y al grupo de Investigación IGE de la Universidad Militar Nueva Granada de Colombia.

CONEXIONES EN GUADUA LAMINADA – EXPERIMENTACIÓN, MODELACIÓN Y TEORÍA

Juan F. Correal^a, Juan S. Echeverry^b, Fernando Ramírez^c

^a Universidad de los Andes, Cra 1E 19A-40, Bogotá, Colombia. jcorreal@uniandes.edu.co

^b Universidad de los Andes, Cra 1E 19A-40, Bogotá, Colombia.
js.echeverry103@uniandes.edu.co

^c Universidad de los Andes, Cra 1E 19A-40, Bogotá, Colombia. framirez@uniandes.edu.co

Palabras clave: Guadua laminada, conexiones, Modelo Europeo de Fluencia, elementos finitos.

Resumen

El diseño de estructuras de Guadua laminada requiere el conocimiento del comportamiento y la capacidad de las conexiones mecánicas entre elementos estructurales, para asegurar una adecuada transmisión de cargas entre estos. Con el fin de conocer este comportamiento para poder obtener valores de diseño, se realizaron ensayos de carga lateral en conexiones simples entre miembros de Guadua laminada. Los resultados experimentales fueron comparados con las predicciones de capacidad a carga lateral siguiendo el Modelo Europeo de Fluencia (EYM, por sus siglas en inglés) y modelos numéricos con elementos finitos. Esta comparación indica que el EYM predice adecuadamente la capacidad de los especímenes ensayados, y puede ser utilizado para estimar las capacidades de diseño de las conexiones simples entre elementos de Guadua laminada.

Abstract

The design of glued laminated Guadua structures requires the knowledge of the behaviour and loading capacity of mechanical connections between structural members, for providing an adequate load path between the latter. In order to study this behaviour and obtaining design values, lateral load tests were conducted on single-fastener connections between glued laminated Guadua members. Experimental results were further compared with lateral load capacity predictions following the European Yield Model (EYM) and finite element models. This comparison indicates that the EYM predicts adequately the capacity of the specimens tested, and can be used for estimating the design capacity values for single-fastener connections between glued laminated Guadua members.

Introducción

La construcción de estructuras de bambú en su estado natural rollizo presenta limitaciones debido a la irregularidad de la sección transversal en la longitud del culmo, la cual genera la dificultad de encontrar elementos estructurales rectos y especialmente la construcción y estandarización de uniones (Correal & Ramírez, 2010).

Por esta razón, se han desarrollado a nivel mundial diferentes tipos de laminados de bambú que permiten aprovechar las ventajas ambientales y de propiedades mecánicas del bambú rollizo, a la vez que solucionan los problemas de irregularidades geométricas. Particularmente para el caso colombiano, los laminados de Guadua han surgido como una alternativa para uso estructural, pues estudios previos han mostrado que tienen propiedades físicas y mecánicas comparables con las especies de madera utilizadas comúnmente en construcción (López & Correal, 2009).

Debido a lo anterior, el Centro de Investigaciones en Materiales y Obras Civiles (CIMOC) de la Universidad de los Andes, en Bogotá, Colombia, condujo un estudio extensivo de validación del comportamiento estructural de los laminados de Guadua. Como parte de este estudio, se investigó el comportamiento experimental de conexiones simples (es decir, con un único pasador) entre elementos de Guadua laminada, como el primer paso hacia la determinación de valores de diseño adecuados. Debido a las similitudes que presentan los laminados de guadua con la madera estructural, los métodos de ensayo y el enfoque analítico con el cual se condujo esta investigación están basados en las prácticas comunes de la ingeniería de maderas. El principal objetivo de esta parte de la investigación consistió en evaluar la aplicabilidad del Modelo Europeo de Fluencia (EYM, por sus siglas en inglés) para predecir la capacidad a carga lateral de conexiones simples entre elementos de Guadua laminada, mediante la comparación de los resultados experimentales y los valores obtenidos analíticamente.

Modelo Europeo de Fluencia (EYM)

El Modelo Europeo de Fluencia propuesto por Johansen (1949), ha sido adaptado en códigos de diseño estructural de maderas a nivel mundial como la base teórica para calcular la capacidad a carga lateral de conexiones simples, pues investigaciones previas (Aune & Patton-Mallory, 1986; McLain & Thangjitham, 1983; Soltis & Wilkinson, 1987) demostraron su aplicabilidad para conexiones en maderas con pernos o puntillas como pasadores.

Este modelo consiste en un método analítico para la estimación de la capacidad a carga lateral de una conexión simple entre dos o tres miembros (a cortante simple o cortante doble), por medio de la predicción del modo de falla de la conexión, a partir de una serie de modos de falla esperados. Estos modos de falla se ilustran en la Figura 1, y están descritos por: aplastamiento uniforme en el miembro bajo el pasador (modos Im o Is), rotación del pasador como cuerpo rígido (modo II), y desarrollo de rótulas plásticas en el pasador debidas a flexión, acompañado de aplastamiento local en el miembro (modos III_m, III_s y IV). Los subíndices “m” y “s” indican que el aplastamiento ocurre en el miembro principal (“main”) o lateral (“side”), respectivamente.

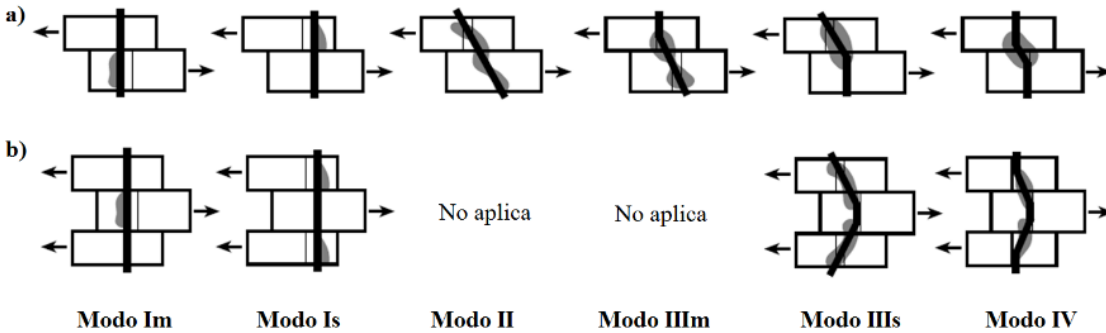


Figura 1. Modos de falla considerados en el Modelo Europeo de Fluencia (EYM): a) conexiones entre dos miembros; b) conexiones entre tres miembros.

La capacidad de las conexiones es estimada como la carga de fluencia a partir de un análisis estático que considera que tanto el pasador como los elementos son elastoplásticos. Esta capacidad depende de las dimensiones de los miembros conectados, la resistencia al aplastamiento de los miembros, y la resistencia a fluencia por flexión del pasador. Para este estudio, se consideraron únicamente las conexiones entre tres elementos de Guadua laminada.

Materiales y métodos

Los elementos de Guadua laminada fueron fabricados por la empresa Colguadua Ltda. ubicada en Caicedonia, Valle del Cauca, y el proceso productivo se describe a continuación. Culmos de *Guadua angustifolia* Kunth de aproximadamente 4 años de edad, y de 4 a 5 m de longitud son cortados en secciones de 1 a 1.5 m, para obtener elementos relativamente rectos. Cada una de estas secciones se corta en sentido radial y se remueven los tabiques internos. Estas secciones cortadas son secadas en horno hasta obtener un contenido de humedad promedio de 5%, y luego son cepilladas por sus cuatro caras, hasta obtener láminas de 7 a 10 mm de espesor, 20 a 25 mm de ancho, y 1 a 1.5 m de longitud. Todas las láminas son impregnadas por sus cuatro caras con una resina de urea formaldehído, y pegadas por sus cantos aplicando una presión lateral de 1.2 MPa a 100°C, obteniendo tableros. Luego, estos tableros se pegan entre sí por las caras hasta obtener el espesor deseado del elemento, aplicando una presión de 2 MPa. A partir de éste, se cortan las probetas utilizadas para la fase experimental de este estudio. La resistencia al aplastamiento para cada uno de los diámetros de pasador considerados se determinó experimentalmente como parte del proyecto de investigación (Ramírez *et al.*, 2012).

Las barras roscadas utilizadas como pernos en las conexiones fueron suministradas por la empresa Gutemberto en Bogotá. Se utilizaron barras de acero SAE Grado 2, con diámetros nominales entre 6.35 mm y 25.4 mm (1/4" a 1"), con rosca de tipo UNC-2A, y una resistencia a flexión de 444.8 MPa. Las puntillas fueron suministradas por la empresa El Caballo en Bogotá, y se utilizaron puntillas con diámetro de 4.19 mm (0.165"), y una resistencia a flexión de 676.4 MPa. Los valores de resistencia a flexión reportados para las barras roscadas y las puntillas se determinaron experimentalmente como parte del proyecto de investigación.

Se realizaron ensayos de carga lateral en especímenes de tres elementos de Guadua laminada conectados por un único pasador, considerando tanto la dirección paralela como perpendicular de las fibras en el miembro principal con respecto al sentido de aplicación de carga. Estas dos configuraciones se muestran en la Figura 2. Para el caso de conexiones con barras roscadas, también se consideraron platinas de acero como miembros laterales. Todos los elementos fueron pretaladrados para una perforación con un diámetro 1.6 mm (1/16") mayor que el diámetro de las barras roscadas. Las conexiones construidas con puntillas no fueron pretaladradas.

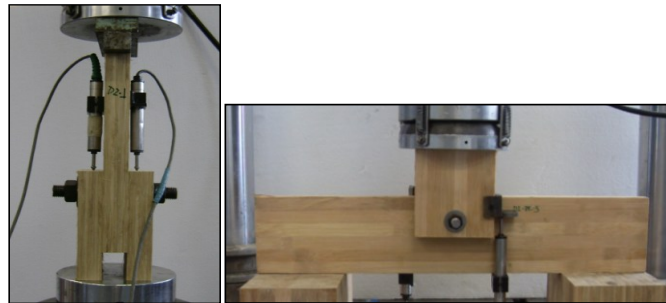


Figura 2. Configuraciones para ensayos de conexiones: a) dirección paralela a las fibras; b) dirección perpendicular a las fibras.

Los elementos de Guadua laminada que hacían parte de una conexión provenían del mismo elemento, con el fin de asegurar la homogeneidad de las propiedades mecánicas de estos. Todos los elementos fueron cortados con dimensiones de 1200 mm de longitud, 110 mm de ancho, y 30 mm de espesor. Todas las platinas de acero utilizadas tenían espesor de 6.35 mm (1/4"). Para el caso de especímenes en la dirección perpendicular a las fibras, la distancia entre los apoyos del montaje se tomó como 330 mm para especímenes con barras roscadas de 12.7 mm, 19.1 mm y 25.4 mm de diámetro, y 180 mm para especímenes con barras roscadas de 6.35 mm y puntillas de 4.19 mm. Estas distancias equivalen a tres veces el espesor del miembro principal, de acuerdo a las especificaciones de la norma ASTM D1761 (ASTM, 2006), utilizada como referencia.

En total se realizaron 70 ensayos de conexiones simples, considerando como variables el tipo y diámetro del pasador, la dirección de las fibras del miembro principal, y el material de los miembros laterales, con el fin de poder generar resultados representativos de todos los modos de falla posibles para conexiones con tres elementos. El programa detallado de ensayo se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1. Programa experimental comparación de resultados experimentales con predicciones el EYM.

Tipo de pasador	Diámetro nominal (mm)	Dirección de las fibras	Miembro lateral	No.	Result. Exp.		EYM		Dif. (%)
					Promedio (kN)	COV (%)	Capacidad (kN)	Modo falla	
Puntilla	4.19	Paralela	Guadua	5	2.93	12	3.31	IV	13
		Perpend.	Guadua	5	2.40	6	2.92	IV	22
Barra	6.35	Paralela	Guadua	5	4.61	18	4.87	IV	6
		Perpend.	Guadua	5	3.47	12	4.14	IV	20
	12.7	Paralela	Guadua	5	14.61	12	17.37	IIIs	19
		Perpend.	Guadua	5	8.50	9	8.40	Im	-1
	19.05	Paralela	Platina	5	16.40	6	16.50	Im	0
		Perpend.	Platina	5	8.30	10	8.40	Im	1
		Paralela	Guadua	5	25.02	7	26.03	Im	4
		Perpend.	Guadua	5	11.60	6	13.52	Im	16
	25.4	Paralela	Platina	5	27.67	10	26.03	Im	-6
		Perpend.	Platina	5	12.95	13	13.52	Im	4
		Paralela	Guadua	5	33.94	12	31.61	Im	-7
		Paralela	Platina	5	36.71	6	31.61	Im	-14

Resultados y comparación con EYM

El análisis de la falla de las conexiones deben tener en cuenta la relación entre el espesor del miembro principal y el diámetro del pasador, L/D. Para relaciones L/D bajas (pasadores con diámetros grandes) se presentaron grietas que se extendían desde la perforación, para las dos configuraciones de orientación. Estas grietas se deben a los esfuerzos de tensión perpendicular a las fibras generados por el pasador sobre la Guadua. Para relaciones L/D altas (pasadores con diámetros pequeños), se presentaron fallas por aplastamiento localizado en la perforación, tanto para especímenes paralelos como perpendiculares.

La Tabla 1 muestra los valores promedio de capacidad encontrados experimentalmente, para cada configuración de conexión, así como la predicción de la capacidad mediante el EYM. A excepción de las conexiones con orientación paralela que tienen un modo de falla tipo Im, se encontraron diferencias entre los resultados experimentales y el EYM entre -1% y +22%. Esto quiere decir que el EYM sobre-estima la capacidad de la conexión para los casos en los que el modo de falla es de tipo IIIs o IV, o cuando la carga es aplicada en sentido perpendicular a las fibras del miembro principal. Esto podría tomarse como un criterio conservador para efectos de diseño. La Figura 3 muestra fotografías de las conexiones ensayadas indicando claramente la similitud con los modos de falla planteados por el EYM.

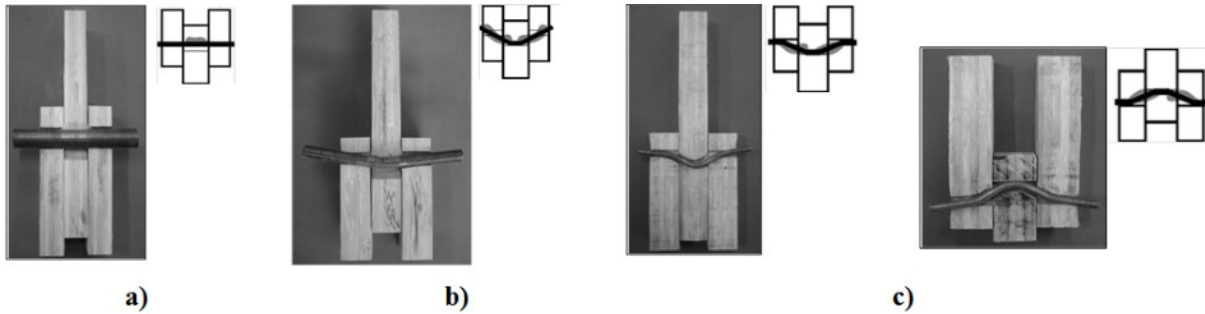


Figura 3. Fotografías de modos de falla de ensayos de conexiones: a) modo de falla Im paralelo; b) modo de falla IIIs paralelo; c) modo de falla IV paralelo y perpendicular.

Modelos numéricos con elementos finitos

Como parte de esta investigación, se desarrolló un modelo computacional tridimensional con elementos finitos de las conexiones estructurales simples entre elementos de Guadua laminada, con el fin de obtener una herramienta que permita evaluar el comportamiento estático de este tipo de conexiones sometidas a cargas laterales. Con este modelo de elementos finitos se pretendía estimar, no solamente la capacidad a carga lateral de la conexión, sino también el estado de esfuerzos y deformaciones a los que se encontrarían sometidos los diferentes elementos que hacen parte de la conexión. El desarrollo de esta herramienta permitiría a su vez, una vez el modelo fuera validado, estudiar la influencia de las diferentes variables a considerar en el diseño de conexión, sin necesidad de un programa experimental ambicioso. Todos los modelos numéricos con elementos finitos fueron desarrollados utilizando el software especializado de modelación ANSYS v. 1.0.

La Figura 4 muestra los resultados de la modelación numérica, donde se puede observar claramente la similitud entre el modelo y los modos de falla del EYM. Además, permite determinar el estado de esfuerzos al cual se encuentran sometidos los miembros de Guadua laminada y el pasador. Los resultados de los modelos numéricos son muy cercanos (diferencias menores a 15%) a las predicciones del EYM, para todos los casos.

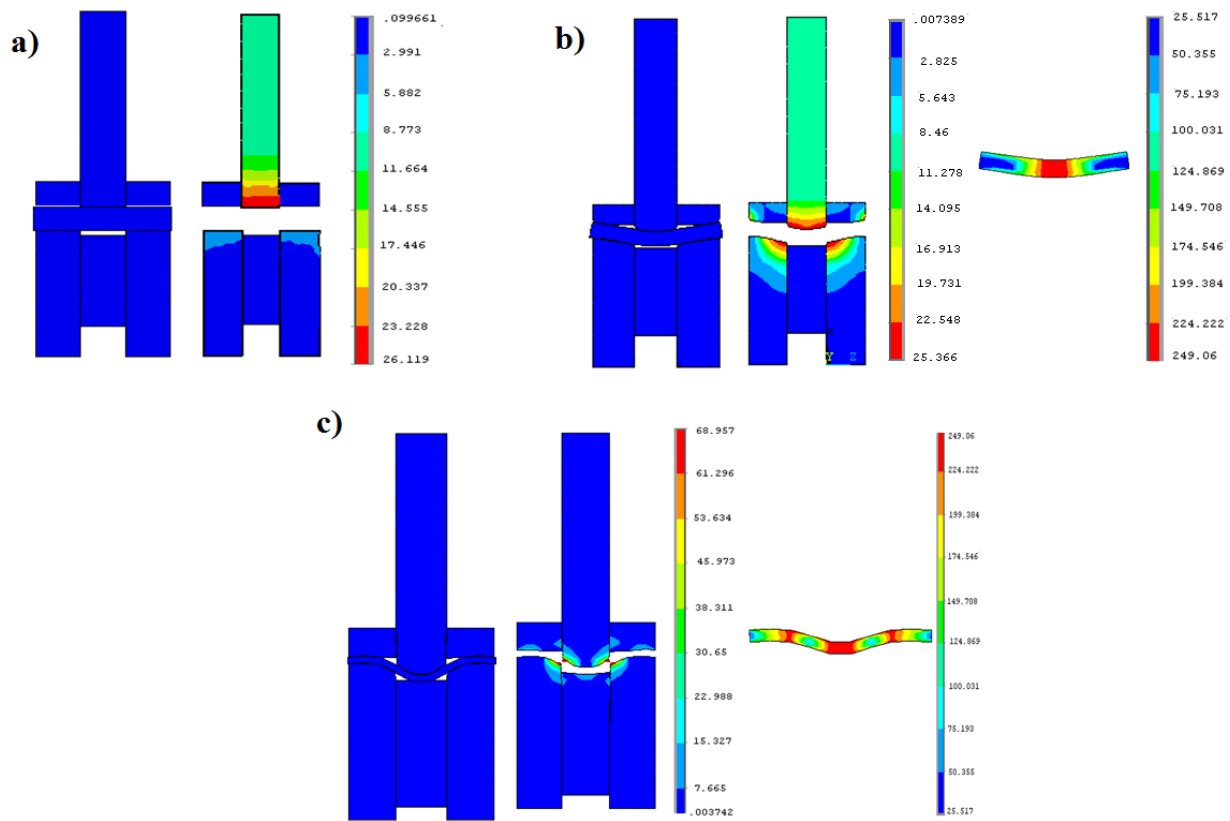


Figura 4. Resultados de deformación y esfuerzos de modelos numéricos con elementos finitos: a) modo de falla Im; b) modo de falla IIIs; c) modo de falla IV.

Conclusiones

A partir de los ensayos experimentales, la validación con el modelo analítico, y el desarrollo de los modelos numéricos con elementos finitos, se puede concluir lo siguiente:

- El EYM predice adecuadamente la capacidad lateral de las conexiones de Guadua laminada, y los modos de falla observados experimentalmente coinciden con los modos de falla establecidos por el modelo analítico. El modelo sobre-estima la capacidad de las conexiones con modos de falla IIIs y IV, y en sentido perpendicular de aplicación de carga, por lo cual puede usarse como un criterio conservador para efectos de diseño.
- Las fallas observadas para conexiones con pasadores de diámetros mayor indican que se debe tener cuidado con el agrietamiento de la conexión, lo cual puede inducir una falla frágil. Por esta razón se considera necesario adelantar un estudio más detallado para este tipo de conexiones con el fin de dar recomendaciones de diseño.
- Los modos de falla obtenidos a partir de los modelos numéricos con elementos finitos coinciden con los modos de falla encontrados experimentalmente, y la teoría analítica. Adicionalmente, se obtienen capacidades muy similares a las predicciones del EYM, y por lo tanto podrían ser utilizados para realizar un estudio de la influencia de las variables en el comportamiento de la conexión, sin necesidad de un programa experimental ambicioso.

Agradecimientos

Los autores agradecen el patrocinio del Ministerio de Agricultura de la República de Colombia para el desarrollo del proyecto “Validación Tecnológica de los Laminados de Guadua para la Industria de la Construcción”. Además se quiere extender el agradecimiento a todo el grupo de trabajo del Laboratorio de Modelos Estructurales y el Centro de Investigaciones en Materiales y Obras Civiles (CIMOC de la Universidad de los Andes, en especial a los ingenieros Juan Carlos Atoche y Carlos Mario Piscal, por su extraordinaria colaboración en el desarrollo de esta fase de la investigación.

Referencias bibliográficas

- ASTM. 2006. ASTM D1761, *Standard Test Method for Mechanical Fasteners in Wood*, ASTM International.
- Aune, P., Patton-Mallory, M. 1986. *Lateral load-bearing capacity of nailed joints based on the yield theory*. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, Madison, WI.
- Correal, J.F., Ramírez, F. 2010. Adhesive bond performance in glue line shear and bending for Glued Laminated Guadua bamboo. *Journal of Tropical Forest Science* 22(4): 433-439.
- Johansen, K. 1949. The theory of timber connections. *International Association of Bridge and Structural Engineering* 9: 249-262.
- López, L.F., Correal, J.F. 2009. Exploratory study of the glued laminated bamboo *Guadua angustifolia* as a structural material. *Maderas, Ciencia y Tecnología* 11(3): 171-182.
- McLain, T.E., Thangjitham, S. 1983. Bolted wood-joint yield model. *Journal of Structural Engineering* 109(8): 1820-1835.
- Ramírez, F., Correal, J.F., Yamín, L.E., Atoche, J.C., Piscal, C.M. 2012. Dowel-bearing strength of Glued Laminated *Guadua* bamboo. *ASCE Journal of Materials in Civil Engineering* 24(11): 1378-1387.
- Soltis, L., Wilkinson, T. 1987. *Bolted connection design*. General Technical Report, U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, Madison, WI.

ALGUNOS CASOS DE ESTUDIO SOBRE ESTRUCTURAS LIGERAS CON BAMBÚ

Marcos Javier Ontiveros Hernández

*Facultad de Arquitectura, Universidad Nacional Autónoma de México

Laboratorio de Estructuras, Edificio Anexo, Ciudad Universitaria, México, D.F., CP 04510, México

arq-ontiveros@comunidad.unam.mx

Palabras clave: estructura ligera, estructura de bambú

Resumen

Como consecuencia del trabajo académico y práctico que se viene realizando en el Laboratorio de Estructuras de la Facultad de Arquitectura en la Universidad Nacional Autónoma de México – UNAM, la búsqueda de alternativas para estructuras resistentes por forma y no por masa, comprometidas con la optimización de materiales, la eficiencia y por ende con la sustentabilidad de la propuesta estructural en la arquitectura, en los últimos años se han realizado algunas propuestas constructivas de cubiertas en las que se han utilizado el bambú y la guadua cultivadas en México sobre las cuales discurrirá la presente ponencia.

Abstract

As a result of the academic and practical work developed in the Structures Laboratory of the Faculty of Architecture at the Universidad Nacional Autónoma de México - UNAM, looking alternatives for lightweight structures, committed to optimizing materials, efficiency and sustainability of the structural proposed in recent years there have been some designs for covers that have been used bamboo and guadua in Mexico, topic for this presentation.

Introducción

Pese a que el bambú es utilizado comúnmente en México como material para muebles y construcciones artesanales de bajas prestaciones, no se puede decir que se cuenta con una cultura de construcción con bambú, la cual está dominada por sistemas tradicionales como concreto reforzado y los blocks de barro o cementado, los cuales son los únicos que autoridades públicas o privadas consideran para ser apoyados con recursos sociales o préstamos hipotecarios. Una de las metas de investigación, presentada en el este documento, es incrementar la confianza que la sociedad mexicana le tiene al bambú como una posibilidad económica, práctica y segura para un uso estructural en la arquitectura, y con ello sembrar las bases para permitir a las construcciones con bambú acceder a dichos recursos.

Si bien sabemos que la capacidad resistente del bambú mexicano no es comparable a la de otros materiales tradicionalmente considerados como estructurales, es posible afirmar que la reacción de peso con capacidad mecánica si es comparable, lo cual permite abrir posibilidades de aplicación en sistemas estructurales ligeros que requieren de menor masa; al lograr, mediante el uso de la geometría, un trabajo eficiente, principalmente bajo esfuerzos axiales; sin embargo el reto consiste en encontrar la configuración geometría adecuada para dicho material, que mejor cumpla con estos principios de mecánica y geometría.

Pruebas Mecánicas

Cada material tiene propiedades mercancías particulares y por ende una o varias formas particulares de estructurarse, en la caso del bambú es importarle tomar en cuenta estas características particulares para concebir su estructuración y no como un material tradicional tipo madera o acero. la arquitectura de bambú es única en su género y presenta grades diferencias incluso entre distintas latitudes, por lo cual, es lógico suponer que sólo por medio de un profundo conocimiento de las cualidades y propiedades mecánicas específicas de la región en la que se va a construir, aunado al manejo hábil y adecuado de la geometría, el arquitecto, ingeniero o diseñador podrá concebir, diseñar y construir estructuras resistentes e innovadores edificios utilizando el bambú como material principal.

Para lograr lo anterior la doctora Magdalena Trujillo, miembro del equipo de investigación, se dio a la tarea de caracterizar mecánica y topológicamente el bambú mexicano, de la sierra de Veracruz en las especies Guadua Angustifolia, Oldhami y madake, mediante el protocolo ISO-22157.

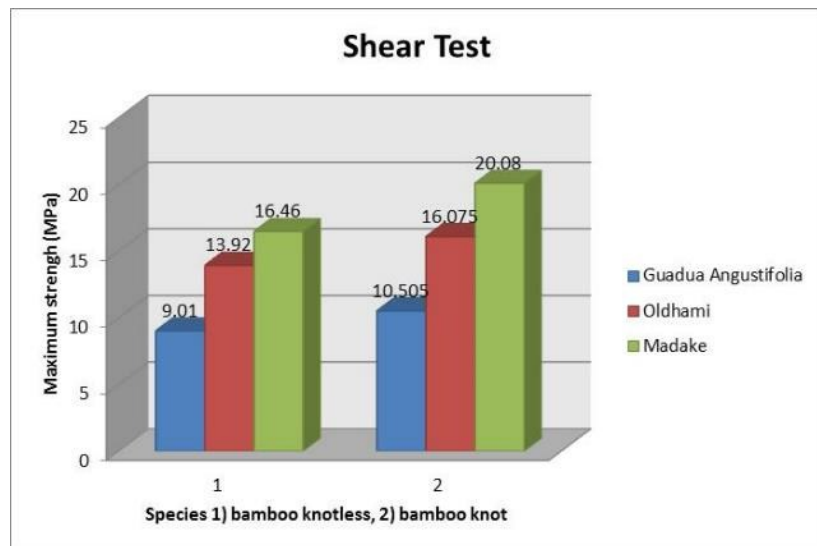


Figura 1. Pruebas de cortante y gráfica comparativa resultante, para las tres especies analizadas Dr. Magdalena Trujillo, Mexico, UNAM, 2013

Posibilidades de aplicación

En la tradición artesanal de construcción con bambú en México normalmente son utilizados tallos silvestres de regiones tropicales, sin embargo el impulso que la conciencia sobre la sustentabilidad actualmente está dando a este material, ha hecho considerar el positivo impacto socioeconómico de promover al bambú como una opción arquitectónica formal, para distintos géneros de edificios diseñados y construidos bajo las mejores prácticas aplicables y con materiales cultivados y tratados industrialmente.

Cuando Eduardo Torroja escribe que “Cada material tiene una personalidad específica distinta, y cada forma impone un diferente fenómeno tensional...” podemos señalar que el bambú no es la excepción y para encontrar la forma adecuada a la personalidad del bambú es necesario conocerlo a profundidad. En ello se ha centrado la primera parte de la investigación, sin embargo esto no sería significativo sin las alternativas de aplicación a sistemas estructurales eficientes de bajo impacto ecológico y con viabilidad constructiva y económica.



Figura 2. Construcción tradicional con Bambú en México.

Para lograr lo anterior se desarrollaron dos casos de estudios donde se utilizó la información generada en las pruebas mecánicas, para análisis y diseñar dos sistemas estructurales que difieren en su configuración geométrica, pero ambas concebidas como “estructuras resistentes por forma”

A) Estructura reticular, (1er estudio de caso)

El primer proyecto tiene como antecedente una cubierta temporal diseñada en 2010, para la conmemoración del centenario de fundación de Universidad Nacional Autónoma de México, donde se exploró una configuración reticular de 300 m².

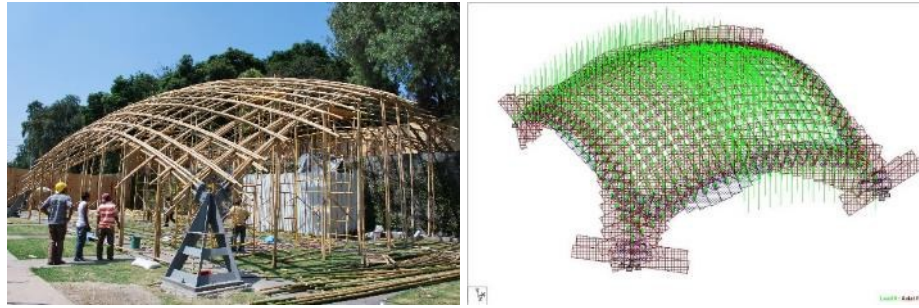


Figura 3. Pabellón temporal para el centenario de la UNAM, Septiembre 2010

El nuevo caso de estudio se originó, a partir de una invitación para colaborar con el despacho SMA “Sordo Madaleno arquitectos” en un proyecto para la isla de Cozumel en el caribe mexicano, lo cual dio la oportunidad de retomar la configuración reticular, esta vez para solucionar una envolvente vertical sometida a cargas de viento extremas cercanas a los 240 km/h, lo cual se solucionó con una estructura híbrida de bambú, acero inoxidable, aluminio y pernos de polipropileno.

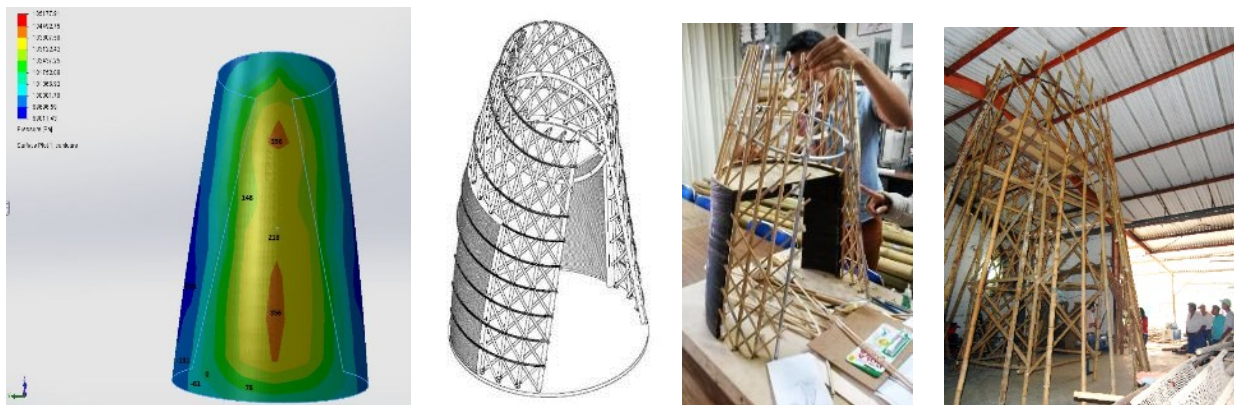


Figura 4. a) Cargas de viento; b) Configuración geométrica; c) Maqueta de estudio; d) Prototipo en proceso

Sobre una base de concreto prefabricado, se ancla una envolvente de forma cónica con directriz circular de 5 m de diámetro en la base y 8 m de altura. La reticulación final consta de 18 postes verticales de *Guadua Angustifolia* y diagonales de bambú tipo *Oldhamii* de 8.9 cm y 6.5 cm de diámetro, respectivamente.

La estructura de acero inoxidable, necesaria para limitar el periodo natural de vibración, consta de tres postes de 10 cm de diámetro, dos ubicados en la boca de acceso y uno en la cara posterior, así como de un anillo en el tercio alto de modelo. Para integrar la capa de recubrimiento de bambú *Philostachis Aurea* se utilizan 9 costillas horizontales de aluminio.

Un punto de gran importancia es el diseño son los detalles de unión, entre los distintos materiales y elementos que componen el sistema estructural, en este caso, buscando aprovechar la ductilidad del bambú se optó por unir las distintas capas del sistema mediante pernos de polipropileno reforzados con fibra de vidrio.

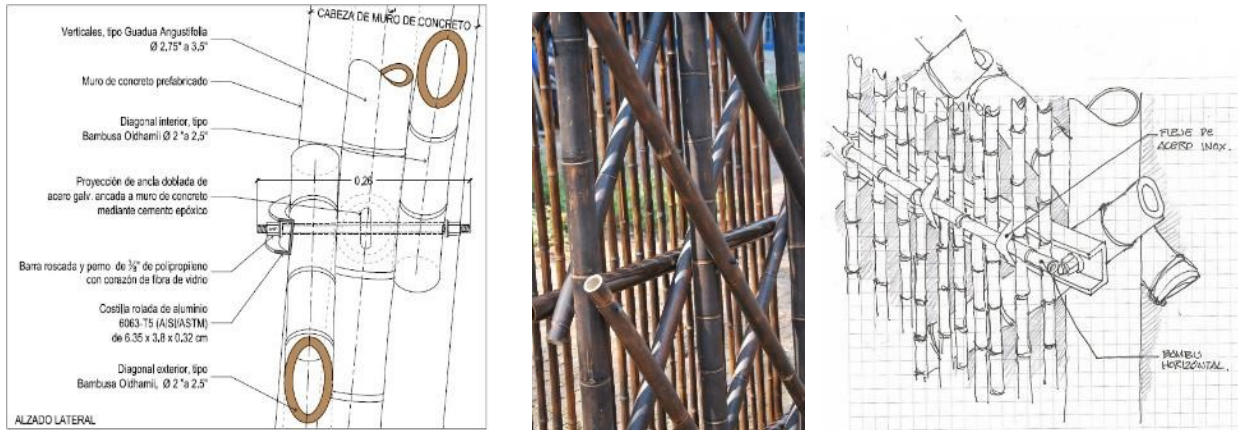
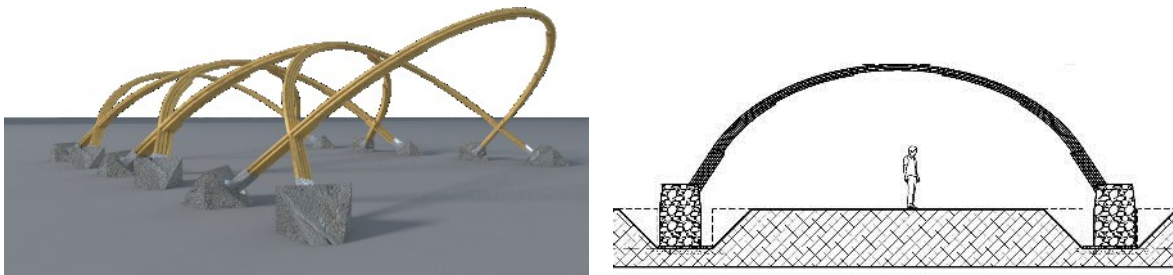


Figura 5. Detalle, prototipo y croquis de estudio de las tres cuatro capas que componen el sistema reticular

B) Arcos enlazados de bambú, (2er estudio de caso)

El segundo caso de estudio es un pabellón de usos múltiples para la empresa productora de Bambú Bambuver, en Huatusco Veracruz, resuelto en planta rectangular de 15 m x 10.5 m se resuelve mediante una serie de seis arcos que varían su sección enlazando un mayor número de tallos en la base. Dichos arcos se configuran de forma diagonal para apoyarse entre ellos,



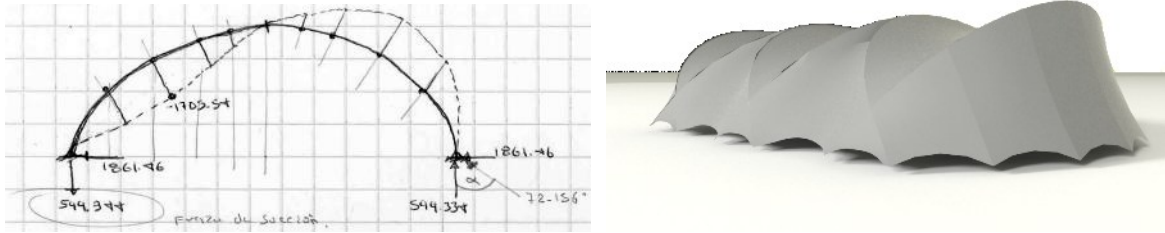


Figura 6. Modelo digital y consideraciones de cargas laterales por viento

Este prototipo se consideró para trabajar conjuntamente con una estructura de membrana a tracción, la cual fue modelada con el software MPanel y analizada mecánicamente con el módulo MPanel FEA, permitiendo obtener las reacciones de diseño sobre los arcos de bambú



Figura 7. Modelo a escala y detalles de enlaces entre barras de bambú

Tanto el primero como el segundo estudios de caso se encuentran en proceso de fabricación y se espera poder contar con retroalimentación en un futuro cercano.

Conclusiones

Estos primeros resultados de la investigación abren las puertas a nuevas posibilidades y preguntas por resolver. Tan sólo se han analizado tres especies y construidos escasos prototipos, pero los resultados a la fecha resultan alentadores con miras a impulsar la construcción con bambú en México, tanto como material estructural como en otras aplicaciones arquitectónicas.

Reconocimiento

La preparación y participación de esta ponencia es auspiciada por la Dirección General de Asuntos del Personal Académico DGAPA-UNAM, Proyecto PAPIIT IG401014, y esta nutrida de

la información generada en el seno del grupo de investigación compuesto por Dr. Juan Gerardo Oliva, Dr. Magdalena Trijillo, Dr, Agustín Hernández y el autor de la presente ponencia.

Para los análisis de los sistemas estructurales del primer caso de estudio se contó con la asesoría del Mto. Ing. Juan José Rodríguez Zamora y para el análisis de las cubiertas textiles se contó con el patrocinio del software MPanel Meliar.

Referencias bibliográficas

- Crisfield M.A., *Non-linear Finite Element Analysis of Solids and Structures. Volume 2: Advanced Topics*. (2nd ed.), Wiley, 1997.
- Falk A. and Samuelsson S., Timber plates in tensile structures, in *IASS 2004. Shell and Spatial Structures from Models to Realization*, Motro R (ed.), Editions de l'Esperou, 2004, 254-255.
- Winslow P., Pellegrino S. and Sharma S.B., Mapping two-way grids onto free-form surfaces. *Journal of the International Association for Shell and Spatial Structures*, 2008; 49; 123-130.
- Juan Oliva, et. Alt, "Olate" – *Bamboo: An Alternative Renewable Material Applied to Lightweight Structures*, Papers IABSE-IASS Symposium 2011

PRODUCCIÓN DE GUADUA EN INVERNADERO CON FERTILIZACIÓN NO CONVENCIONAL

Lucía Ana Díaz-Ariza^a, Weimar Hernando Sandoval^b

^aPontificia Universidad Javeriana. Carrera 7 No. 40-62. Bogotá, Colombia.
luciaana@javeriana.edu.co

^b Pontificia Universidad Javeriana. Carrera 7 No. 40-62. Bogotá, Colombia.

Palabras clave: Guadua, boinoculantes, promotores de crecimiento vegetal, micorrizas, fertilización.

Resumen

Dentro de las estrategias biotecnológicas en la propagación vegetativa de *G. angustifolia* Kunth a través de chusquines, se plantea la inoculación dual de bacterias promotoras de crecimiento vegetal-BPCV y hongos formadores de micorriza arbuscular-HMA, junto con fertilización química y orgánica. En este trabajo se evaluaron sistemas de fertilización química y orgánica y el efecto de la aplicación combinada de diamonio fosfato con BPCV HMA sobre el crecimiento y desarrollo de chusquines de guadua propagados convencionalmente en vivero.

Abstract

Within biotechnological approaches in the vegetative propagation of *G. angustifolia* Kunth, inoculation of plant growth promoting bacteria-PGPB plus arbuscular mycorrhiza fungi-AMF, along with chemical and organic fertilization has been studied. In this paper, chemical and organic fertilization as well as the effect of the combined application of diammonium phosphate-DAP with HMA and PGPR on growth and development of bamboo conventionally propagated were evaluated.

Introducción

La propagación vegetativa es una de las técnicas más ampliamente utilizada para la multiplicación de especies vegetales de fácil enraizamiento y de interés económico y comercial tanto en el ámbito forestal como en el agrícola (Norambuena, 2005). En el caso de la guadua, se utilizan los chusquines (Castaño y Moreno, 2004) que son plántulas pequeñas con todas sus partes vegetativas básicas con diferentes dimensiones (10-30 centímetros de altura y 1 a 1.5 milímetros de diámetro) y provienen de un brote basal del rizoma (Giraldo y Sabogal, 2007). Presentan un alto índice de supervivencia y desarrollo, cada brote formado en el rizoma puede producir entre 5 y 10 plántulas nuevas en 3 a 4 meses (Giraldo y Sabogal, 2007; Gallardo *et al.*, 2008; Márquez y Marín, 2011). La propagación de la guadua a través de chusquines en vivero se realiza en bancos de propagación, con aplicación de nutrientes en forma de fertilizantes químicos u orgánicos, manejo de humedad y control de malezas. Sobre la nutrición de *Guadua angustifolia* se ha planteado que el nitrógeno, el fósforo, el potasio y el boro son los elementos más importantes. Según Cruz (2009), los nutrientes de mayor extracción en *G. angustifolia* son en su orden son potasio, nitrógeno, calcio, fósforo, sodio, magnesio, hierro, manganeso, zinc, cobre y

finalmente el boro. La extracción de elementos minerales varía de acuerdo con la etapa del cultivo: en la etapa de chusquín la mayor exigencia nutricional es de potasio, nitrógeno, calcio, magnesio y fósforo (Giraldo y Sabogal, 2007) y en plantaciones, la mayor extracción de nutrientes corresponde a nitrógeno, seguido del calcio, potasio, fósforo y magnesio (Marín *et al.*, 2011). Dentro de los fertilizantes químicos utilizados en el cultivo de guadua han sido reportados la urea, el cloruro de potasio, el NPK 15:15:15 y el diamonio fosfato (Espinal *et al.*, 2005; Díaz *et al.*, 2012). Giraldo y Sabogal (2007), recomiendan para la fertilización de plantas de guadua en vivero una mezcla de NPK en proporción 17:6:18 con 2 g de boro (B), aplicada a los 12 o 15 días después de establecidos los nuevos rizomas. Castaño y Moreno (2004), recomiendan la fertilización de guadua en vivero con NPK 15:15:15, aplicando 3 g por planta 30 días después de la siembra. Díaz *et al.*, (2012) reportan el uso combinado de microorganismos benéficos y DAP a una concentración de 1 g/ planta, aplicado 15 días después de la siembra en vivero y de la inoculación.

Además de los fertilizantes de síntesis química, los nutrientes pueden ser aportados a las plantas en abonos orgánicos. Éstos se consideran fertilizantes de lenta liberación cuya acción se prolonga en el tiempo (Soto, 2003). Aportan nutrientes como nitrógeno, carbono, fósforo, potasio, calcio y magnesio (Hartz *et al.*, 2000; Evanylo *et al.*, 2008). Los productos orgánicos reportados en la propagación de guadua son: gallinaza, pulpa de café descompuesta, conejaza, porquinaza, bovinaza, equinaza, vermicompost y compost (Espinal *et al.*, 2005). La utilización de mezclas de abonos orgánicos y fertilizantes químicos ha sido documentada por autores como Giraldo y Sabogal (1999), quienes obtuvieron los mejores resultados en la propagación de guadua en vivero utilizando ácidos húmicos al 0.5 %. Larraga (2011), obtuvo la mejor respuesta en altura, diámetro de tallo, y desarrollo radical de plantas de *G. angustifolia* propagadas a partir de chusquines, utilizando como sustrato una mezcla en parte iguales de sedimentos de río, cachaza compostada y estiércol caprino compostado. Gallardo *et al.*, (2008), determinaron que la mejor respuesta a la brotación de estacas de *G. angustifolia* procedentes de ramas laterales, se presenta utilizando como sustrato la mezcla de zeolita (20%) y humus de lombriz (80%). Resultados similares obtuvieron Márquez y Marín (2011), utilizando como sustrato la mezcla de suelo y arena (1:1) con humus de lombriz en una proporción volumétrica 3:1.

De otra parte, la guadua y otros bambúes se encuentran naturalmente asociados con BPCV y con HMA, microorganismos benéficos que pueden constituir una alternativa biológica al uso de insumos químicos durante su propagación. Estos microorganismos rizosféricos estimulan el crecimiento vegetal a través de la síntesis de reguladores de crecimiento, la fijación de nitrógeno, la solubilización y movilización de nutrientes como fósforo, potasio, azufre, hierro y manganeso y la producción de ionóforos y de enzimas líticas. Wei *et al.*, (2007), aislaron bacterias de los géneros *Azospirillum*, *Escherichia*, *Pseudomonas* y *Aquaspirillum* de muestras de hojas, raíces y tallos de *Bambusa blumeana*. Díaz *et al.*, (2014) plantean la asociación natural de *G. angustifolia* con diferentes grupos funcionales de microorganismos. Ávila y Díaz (2010), reportan bacterias fijadoras de nitrógeno en guaduales del eje cafetero en Colombia, algunos de los géneros reportados son *Pseudomonas*, *Serratia*, *Stenotrophomonas*, *Enterobacter*, *Klebsiella*, *Ensifer*, *Shinella*, *Bacillus* y *Acinetobacter*. En cuanto a las bacterias que solubilizan fósforo a partir de fosfato tricálcico y roca fosfórica y que están naturalmente asociadas con guadua García, *et al.*, (2010), reportan la producción de ácidos orgánicos como láctico, cítrico, málico, acético, succínico y fórmico.

En cuanto a los HMA en guadua, Buendía (1990), determinó su presencia en guaduales del departamento del Quindío establecidos bajo tres condiciones climáticas. Rico y Vargas (1992), identificaron el género *Glomus* asociado con guadua en el departamento del Tolima. Bonilla y

Espinosa (1998), estudiaron el efecto de la inoculación de *Glomus* sp. y *Acaulospora longula* sobre el crecimiento de *G. angustifolia* bajo condiciones de vivero. En guaduales naturales ubicados en las cuencas hidrográficas de los ríos La Vieja y Otún del eje cafetero colombiano se determinó la presencia de HMA como *Rhizophagus manihotis*, *Acaulospora* colombiana y varias especies de *Acaulospora* (Pabón, et al., 2008; López, Díaz, 2008). La especie más abundante en los guaduales de Cundinamarca es *A. scrobiculata* mientras que en los de la zona cafetera se encontraron en cada guadual varias especies de *Acaulospora* (Díaz, et al., 2013). Fernández y Díaz, (2009) reportan micorrización de tipo intermedia *Arum-Paris* en guaduales naturales de Cundinamarca. En todos los casos los porcentajes de micorrización oscilaron entre 60 y 100%. La inoculación dual de una mezcla de bacterias solubilizadoras de fósforo y fijadoras de nitrógeno a una concentración de 10^7 UFC/mL con la mezcla de *A. lacunosa* y *G. manihotis* (30 esporas/planta), con aplicación de DAP a una concentración de 1g por planta, presenta un efecto positivo sobre variables de crecimiento y sobre la micorrización de chusquines de guadua procedentes de guaduales del departamento de Cundinamarca, lo que indica que el uso de inoculantes en la propagación de guadua reduce hasta en un 50% la aplicación de fertilizantes químicos (Díaz et al., 2013). La inoculación de HMA como *G. fasciculatum* y *G. aggregatum* en la germinación de semillas del bambú *Dendrocalamus strictus* mejoraron las tasas de crecimiento y la producción de materia seca total, en comparación con las semillas no inoculadas (Ravikumar et al., 1997). Muthukumar y Udaiyan (2006), realizaron un ensayo en vivero para evaluar el efecto de bioinoculantes (*Glomus aggregatum*, *Bacillus polymixa*, *Azospirillum brasilense*) en la promoción del crecimiento de plántulas de bambú en dos tipos de suelo, con y sin aplicación de fertilizantes. Los bioinoculantes produjeron el mejor efecto sobre el crecimiento del material vegetal con y sin la aplicación de fertilizante en ambos tipos de suelo.

Materiales y Métodos

En este estudio se realizaron dos ensayos: en el primero se comparó el efecto sobre el crecimiento de guadua en vivero de diferentes fertilizantes químicos y orgánicos según esquemas de aplicación planteados por diversos autores, y en el segundo ensayo se utilizó el fertilizante químico DAP con bioinoculantes basados en bacterias solubilizadoras de fósforo y fijadoras de nitrógeno y en hongos de micorriza arbuscular. Se utilizó como material vegetal chusquines de guadua del vivero Bambusa ubicado en el municipio de Pacho, Cundinamarca.

Ensayo 1: El ensayo se desarrolló tomando como base las metodologías de fertilización química y orgánica para chusquines de guadua en vivero referenciadas por varios autores, en un diseño completamente al azar con 9 plantas por tratamiento y un control (tabla 1). En el tratamiento control las plantas no fueron fertilizadas. La evaluación de las variables de respuesta se realizó 3 meses después de establecido el ensayo. Se evaluaron área foliar, concentración de clorofila (unidades SPAD), biomasa seca, nitrógeno foliar, fósforo foliar y micorrización.

Ensayo 2: El ensayo se desarrolló bajo un diseño en bloques completos al azar con arreglo factorial 5 x 4 x 2, con cuatro bloques y nueve plantas por tratamiento. Los factores evaluados corresponden a: fertilización química con cinco niveles de DAP 18-46-0: 2g/planta (100%), 1.5g/planta (75%), 1.0g/planta (50%), 0.5g/planta (25%) y sin fertilización; BPCV: bacteria solubilizadora de fósforo - BSP, bacteria fijadora de nitrógeno - BFN, mezcla de bacteria solubilizadora de fósforo y fijadora de nitrógeno (BSP+BFN) y sin bacteria; y el HMA (presencia y ausencia). La evaluación de las variables de respuesta se realizó a los 3 meses después de establecido el ensayo.

Tabla 1. Tratamientos evaluados en el ensayo de fertilización química y orgánica

Tratamientos	Descripción	Referencia
1	Suelo: Cascarilla (2:1) + DAP (2g/planta)	Díaz (2012); CRQ
2	Suelo: Cascarilla (2:1) + NPK 15:15:15 (3g/planta)	Castaño y Moreno (2004)
3	Suelo: Cascarilla (2:1) + NPK 17:6:18:2 (3g/planta)	Giraldo y Sabogal (1999)*
4	Suelo: Cascarilla (2:1) + NPK 17:6:18:2 (1.5g/planta) + Humita 15 (0.25%)	Giraldo y Sabogal (1999)*
5	Suelo: Cascarilla (2:1) + Humita 15 (0.5%)	Giraldo y Sabogal (1999)*
6	80% Vermicompost + 20% Zeolita	Gallardo <i>et al.</i> , 2008
7	Suelo: Arena (1:1) + Vermicompost (relación 3:1)	Márquez y Marín (2011)
8	Suelo: Cascarilla (2:1) + Cal (2%) + Gallinaza (8%)	Vivero Bambusa
Control	Suelo: Cascarilla (2:1)	

*Modificado

Resultados

Ensayo 1: Los chusquines de guadua fertilizados con NPK 17:6:18:2 (1.5g/planta) + Humita 15 (0.25%), presentaron la mejor respuesta en las variables área foliar, biomasa seca aérea y radical y porcentaje de micorrización total. La fertilización con DAP (2g/planta) favoreció el contenido de clorofila y de nutrientes foliares (nitrógeno y fósforo) en chusquines de guadua propagados en vivero, sin embargo, ejerce un efecto negativo sobre el porcentaje de micorrización. Los resultados se presentan en las figuras 1-3. Las fertilizaciones con la mezcla de sustratos compuestas por arena:suelo:humus (T7) y humus:zeolita (T6) y la fertilización química con DAP (T1), favorecen la acumulación de fósforo en los tejidos foliares de chusquines de guadua, con valores promedios de $0.264 \pm 0.03\%$, $0.252 \pm 0.04\%$ y $0.249 \pm 0.02\%$, respectivamente. Para todos los casos la ausencia de la fertilización química y orgánica presentó la menor respuesta en el crecimiento vegetal. El mayor el porcentaje de micorrización se presentó con la fertilización con dosis reducidas a la mitad de NPK 17-6-18.2 y humita 15 (T4), seguida de la fertilización con solo humita 15 (T5).

Ensayo 2: Se presentó interacción entre los factores fertilización química, BPCV y HMA. La respuesta de las variables de crecimiento y desarrollo de chusquines de guadua establecidos bajo condiciones de vivero: área foliar y biomasa, se vio favorecida por la interacción entre los factores fertilización química y HMA, siendo mejor en todos los casos la fertilización química de los chusquines con 1.5 g/planta (75%) de DAP e inoculados con HMA (figuras 4 y 5).

El porcentaje de micorrización de chusquines de guadua son mayores cuando se realiza la coinoculación de HMA con la mezcla de las BSP y BFN (figura 6).

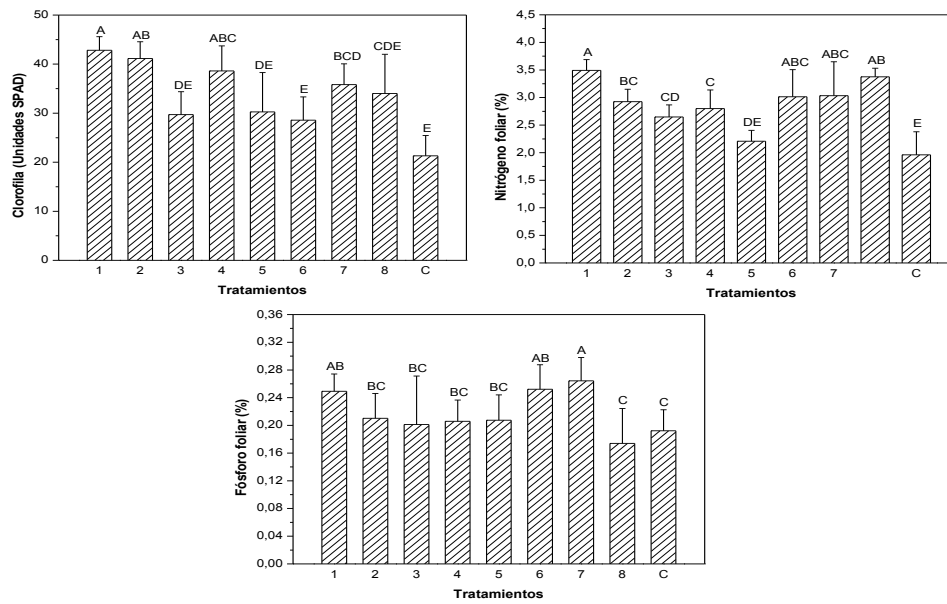


Figura 1. Contenidos de clorofila, nitrógeno y fósforo en hojas de chusquines de *G. angustifolia*, establecidos convencionalmente en vivero bajo diferentes tratamientos de fertilización química y orgánica. Letras diferentes presentan diferencias estadísticas ($p < 0.05$) para la prueba de comparaciones de medias de Duncan

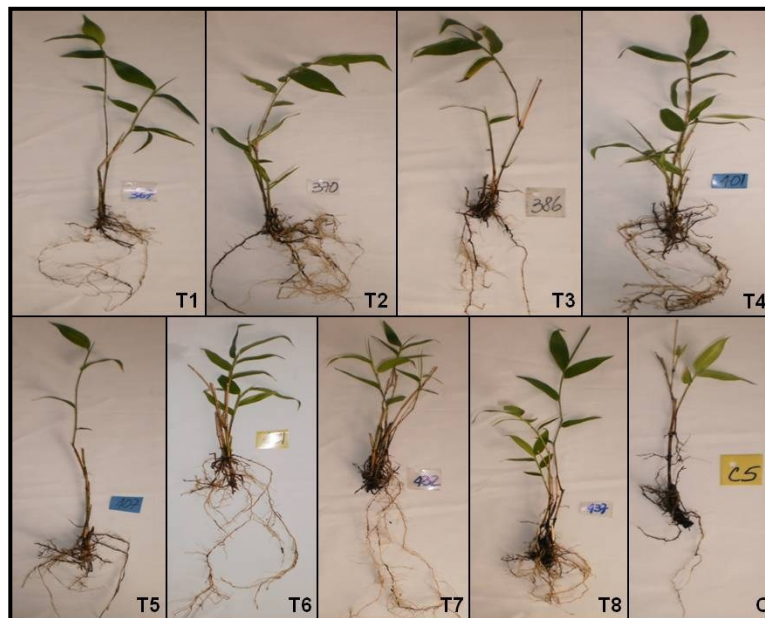


Figura 2. Chusquines de guadua establecidos convencionalmente en vivero bajo diferentes tratamientos de fertilización química y orgánica.

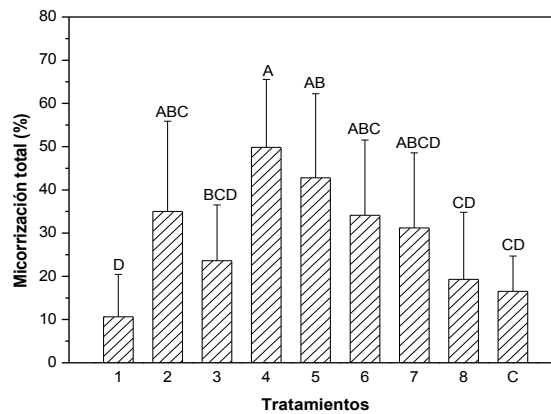


Figura 3. Micorrización en chusquines de *G. angustifolia*, bajo diferentes tratamientos de fertilización química y orgánica. Letras diferentes presentan diferencias estadísticas ($p < 0.05$) para la prueba de comparaciones de medias de Duncan.

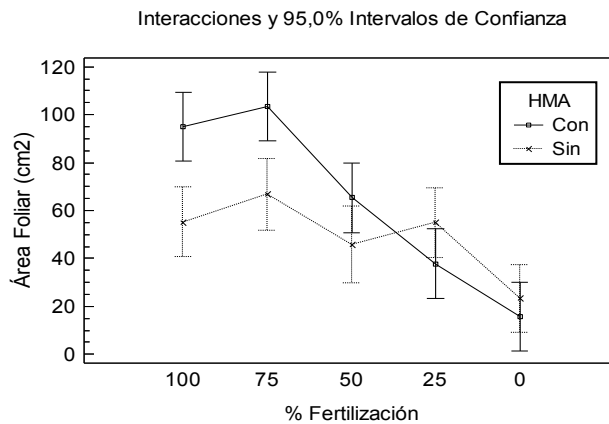


Figura 4. Efecto de la fertilización química y HMA sobre el área foliar de chusquines de guadua en vivero.

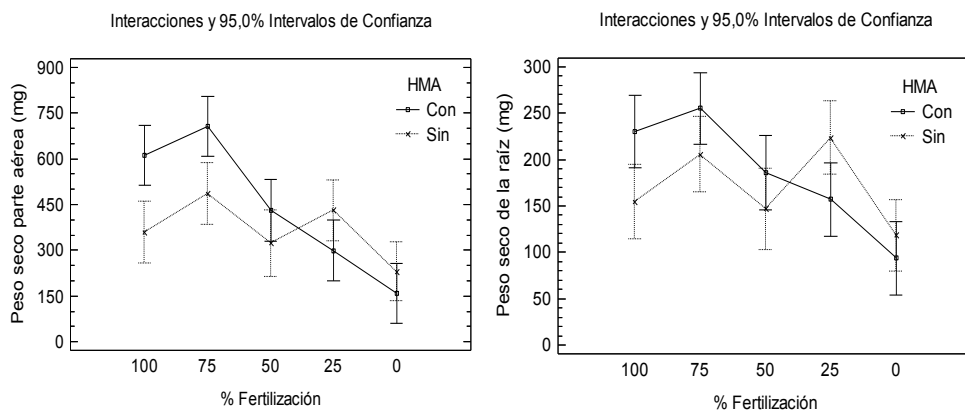


Figura 5. Efecto de la fertilización química y HMA sobre el peso seco de los chusquines de guadua establecidos bajo condiciones de vivero.

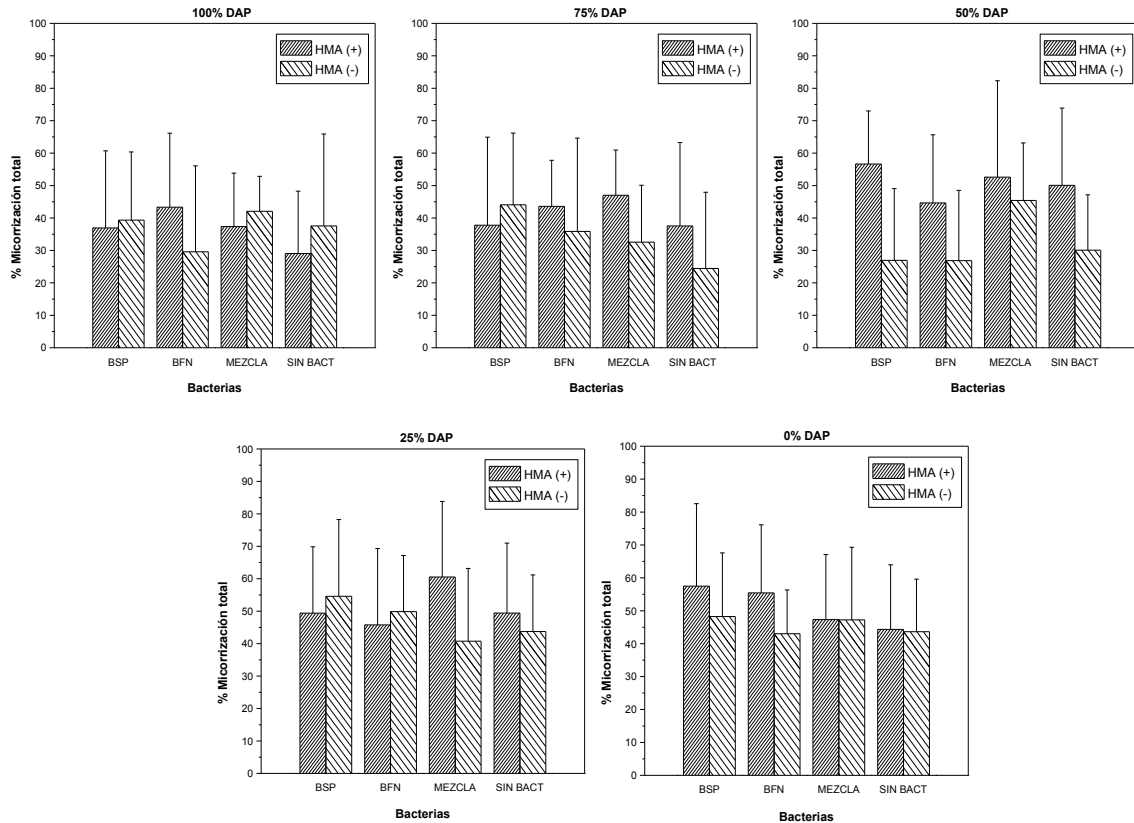


Figura 6. Efecto de diferentes concentraciones de DAP y de la aplicación de BPCV y HMA sobre la micorización de chusquines de guadua establecidos bajo condiciones de vivero.

Discusión de resultados

El uso conjunto de fertilizantes químicos como el NPK 17-6-18.2 y orgánicas como la Humita 15, genera una respuesta favorable sobre el desarrollo de órganos aéreos y radicales y sobre la formación de micorriza en chusquines de guadua establecidos convencionalmente en vivero.

En el caso de la fertilización química con DAP (2g/planta), aunque favorece el contenido de clorofila y de nutrientes foliares (nitrógeno y fósforo) en chusquines de guadua propagados en vivero, afecta negativamente la formación de micorrizas, simbiosis responsable de la absorción de nutrientes como el fósforo y el nitrógeno en plantas establecidas en plantaciones o en bosques naturales (Allen *et al.*, 2003). La reducción en la concentración del fertilizante químico al 75% y el uso de bioinoculantes microbianos además de favorecer la micorización.

Agradecimientos

Los autores agradecen a Geoambiente Ltda, al Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural de Colombia, a la CAR y a la Pontificia Universidad Javeriana

Referencias bibliográficas

- Ávila, S; Díaz, L.A. 2010. Estudio comparativo de bacterias microaerófilas fijadoras de Nitrógeno (BFNm) asociadas a dos especies maderables colombianas. VII Encuentro Latinoamericano y del Caribe sobre Biotecnología Agropecuaria. REDBIO.
- Bonilla, C; Espinosa F. 1998. Inoculación y evaluación de hongos endomicorrizicos en *Guadua angustifolia* Kunth, en etapa de vivero. Palmira, Valle. 1996. Trabajo de grado (Ingeniero Agrónomo). Universidad Nacional de Colombia. En: Acta Agronómica. Vol. 48, N° 1/2; p. 71-76.
- Buendía, E. 1990. Identificación de micorrizas asociadas con la guadua (*Guadua angustifolia* Kunth) presente en tres climas del Quindío. Ibagué, 1990. Trabajo de grado (Ingeniero Forestal). Universidad del Tolima. Facultad de Ingeniería Forestal.
- Castaño, F; Moreno, R. 2004. Guadua para todos. Cultivo y aprovechamiento. Bogotá: Beatriz Peña. Proyecto Manejo Sostenible de Bosques de Colombia. 190p.
- Cruz, H. 2009. Bambú - Guadua: *Guadua angustifolia* Kunth. Bosques Naturales en Colombia y Plantaciones Comerciales en México. Pereira, Risaralda, Colombia. 720p.
- Díaz-Ariza LA, García A, Sandoval W, Constantino S. 2014. Importancia de los microorganismos rizosféricos en la propagación de especies leñosas. Suelos Ecuatoriales. Volumen 43 Número 1. Pg 95-107.
- Díaz, L.A.; García, A; Sandoval, W; Avendaño, B. 2012. ¡A producir guadua en Cundinamarca! “La guadua de Cundinamarca: el retorno al desarrollo verde”. Bogotá. 60p. ISBN: 978-958-716-536-4.
- Espinal, F; Martínez, H; Pinzón, N; Espinosa, D. 2005. La Cadena de la Guadua en Colombia, Una mirada Global de su estructura y Dinámica. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural.
- Evanylo, G; Sherony, C; Spargo, J; Starner, D; Brosius, M; Haering, K. 2008. Soil and water environmental effects of fertilizer- manure-, and compost-based fertility practices in an organic vegetable cropping system. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 127:50-58.
- Fernández, K; Díaz, L.A. 2010. Factores que afectan la ocurrencia de la micorrización y la concentración de micelio externo en guaduales de tres municipios de Cundinamarca. Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo. 16 al 20 de noviembre de 2010. Costa Rica.
- Gallardo, J; Freire, M; León, J; García, Y; Pérez, S; González, M. 2008. Comportamiento en la brotación de las yemas de estacas de *Guadua angustifolia* Kunth empleadas en la propagación. *Cultivos tropicales*. 29 (1): 17-22.
- García, A; Torres, Y; Saray, K; Díaz, L.A. 2010. Evaluación in vitro de la actividad biológica de bacterias aisladas de *Guadua angustifolia* Kunth preformuladas en alginato. XV Congreso Colombiano de la Ciencia del Suelo. El Suelo: Soporte de la biodiversidad y la producción agrícola en los agroecosistemas tropicales. Colombia.
- Giraldo, H; Sabogal, A. 2007. Una alternativa sostenible: la Guadua técnicas de cultivo y manejo. Corporación Autónoma del Quindío C.R.Q. Tercera edición e impreso en Colombia. 192 p.
- Hartz, T; Mitchell, J; Giagnini, C. 2000. Nitrogen and carbon mineralization dynamics of manures and compost. *HortScience* 35(2):209-212.

-
- Larraga, N. 2011. Propagación in vitro y convencional de tres especies de bambús. Tesis de maestría. Facultad de Ciencias. Colegio de Postgraduados. Puebla, México. 64p.
- López, F; Díaz, L.A. 2008. Estudio de la micorriza arbuscular establecida en guaduales, crecidos en la zona cafetera central colombiana, en un gradiente altitudinal entre 1100 y 1800 msnm. VI Congreso Latinoamericano de Micología: Buenos Aires, Argentina. p.239 – 239.
- Marín, D; Guedez, Y; L. Márquez, L. 2011. Las plantaciones de guadua (*Guadua angustifolia* Kunth) y bambú (*Bambusa vulgaris* Schrad.) de San Javier, estado Yaracuy, Venezuela. III. Estructura de las plantaciones y balance de nutrimentos Rev. Fac. Agron. (LUZ). 2011, 28: 441-459.
- Márquez, L; Marín, D. 2011. Propagación y crecimiento de *Guadua amplexifolia* Presl., *G. angustifolia* kunth y *Elytostachys typica* Mc Clure, en tres tipos de sustratos. *Bioagro* 23 (3).
- Muthukumar, T y Udaiyan K. 2004. Growth of nursery-grown bamboo inoculated with arbuscular mycorrhizal fungi and plant growth promoting rhizobacteria in two tropical soil types with and without fertilizer application. Department of Botany, Microbiology Laboratory, Bharathiar University, Coimbatore 641 046, Tamil Nadu, India.
- Norambuena, C. 2005. Ensayo de propagación vegetativa mediante estacas de *Escallonia illinita* (K. Presl.), *Muehlenbeckia hastulata* (J.E. Sm.) Johnst y *Proustia cuneifolia* D. Don, pertenecientes a la flora nativa de Chile. Mem. Ing. Forestal, Univ. de Talca, Fac. de Cs. Forestales, Esc. de Ing. Forestal. Talca, Chile. 52p.
- Pabón, Y; López, F; Díaz, L.A. 2008. Micorrización de *Guadua angustifolia* y *Cynodon* sp., en la zona cafetera colombiana. VI congreso latinoamericano de micología. 2008. Mar del Plata, Argentina.
- Ravikumar R; Ananthakrishnan G; Appasamy T; Ganapathi A. 1997. Effect of endomycorrhizae (VAM) on bamboo seedling growth and biomass productivity. *Forest Ecology and Management*, 98:205-208.
- Rico, M; Vargas, C. 1992. Identificación de micorrizas asociadas con la Guadua (*Bambusa guadua* H et B) presentes en el ecosistema valles coluvial aluvial del río Combeima. Ibagué, 1992. Trabajo de grado (Ingeniero Forestal). Universidad del Tolima. Facultad de Ingeniería Forestal. 129p.
- Soto, G. 2003. Abonos orgánicos: el proceso de compostaje. In: Gloria Meléndez y Gabriela Soto (eds.) Taller de abonos orgánicos. Centro de Investigaciones Agronómicas de la Universidad de Costa Rica. San Pedro de Montes de Oca, San José, Costa Rica. pp 30 – 57.
- Wei, H; Gui, P; Zhi, X; Shi, C; Zhi, T. 2007. Diversity of endophytic diazotrophs isolated from *Bambusa blumeana* in Guandong province. *Chinese Journal of Agricultural Biotechnology*. 4: 105-109.

RESISTENCIA MECÁNICA DE ELEMENTOS DE FIBRA DE GUADUA COMPACTADA

Patricia Luna^a, Caori Takeuchi^b

^a Universidad Nacional de Colombia. Carrera 30 45-03, Edificio 406, Oficina 301. Bogotá, Colombia. plunat@unal.edu.co

^b Universidad Nacional de Colombia. Carrera 30 45-03, Edificio 406, Oficina 301. Bogotá, Colombia. cptakeuchit@unal.edu.co

Palabras Clave: Fibra, Guadua, resistencia mecánica

Resumen

Fue realizada la caracterización mecánica de elementos de fibra de guadua compactada a partir de ensayos experimentales de flexión longitudinal, compresión paralela y perpendicular a la fibra, corte paralelo y perpendicular a la fibra y tensión paralela y perpendicular a la fibra. El material caracterizado corresponde a listones fabricados con tres formulaciones diferentes de adhesivo; fue realizado un análisis estadístico con el objetivo de establecer diferencias entre las tres formulaciones de adhesivo empleadas. Los resultados obtenidos muestran que la fibra de guadua compactada es una buena alternativa para conformar elementos estructurales que estarán solicitados a tensiones axiales en el sentido paralelo a la fibra.

Abstract

The mechanical characterization of compacted fiber bamboo guadua material was made based on different tests as longitudinal bending; compression, tension and shear perpendicular and parallel to the fiber. The characterized material corresponds to slats made with three different adhesive formulations. An statistical analysis was carried out in order to differentiate between the three formulations of adhesive used. The results show that the compacted fiber bamboo guadua material is a good alternative for structural members that will be requested to axial stresses in the direction parallel to the fiber.

Introducción

El bambú guadua laminado es una buena alternativa para obtener un material resistente, dúctil y que puede ser utilizado para elaborar elementos con dimensiones estandarizadas y propiedades uniformes. Sin embargo, para la elaboración de láminas, se trabaja con diámetros superiores a 12 cm (Cortés & Takeuchi, 2011), para tener mayores espesores de pared por lo que en general se utiliza para su fabricación la parte inferior del culmo. También, para que la lámina tenga el terminado necesario para la elaboración de elementos laminados pegados prensados es necesario realizar un trabajo de mecanizado para retirar la corteza y la parte interna de las tiras, y para obtener ancho y espesor constante, generándose un gran desperdicio (Bolívar & Sepúlveda, 2008).

El material fibra de guadua compactada tiene algunas ventajas con respecto al laminado: se puede utilizar la mayor parte del culmo y se genera menor desperdicio. Nugroto y Ando (Nugroto & Ando, 2001) han estudiado el comportamiento a flexión del material de fibra de bambú moso compactado, sin embargo no se conocen las propiedades mecánicas que presentan los elementos fibra de guadua compactada y su variación cuando para su fabricación de utilizan formulaciones diferentes de adhesivo.

Este artículo presenta la metodología experimental empleada y los resultados obtenidos durante la caracterización mecánica de elementos de fibra de guadua compactada, que hacen parte del proyecto de investigación “Resistencia mecánica y delaminación de elementos de fibra de guadua compactada”, ejecutado por la Universidad Nacional de Colombia, financiado por el Departamento de Ciencia, Tecnología e Innovación COLCIENCIAS y con Industria Colombiana de la Guadua – INDUGUADUA S.A como entidad beneficiaria. (Universidad Nacional de Colombia, 2014)

Descripción del material

El material caracterizado fue producido por la entidad beneficiaria, usando como material base culmos maduros de bambú *Guadua angustifolia* Kunth provenientes del departamento de Quindío – Colombia. El proceso de fabricación comienza con la obtención de tiras longitudinales a las cuales les es retirada la capa externa; posteriormente, cada tira es dividida longitudinalmente en pequeños segmentos. Con el objetivo de extraer los almidones que tiene el material natural, cada segmento de tira es introducido en una autoclave; culminada esta etapa se realiza un primer proceso de secado antes de la impregnación del adhesivo, la cual es realizada con la inmersión de cada lata en solución aglutinante. Posteriormente, es necesario realizar un segundo proceso de secado del material antes de la conformación final de los listones, la cual es realizada a partir de un proceso de prensado vertical en caliente con confinamiento horizontal. Este proceso de fabricación se resume en la figura 1.

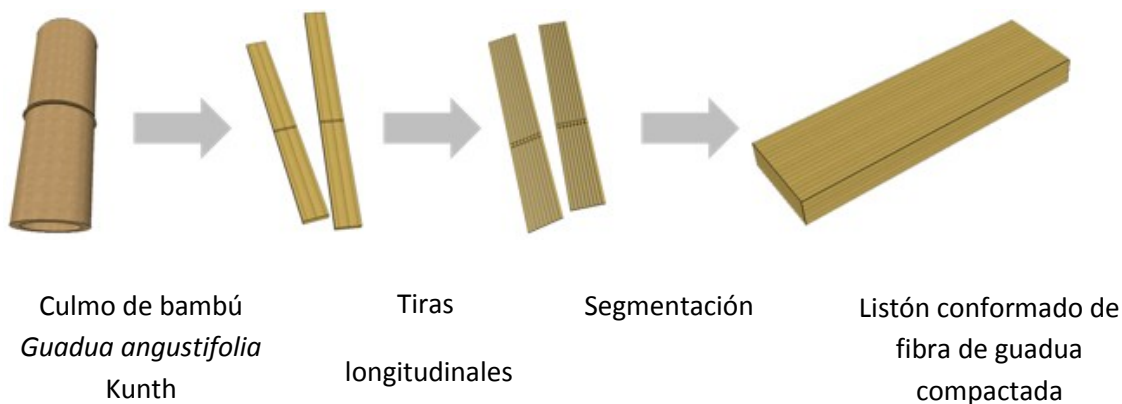


Figura 1. Fabricación de listones de fibra de guadua compactada

Para la conformación de los listones fueron usadas tres formulaciones de adhesivo diferentes, cuyas proporciones son mostradas en la tabla 1.

Tabla 1. Proporciones componentes para las tres formulaciones de adhesivo empleadas

FORMULACIÓN	LOTE DE PRODUCCIÓN	POLÍMERO 6014 (kg)	AGUA (kg)	SODA CAÚSTICA*
1	1	50	44	1
2	2	50	57,6	1
3	3	50	35,3	1

*Antes de verter en la mezcla, la soda cáustica se diluyó en 2kg de agua los cuales no hacen parte de los contabilizados en la columna Agua

Metodología experimental

Con el objetivo de conocer el comportamiento mecánico de los listones de fibra de guadua compactada producidos con las tres formulaciones de adhesivo, fueron realizados ensayos en probetas ante diferentes sollicitaciones, tales como compresión, tensión y corte paralelos a la fibra, compresión, tensión y corte perpendiculares a la fibra y flexión longitudinal; los ensayos fueron realizados siguiendo los lineamientos establecidos en la norma internacional ASTM D143-94 y en diferentes normas colombianas NTC para la determinación de resistencias mecánicas para maderas, como se muestra en la tabla 2..

El número total de probetas ensayadas fue de 956, correspondiendo 311 de estas a la primera formulación de adhesivo, 323 a la segunda y 322 a la tercera. La tabla 3 muestra de forma discriminada el número de probetas ensayadas para cada sollicitación estudiada y formulación de adhesivo empleada; la razón de que el número de probetas no sea el mismo es consecuencia de fallas previas a la ejecución del ensayo mecánico por delaminación de la probeta preparada.

Tabla 2. Normas empleadas para la ejecución de los ensayos mecánicos

ENSAYO MECÁNICO	NORMA EMPLEADA
Flexión longitudinal	NTC663
Compresión paralela	NTC784
Compresión perpendicular	NTC785
Corte paralelo	NTC775
Corte perpendicular	Luna et al (2012)
Tensión paralela	NTC944
Tensión perpendicular	NTC961

Tabla 3. Probetas ensayadas para cada ensayo mecánico realizado

ENSAYO MECÁNICO	FORMULACIÓN DE ADHESIVO		
	PRIMERA	SEGUNDA	TERCERA
Flexión longitudinal	48	46	48
Compresión paralela	47	48	48
Compresión perpendicular	47	48	48
Corte paralelo	44	50	48
Corte perpendicular	43	44	48
Tensión paralela	46	50	48
Tensión perpendicular	36	37	34

Análisis estadístico

Con el objetivo de establecer si existen diferencias significativas entre los valores de resistencia obtenidos para cada formulación de adhesivo empleada, se realizó el análisis estadístico explicado de forma gráfica en la figura 2, cabe resaltar que este análisis estadístico fue realizado luego de la exclusión de los datos experimentales considerados atípicos a partir del criterio de exclusión de Chauvenet.

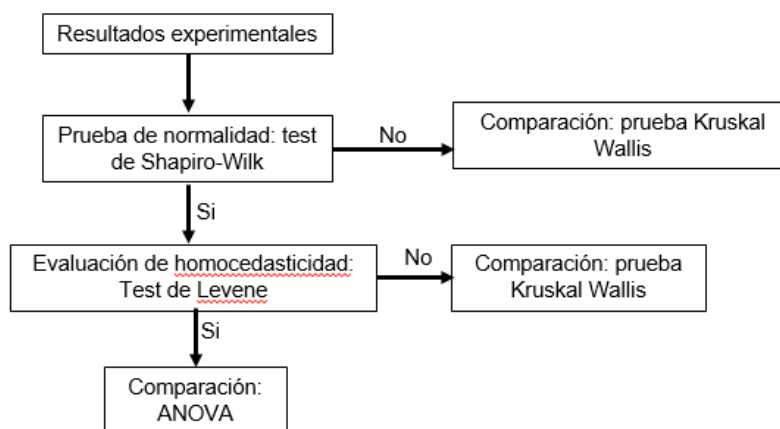


Figura 2. Diagrama de flujo, análisis estadístico para establecer diferencias entre las formulaciones de adhesivo empleadas

Resultados

Los resultados obtenidos a partir de los ensayos experimentales son mostrados en las Tablas 4 a 10.

De acuerdo con el análisis estadístico realizado se puede establecer que el valor más alto para esfuerzo a flexión longitudinal máximo alcanzado corresponde a la tercera formulación y el más bajo para la primera y segunda formulación de adhesivo, sin que exista una diferencia significativa entre los valores obtenidos para estas; para las sollicitaciones de compresión paralela y perpendicular a la fibra se establece que no existe diferencia en el valor de resistencia obtenido para las tres formulaciones de adhesivo empleadas; en el caso de corte paralelo a la fibra se establece que la máxima resistencia se obtuvo para la tercera formulación de adhesivo y la menor para la primera y segunda, sin que exista una diferencia significativa entre los valores obtenidos para estas; para corte perpendicular la resistencia más baja fue obtenida para la segunda formulación de adhesivo y la más alta para la primera y tercera formulación, sin existir diferencias significativas entre estas últimas; la resistencia a tensión paralela a la fibra más baja fue obtenida para la primera formulación de adhesivo, seguido del valor obtenido para la segunda y la resistencia más alta fue obtenida para los listones de la tercera formulación de adhesivo; finalmente, para la sollicitación de tensión perpendicular a la fibra la resistencia más alta fue obtenida para la tercera formulación de adhesivo y la más baja para la primera y segunda formulación, sin existir diferencia significativa entre los valores obtenidos para estas últimas dos.

Tabla 4. Resultados para el esfuerzo a flexión longitudinal máximo alcanzado

	FORMULACION 1	FORMULACION 2	FORMULACION 3
Máximo (kg/cm ²)	1609.56	1202.01	1912.35
Mínimo (kg/cm ²)	39.07	145.88	376.46
Mediana (kg/cm ²)	602.63	587.95	1043.85
Promedio (kg/cm ²)	643.05	627.85	1044.10
Desviación estandar (kg/cm ²)	320.14	269.88	384.78
Coefficiente de variación (%)	49.78	42.99	36.85

Tabla 5. Resultados para el esfuerzo último a compresión paralela a la fibra

	FORMULACION 1	FORMULACION 2	FORMULACION 3
Máximo (kg/cm ²)	1142.88	703.39	1118.02
Mínimo (kg/cm ²)	195.04	161.57	187.14
Mediana (kg/cm ²)	529.34	476.78	510.18
Promedio (kg/cm ²)	537.92	465.02	551.47
Desviación estandar (kg/cm ²)	230.76	118.85	251.62
Coefficiente de variación (%)	42.90	25.56	45.63

Tabla 6. Resultados para el esfuerzo a compresión perpendicular a la fibra

	FORMULACION 1	FORMULACION 2	FORMULACION 3
Máximo (kg/cm ²)	241.64	208.27	255.30
Mínimo (kg/cm ²)	56.75	62.29	46.97
Mediana (kg/cm ²)	117.67	141.69	146.22
Promedio (kg/cm ²)	126.37	135.16	140.33
Desviación estandar (kg/cm ²)	50.73	42.49	52.06
Coefficiente de variación (%)	40.14	31.44	37.10

Tabla 7. Resultados para el esfuerzo último a corte paralelo a la fibra

	FORMULACION 1	FORMULACION 2	FORMULACION 3
Máximo (kg/cm ²)	46.42	44.60	79.17
Mínimo (kg/cm ²)	3.05	2.82	2.60
Mediana (kg/cm ²)	17.59	14.46	33.17
Promedio (kg/cm ²)	21.73	16.79	34.31
Desviación estandar (kg/cm ²)	10.41	10.42	19.61
Coefficiente de variación (%)	47.91	62.07	57.15

Tabla 8. Resultados para el esfuerzo a corte perpendicular a la fibra

	FORMULACION 1	FORMULACION 2	FORMULACION 3
Máximo (kg/cm ²)	147.32	93.49	157.35
Mínimo (kg/cm ²)	13.20	9.61	8.87
Mediana (kg/cm ²)	86.31	64.42	85.81
Promedio (kg/cm ²)	83.36	62.05	85.79
Desviación estandar (kg/cm ²)	32.14	19.32	30.00
Coefficiente de variación (%)	38.56	31.14	34.97

Tabla 94. Resultados para el esfuerzo último a tensión paralela a la fibra

	FORMULACION 1	FORMULACION 2	FORMULACION 3
Máximo (kg/cm ²)	1377.08	1701.57	2984.31
Mínimo (kg/cm ²)	325.86	766.09	593.73
Mediana (kg/cm ²)	764.86	1308.26	1675.75
Promedio (kg/cm ²)	769.07	1297.43	1708.32
Desviación estandar (kg/cm ²)	270.08	240.11	559.59
Coefficiente de variación (%)	35.12	18.51	32.76

Tabla 10. Resultados para el esfuerzo último a tensión perpendicular a la fibra

	FORMULACION 1	FORMULACION 2	FORMULACION 3
Máximo (kg/cm ²)	11.85	7.79	13.53
Mínimo (kg/cm ²)	0.22	0.68	1.38
Mediana (kg/cm ²)	2.27	3.70	4.91
Promedio (kg/cm ²)	3.68	3.84	5.57
Desviación estandar (kg/cm ²)	3.34	2.07	3.06
Coefficiente de variación (%)	90.84	53.91	54.97

Conclusiones

De acuerdo con el análisis estadístico se obtuvieron mayores valores de esfuerzo último ante diferentes sollicitaciones para la tercera formulación de adhesivo.

El material presenta valores altos de esfuerzos últimos ante sollicitaciones de compresión y tensión paralela a la fibra así como flexión longitudinal.

Los valores de esfuerzo máximo alcanzado a flexión son del mismo orden de magnitud que los valores obtenidos por Nugroto. Sin embargo el valor promedio obtenido es más alto

Referencias bibliográficas

- Bolívar, O. F., & Sepúlveda, A. 2008. Plan de Aprovechamiento de los residuos generados en el proceso de laminado de la Guadua angustifolia. Universidad Nacional de Colombia.
- Cortés, J. C., & Takeuchi, C. P. 2011. Fortalecimiento de la Cadena Productiva del Bambú Guadua con la Producción de Laminados. *Revista Facultad Nacional de Agronomía*, 64(26), 5983–5991.
- Nugroto, N., & Ando, N. 2001. Development of structural composite products made from bamboo II: fundamental properties of laminated bamboo lumber. *The Japan Wood Research Society*, 237–242.
- Universidad Nacional de Colombia. 2014. Informe final proyecto de investigación. Resistencia mecánica y delaminación de elementos de fibra de guadua compactada

USO DE LA GUADUA (*Guadua angustifolia* KUNTH) PARA LA RESTAURACIÓN ECOLÓGICA DE TERRENOS AFECTADOS POR DESLIZAMIENTOS Y EROSIÓN SEVERA

Zoraida Calle, Mauricio Carvajal, Adriana Giraldo, Enrique Murgueitio

Fundación CIPAV – Centro para la Investigación en Sistemas Sostenibles de Producción Agropecuaria

zoraida@fun.cipav.org.co

Palabras claves: estructuras biomecánicas, bioingeniería

Resumen

Durante la última década el Área de Restauración Ecológica de CIPAV ha rehabilitado más de 100 sitios afectados por deslizamientos, cárcavas remontantes y erosión severa mediante un método basado en tres elementos: (1) la amplia participación de los beneficiarios locales en todas las etapas del proceso de restauración; (2) la construcción de estructuras biomecánicas (trinchos, terrazas escalonadas y filtros) de guadua *Guadua angustifolia*, y (3) la siembra de plantas en alta densidad, incluyendo la guadua misma.

Esta aproximación es eficiente para reducir el riesgo en terrenos inestables y produce resultados perdurables porque incide sobre las causas directas de la erosión y los movimientos en masa, tales como la concentración de las aguas de escorrentía y la desprotección de los suelos. La siembra en alta densidad de diversas hierbas, arbustos y árboles de la flora local, facilita el rápido cubrimiento del suelo y el desarrollo de una vegetación con estructura compleja. Así se logra la estabilización definitiva y un mejoramiento en los atributos ecológicos y estéticos de las superficies afectadas por deslizamientos y cárcavas.

Introducción

Diversas estadísticas sugieren que Colombia es uno de los países del mundo con mayor frecuencia, intensidad y efectos catastróficos de los derrumbes. Por una parte, una de las regiones donde ocurren más deslizamientos es el noroeste de Suramérica. A una escala geográfica menor, se reconoce que las subregiones de mayor riesgo en el mundo, es decir aquellas donde en promedio más de una persona muere cada año en deslizamientos por cada 100 km², se encuentran en Colombia, Tajikistán, India y Nepal. Además, Colombia es, después de Indonesia, el país del mundo que combina la mayor población expuesta y el número más alto de muertes registradas cada año en eventos de este tipo (Nadim et al., 2006).

Los registros históricos del IDEAM muestran varios períodos recientes con lluvias de intensidad excepcional en la zona andina colombiana. Este patrón coincide con las predicciones del Panel Internacional para el Cambio Climático, que mencionan aumentos regionales en la intensidad de

las lluvias y los huracanes. La vulnerabilidad de la población frente a los desastres naturales es cada vez mayor, en la medida en que las lluvias intensas generan un número mayor de crecientes súbitas, inundaciones y deslizamientos de tierra, es decir, los eventos que causan el 90% de los desastres en el país (Campos et al., 2012).

La restauración ecológica es una actividad deliberada que inicia o acelera la recuperación de un ecosistema con respecto a su salud, integridad y sostenibilidad (SER, 2004); es el proceso de ayudar al restablecimiento de un ecosistema que se ha degradado, dañado o destruido (SER, 2004).

Restauración de terrenos afectados por erosión severa

Durante la última década, la Fundación CIPAV – Centro para la Investigación en Sistemas Sostenibles de Producción Agropecuaria, ha desarrollado y aplicado con éxito un método para la restauración ecológica de áreas afectadas por deslizamientos y erosión severa, que combina tres elementos principales: (1) la amplia participación social de los beneficiarios (residentes en la zona de influencia) en la ejecución de las obras, (2) la construcción de estructuras biomecánicas de guadua (filtros en espina de pescado, trinchos en V y terrazas escalonadas) y (3) la siembra de plantas nativas en alta densidad (Calle et al., 2011; Calle y Carvajal, 2012).

Este método es efectivo para detener los procesos erosivos sobre las superficies afectadas por deslizamientos porque incide sobre las causas directas de la erosión y los movimientos en masa, tales como la concentración de las aguas de escorrentía y la desprotección de los suelos. Una vez que concluye la adecuación del terreno y la construcción de las obras, las estructuras biomecánicas y su área de influencia se siembran con plantas de rápido crecimiento en muy alta densidad. Es fundamental utilizar una combinación de diversas hierbas, arbustos y árboles de la flora local, sembrados en alta densidad con el fin de garantizar el rápido cubrimiento del suelo y el desarrollo de una vegetación con estructura compleja. De esta forma se logra la estabilización definitiva de la superficie afectada por el derrumbe y un mejoramiento en sus atributos estéticos y ecológicos.

El éxito de esta aproximación para la restauración de derrumbes es evidente a simple vista (Ascúntar et al., 2012; Calle et al., 2013). Pocos años después de la intervención es difícil identificar el sitio exacto donde alguna vez se presentó un derrumbe porque las estructuras biomecánicas de guadua dejan de ser visibles al quedar cubiertas completamente por una vegetación variada y compleja. Las raíces de las plantas asumen poco a poco la función de estabilizar el terreno, de tal forma que las estructuras biomecánicas dejan de ser necesarias. Con el tiempo la guadua se descompone y se incorpora al suelo.

Esta estrategia ha permitido estabilizar más de 100 deslizamientos y cárcavas remontantes y recuperar los atributos ecológicos y la seguridad de la población en un área total de 1100 ha. Las obras han protegido más de 238 viviendas, 9 escuelas, 11 acueductos y 20 vías secundarias y terciarias, y han generado 30.512 jornales en las áreas de influencia de los derrumbes en los departamentos de Valle del Cauca, Cauca, Tolima y Caldas, y en el estado mexicano de San Luis Potosí (Rivera & Sinisterra, 2006, Rivera et al., 2007, Sinisterra et al., 2011). La figura 1 resume los tipos de estructuras biomecánicas de guadua y sus funciones.

Restauración ecológica vs. Obras civiles

En Colombia, la aproximación más común para la estabilización de terrenos afectados por deslizamientos es la construcción de obras civiles tales como muros de concreto o gaviones. En algunos casos estas obras son necesarias y eficientes para contener los suelos inestables. Sin embargo, las obras civiles no restablecen las funciones ecológicas de las áreas afectadas por remociones en masa o erosión severa. Por otra parte, las obras de contención elaboradas con materiales inertes se deterioran con el paso de los años, en tanto que los taludes restaurados con estructuras de guadua y siembras en alta densidad se fortalecen con el tiempo, restablecen la estabilidad del terreno y promueven el crecimiento de la vegetación protectora hasta hacerse irreconocibles en el paisaje de montaña.

Los beneficios sociales de esta aproximación también son evidentes. En tanto que los recursos económicos de las obras civiles se trasladan a los fabricantes de materiales con una considerable huella ecológica (acero y concreto, entre otros) y contribuyen mínimamente a la generación de empleo y al fortalecimiento de capacidades locales, una proporción importante del presupuesto de la restauración con estructuras de guadua se invierte en las comunidades locales y las personas participantes aprenden a hacer las estructuras y a manejar la regeneración natural para fortalecer la vegetación en el área de influencia del sitio intervenido.

Es claro que el país necesita una aproximación integral y sostenible a los problemas generados por el mal manejo de los suelos. En este sentido es fundamental combinar en forma estratégica la restauración ecológica de los taludes y las obras de ingeniería civil con el fin de lograr soluciones de largo plazo en armonía con el entorno natural y a un costo económico, social y ambiental razonable.

Diseño de las intervenciones

Cada sitio afectado por erosión severa es único, y requiere un diseño especial para contrarrestar el problema. Por esta razón, no existe una receta para estabilizar un deslizamiento. Solo hay algunos principios generales:

- La intervención se debe basar en una visión del paisaje y la microcuena. Por lo tanto, se debe atender toda la vertiente afectada, no solo el foco de erosión severa.
- El diseño de la intervención debe atacar las causas de la erosión y el deslizamiento.
- Después de estabilizar el terreno con estructuras biomecánicas, el foco de erosión y su área de influencia se deben cubrir completamente con plantas variadas, adaptadas a las condiciones locales y sembradas en densidad alta diversidad.
- El diagnóstico del sitio, el diseño de la intervención y la ejecución de las obras y siembras deben llevarse a cabo con participación de la comunidad local con el fin de incorporar el conocimiento ecológico tradicional.

A continuación se describen brevemente las estructuras de guadua y sus funciones.

Función 1: Reducir la velocidad del agua

Trinchos en V: Son estructuras escalonadas que se instalan en los drenajes y lechos de las quebradas para estabilizar y proteger el cauce. Se usan en puntos donde las aguas de escorrentía causan erosión y el desplome de los taludes. Están empotradas a gran profundidad, tanto en el fondo como a los lados, y su altura efectiva es mínima. Los trinchos en V reducen la velocidad y la fuerza erosiva del agua y conducen las aguas de escorrentía a una velocidad no erosiva hacia un drenaje estable.

Trinchos simples: Los trinchos también pueden ser hechos con material leñoso capaz de rebrotar. En este caso, las raíces del material que rebrota se suman a la función estabilizadora de la estructura de guadua. En el interior de las cárcavas, estos trinchos incrementan la rugosidad del terreno, reducen la turbulencia del agua y detienen el avance lateral y superior de la cárcava.

Disipadores de energía: Son estructuras simples que se instalan sobre los caminos para reducir la velocidad del agua, fragmentar el volumen y conducir el agua a sitios protegidos.

Terrazas vivas: Son estructuras de estabilización construidas a través de la pendiente formando balcones escalonados. Se complementan con hierbas rastreras, arbustos y árboles sembrados en alta densidad. No son obras de contención; por lo tanto no están diseñadas para retener el suelo sino para estabilizar pequeñas masas. De preferencia, deben ser hechas con material que conserve su capacidad de rebrote. La estabilidad completa del terreno donde se instalan las terrazas se logra a través del crecimiento de una comunidad vigorosa y compleja de plantas (multi-strata) con raíces entrelazadas.

Función 2: Estabilizar corredores ribereños

Espolón de piedra y guadua: Se usa para desviar la corriente de un río y así evitar que ésta golpee directamente un talud vulnerable durante las crecientes.

Función 3: Drenar aguas internas (sub-superficiales)

Filtros simples: Zanjas interconectadas en la dirección de la pendiente rellenas con guadua. Su profundidad depende de la presencia de un sustrato estable sin agua interna. Se utilizan para evacuar el agua que satura el suelo y conducirla a un lugar seguro, tal como una quebrada o drenaje con vegetación.

Lecciones aprendidas

Una evaluación sistemática de los cambios biofísicos y socioeconómicos que han ocurrido en los sitios restaurados varios años después de la intervención (Calle et al., 2013) reveló algunos patrones útiles para mejorar la eficiencia de este método de rehabilitación ecológica:

1. La duración de la guadua en las estructuras biomecánicas ha superado en todos los casos la vida útil prevista (cuatro años), principalmente en los sitios donde está en contacto

directo con el agua. Esto implica que no es necesario recurrir a madera de mayor dureza o durabilidad.

2. En algunos suelos, la guadua verde que se usa en las estructuras rebrota dando origen a plantas vigorosas que contribuyen a estabilizar el terreno rápidamente.
3. Las especies vegetales que complementan el papel de la guadua se deben seleccionar a partir de un análisis de las funciones que deben cumplir en el sitio.
4. Aunque esta técnica puede lograr una excelente recuperación de las áreas degradadas, es imposible garantizar los beneficios en el mediano y largo plazo si los beneficiarios desmontan las obras o retiran la vegetación en los sitios afectados.
5. Es viable sustituir algunas estructuras biomecánicas con plantas sembradas estratégicamente para cumplir las mismas funciones.
6. Las intervenciones de rehabilitación de los suelos erosionados deben ser compatibles con usos moderados del terreno que puedan ofrecer beneficios económicos directos tales como bancos forrajeros mixtos, sistemas agroforestales, extracción controlada de guadua y madera, o la producción de flores y follajes.

Función	Estructura
Reducir la velocidad del agua	Trinchos en V Disipadores de energía
Estabilizar pendientes, taludes y corredores ribereños	Terrazas de bambú Espolones de bambú en ríos
Drenar aguas internas (sub-superficiales)	Filtros (simples y en espina de pescado)
Prevenir la erosión laminar y proteger contra el fuego	Barreras de vegetación en curvas de nivel Barreras piro-resistentes
Detener el avance de las cárcavas remontantes	Sellado de remotes o márgenes de las cárcavas Caballones con plantas

Figura 1. Funciones de las estructuras biomecánicas de guadua en procesos de estabilización de taludes.

Referencias bibliográficas

- Ascúntar, O., Armbrecht, I., Calle, Z. 2011. Butterflies and vegetation in restored gullies of different ages at the Colombian Western Andes. Boletín Científico Centro de Museos Museo de Historia Natural de la Universidad de Caldas Bol. Cien. Mus. Hist. Nat. 14(2): 169-186.
- Calle Z., Carvajal M., 2012. Cómo vivir en las montañas sin agotar el suelo. Fundación CIPAV - ISAGEN. Cali, Colombia. 56 p. ISBN 978-958-9386-69-9.

- Calle, Z., Henao-Gallego, N., Giraldo, C., Armbrecht, I. 2013. A comparison of vegetation and ground-dwelling ants in abandoned and restored gullies and landslide surfaces in the western Colombian Andes. *Restoration Ecology* Vol. 21, No. 6, pp. 729–735. DOI: 10.1111/rec.12001
- Campos, A., Holm-Nielsen, N., Díaz, C., Rubiano, D.M., Costa, C. Ramírez, F., Dickson, E. 2012. Análisis de la gestión del riesgo de desastres en Colombia: un aporte para la construcción de políticas públicas –Bogotá, Colombia: Banco Mundial, 2012. <http://www.sigpad.gov.co/sigpad/archivos/GESTIONDELRIESGOWEB.pdf>
- Nadim, F., Kjekstad, O., Peduzzi, P., Herold, C., Jaedicke, C. 2006. Global landslide and avalanche hotspots. *Landslides* 3:159-173.
- Rivera J H & Sinisterra J A. 2006. Uso social de la bioingeniería para el control de la erosión severa. CIPAV. 110 p.
- Rivera JH, Sinisterra JA, Calle Z. 2007. Restauración ecológica de suelos degradados por erosión en cárcavas en el enclave xerofítico de Dagua, Valle del Cauca, Colombia, pp. 205-210. En: Serrato, Pedro K (editor). *Cañones colombianos: una síntesis geográfica*. IGAC, Imprenta Nacional de Colombia, Bogotá, 243 p.
- Society for Ecological Restoration International Science & Policy Working Group. 2004. *The SER International Primer on Ecological Restoration*. www.ser.org & Tucson: Society for Ecological Restoration International.
- Sinisterra J.A., Calle Z., Murgueitio E., Sánchez M., Rodríguez G. 2011. Avances en la rehabilitación ecológica de la cárcava Monte Caldera, San Luis Potosí. Pp. 335-345 en: Vargas O., Reyes S. (eds). *La Restauración Ecológica en la Práctica: Memorias del I Congreso Colombiano de Restauración Ecológica y II Simposio Nacional de Experiencias en Restauración Ecológica*. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. 633p.

APLICACIONES INDUSTRIALES DE LAS FIBRAS DE GUADUA EN LOS MERCADOS COLOMBIANOS

Omar Fabián Bolívar Chaves

SENA, Servicio Nacional de Aprendizaje - Avda. Cra. 30 # 17B - 25 sur – CMTC - Complejo Sur
omarbolivar@misena.edu.co

Palabras clave: Fibras, Residuos, Aprovechamiento, Guadua, Textiles.

Resumen

A partir del acompañamiento al proceso de investigación sobre el laminado de guadua angustifolia Kuntt, encontramos que el nivel de residuos generados se podría convertir en un problema ya que se calculan que más de un 55% del peso inicial de la guadua se convierte en aserrín, viruta o astillas, que luego de procesarla las podemos aprovechar en productos como cartones de empaque, tejidos o tableros altamente resistentes.

Abstract

From supporting the process of research on bamboo laminate Kuntt angustifolia, found that the level of waste generated could become a problem as it is calculated that more than 55% of the initial weight of the bamboo becomes sawdust chip or chips, that after we process it the advantage in products such as packing cartons, tissues or highly resistant boards.

Introducción

En Colombia existen entre 50.000 y 60.000 Ha de guadua (*Guadua angustifolia*), de las cuales solo están siendo aprovechadas el 40%¹⁰, debido a la falta de aplicaciones, y al bajo interés que tienen las comunidades en el cultivo y la explotación de la guadua.

El Grupo de Investigación de Madera y Guadua de la Universidad Nacional de Colombia / Colciencias, en la actualidad desarrolla el proyecto “Investigación y estudio de la guadua” enfocado en el diseño y construcción de elementos estructurales en Guadua Angustifolia laminada prensada y pegada.

Por tanto en esta investigación presentamos una propuesta de aprovechamiento de estos residuos conjunta con un sistema de capacitación de las comunidades guadualeras, para que estos residuos puedan ser usados para elaborar nuevas materias primas que sirvan para estimular el diseño y creación de nuevos productos.

Con la fabricación de productos ambientalmente sostenibles se contribuye a la preservación de los recursos naturales, la protección del patrimonio ambiental, cultural, a la generación de ingresos para las comunidades y al progreso de la región, todo lo cual constituye el desarrollo humano sostenible.

¹⁰ Proexport Colombia. 2001. Exportación de Pisos en Guadua para la Unión Europea. Bogotá, Colombia, 62 p.

Luego encontrando una nueva aplicación en Colombia que serían los textiles, ya que la oferta de nuevas fibras funcionales son esenciales en el desarrollo de la innovación del sistema moda que se encuentra cada vez más presionado por las solicitudes de los demandantes de tecnologías textiles para entrar a competir al fuerte mercado mundial.

Descripción Del Proyecto

En Colombia existen entre 50.000 y 60.000 Ha de guadua de las cuales solo están siendo aprovechadas el 40% , debido a la falta de aplicaciones, y al poco interés que tiene las comunidades en el cultivo y la explotación de la guadua. Por esto en el Grupo de Investigación de Madera y Guadua de la Universidad Nacional de Colombia se lleva a cabo un proyecto que consiste en diseñar y construir elementos estructurales en Guadua Angustifolia laminada.

Durante el laminado se crea un porcentaje de residuos que esta alrededor de 50% del peso del material, en los procesos de corte con trompo y cepillado, esta muestra se tomó pesando los listones de 80 guaduas al inicio de cada uno comparado con el peso luego de cada paso, lo cual arrojó el resultado mencionado (ver Tabla 1), estos residuos no están siendo aprovechados, generando una problemática ambiental, por tal motivo se plantea un plan de aprovechamiento de los residuos para así disminuir el impacto ambiental, lograr la sostenibilidad del proyecto, e implementarlo dentro de las comunidades de la región.

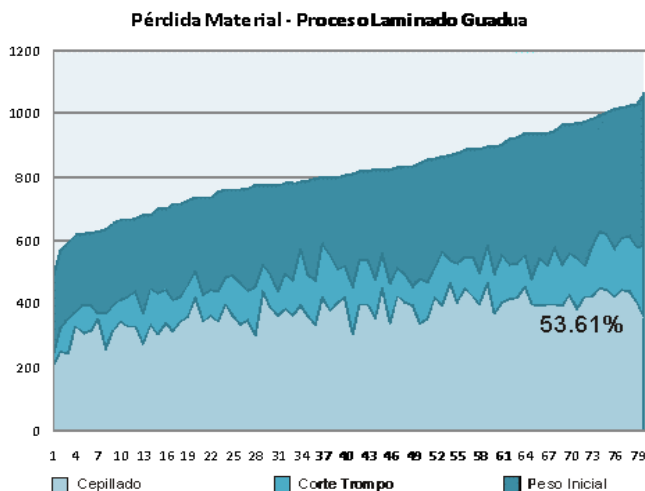


Tabla 1

Con los residuos generados (aserrín y viruta) por el laminado de la guadua se creó un material biodegradable aglutinado con materiales naturales, en un prototipo de prensa térmica donada por Alemania ¹¹, para el desarrollo de las muestras con características similares a la del poliestireno expandido para que pueda ser utilizado para diferentes aplicaciones, luego de hacer 200 cierres de prensa se obtuvieron diferentes características del material resultante, de los cuales se escogieron las de mejor calidad y sobre ellas se realizó un estudio de tiempos y presiones de compactación; todos los materiales fueron seleccionados para ser de fácil adquisición puesto que se busca que

¹¹ Por medio del taller de Pulpa y Papel de la Universidad Nacional de Colombia y del maestro Luis Eduardo Garzón, se generó la donación de la prensa por parte de Alemania mediante su embajada en Colombia.

este material pueda ser producido por las comunidades guadualeras para garantizar su sostenibilidad ambiental, económica y social.

El proceso consiste en la deslignificación de los residuos obteniendo pulpa celulosa que es la base de nuestro producto, el cual se pasa por una etapa de afinamiento por medio de maquinarias prototipadas en la Universidad Nacional para obtener una mejor calidad de fibra, una de ellas es el refinador que abre las fibras para que su unión sea más efectiva, luego en un lavador se limpia y ablanda las fibras resultantes, estos procesos optimizan los acabados de los productos resultantes, luego seleccionar las fibras se procede a la distribución para sus diferentes procesos ya sea para ser usados en papeles o cartones y para la producción de termoformados biodegradables.

Por otra parte la fibra celulosa como tal puede ser una solución viable para el alivianamiento de concretos, herramienta muy útil en los nuevos procesos de construcción.

Con la creación del nuevo material, cuyo componente principal son los desechos de guadua se propone entregar el proceso de fabricación del material a las comunidades implicadas, para que sean ellas mismas las que produzcan el material y lo puedan a vender a empresas más grandes para diversos usos.

Para lograr este objetivo las comunidades deben organizarse en clusters productivos. En estos se deben identificar dos tipos de industrias, la primaria o existente, que consiste en la guadua destinada para arquitectura, ingeniería o artesanía, y la creación de una industria secundaria, que consistiría básicamente en la creación de subproductos a partir del material creado con desechos de guadua.

No solo la guadua está presentando estos problemas de sostenibilidad social, ambiental y económica, identificamos otros residuos que están generando problemas ambientales, que podrían utilizarse de igual manera para generar subproductos, industrialmente encontramos residuos como tallos de claveles o rosas, y otros como fibra de coco, la piña, la caña de maíz, el tamo de arroz y del trigo.

Paralelamente se inició un proyecto de investigación de aprovechamiento de residuos de floricultura que consiste en crear elementos y materiales que puedan ser reincorporados en el proceso productivo de flores, tales como papeles para envolturas, cartones de empaque y a futuro los semilleros para la germinación de las plántulas, inicialmente en la sabana de Bogotá, se instalará la planta piloto que procesara 1 Ton diaria de residuos, luego de optimizarla esta planta se podrá replicar y escalar en cualquier lugar, todo esto está siendo llevado a cabo con el apoyo de Asocolflores, Colibri Flowers, Universidad Nacional, y Ministerio de Agricultura¹².

Algunas consideraciones que se deben tener presentes en caso al producir el material en grandes cantidades son las siguientes:

El material obtenido contiene alrededor de un 70% de pulpa celulosa, por tal motivo su calidad puede llegar a variar con facilidad si este es expuesto a condiciones de excesiva presión, de calor o de humedad, condiciones que se deben tener presentes al momento de ser almacenado.

Se obtuvieron varias muestras con diferentes densidades y cualidades mecánicas que luego fueron implementadas en el diseño y producción de un contenedor (ver Figura 1), al cual se le deben realizar pruebas mecánicas, físicas y químicas que en este momento están en desarrollo y próximamente serán publicados sus resultados.

¹² www.wix.com/residuos/aprovechamiento-



Figura 1. Contenedor Biodegradables de guadua

En las pruebas de Biodegradabilidad aerobia, se obtuvieron resultados dependiendo del porcentaje de aglutinante y aglomerante de las mezclas que oscilaban entre los 9 y 45 días para su de degradación total. También se observa que el material debido a sus componentes y a la temperatura de termoformado es frágil, por lo tanto para que el material pueda llegar a ser más resistente se deben agregar otros componentes químicos o trabajar diferentes formas geométricas para disminuir su fragilidad. Sin embargo la resistencia lograda en el material funcionaria en aplicaciones como semilleros, productos de menaje y para algunos empaques dependiendo del uso que se les vaya a dar.

Con las características similares a las del poliestireno expandido el nuevo material podrían ser usado en todas las aplicaciones que tiene este en la actualidad tales como bandejas de comida, amortiguadores de empaque, empaques térmicos, platos y vasos desechables, paneles de aislamiento termo-acústico y los semilleros de germinación, todo esto luego de revisar las siguientes variables.

Finalmente, identificamos que el campo de aplicación de este material desde la perspectiva del diseño industrial es bastante amplio, por lo tanto no solo se quiere llegar a proponer un producto único, sino que se busca ir más acorde con los objetivos de este trabajo, como lo es proponer un material ambientalmente sostenible, que pueda llegar a ser la base de nuevas líneas investigación. Una de estas líneas de investigación es la aplicación el textiles ya que con el apoyo del **SENA** – Servicio Nacional de Aprendizaje, en el Centro de manufactura en Textiles y Cuero, de la regional Distrito Capital en su laboratorio de análisis de materiales preocupado por la baja calidad los textiles nacionales y el incremento de la importación de hilazas que disminuye la competitividad de los productos terminados, en la búsqueda de nuevas fibras se trabaja con fibras naturales tales como cañamo y guadua, y las aplicaciones de nanotecnología pata crear textiles funcionales que satisfagan los requerimientos de los mercados mundiales. A partir de esta investigación hemos venido trabajando sobre identificar las cualidades de la fibra, como por ejemplo si alto poder bactericida, que puede ser de gran utilidad en la creación de prendas para bebes ya que permanecerían inocuos ante la presencia de bacterias altamente peligrosas para la vida humana.

Por otra parte no el 100% de la fibra obtenida no puede ser empleada en los textiles debido a su falta de suavidad, por tal motivo se planteó la alternativa de generar unos tableros mezclando la fibra de guadua con fibras de polipropileno entorchadas sobre la fibra natural y luego termolaminar para obtener la flexibilidad de polímero más la resistencia de las fibras de guadua.



Fibra de Guadua + Polipropileno

Estas investigaciones en textiles están en proceso y se presentaran los resultados una vez sean comprobadas sus aplicaciones industriales, este sería el primer paso para generar un nuevo mercado de las fibras naturales en Colombia y aprovechar un 100% de los residuos de algunos de los procesos industriales.

Conclusiones

Como resultado de estas investigaciones llegamos a las siguientes conclusiones y pasos que debemos seguir para que este producto sea ofertado de manera industrial.

- Analizar la presencia de residuo químico en el producto final que pudiera migrar hacia sus contenidos.
- Buscar tintes naturales que no den un buen acabado y que no disminuyan las cualidades del producto final.
- Mezclar con algún biopolímero u otro ingrediente que nos ayude a regular el tiempo de biodegradabilidad dependiendo el uso que le vayamos a dar al material.
- Agregar un componente que disminuya la inflamabilidad para evitar accidentes.
- Extraer y sintetizar la enzima que provee las características antibacteriales de las fibras para ser nanoimpregnadas en las fibras naturales convencionales para dar valor agregados a los tejidos nacionales.

Referencias bibliográficas

- Castaño, F. Guadua para todos: cultivo y aprovechamiento. Bogotá: Gtz, Cortolima, Corpocaldas, CVC, CRQ, Carder, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2004. 188 p.

- CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL VALLE DEL CAUCA. Subdirección de Recursos Naturales. La guadua: su cultivo y manejo técnico. Cali: Corporación Autónoma Regional del Valle, 1991. 19 p.
- FEDERACIÓN NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA. El cultivo de la guadua. Bogotá: Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, 2002. 16 p.
- GIRALDO HERRERA, ÉDGAR. Una alternativa sostenible: la guadua. Armenia: Fudesco, 1999. 192 p.
- INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS. Atmósferas estándar de acondicionamiento y ensayo para papel, cartón, pulpa y productos relacionados. Bogotá: ICONTEC, 2008. 12 p : il. (NTC 333)
- PEREZ LAGUNA, FREDY. Inventario forestal a rodales de guadua en la región de rionegro municipios de Pacho, La Palma, El Peñon, Yacopí, Topaipí, Paimé y San Cayetano. Bogotá: Ministerio de agricultura, 2004. 23 p.
- WATSON, DAVID. Cómo hacer papel artesanal: papel hecho a mano con materiales reciclados y componentes naturales. Madrid: Celeste Ediciones, 1991. 80 p.
- PROEXPORT COLOMBIA. Exportación de Pisos en Guadua para la Unión Europea. Bogotá, Colombia, 2001. 62 p.

PROPIEDADES MECÁNICAS DE MATERIALES COMPUESTOS NO CONVENCIONALES DE BASE CELULÓSICA PARA APLICACIONES EN CONSTRUCCIÓN

German A. Díaz Ramírez ^a, Julio Cesar Pinillos Fonseca ^b, Ricardo A. Cruz Hernández ^c

^a Universidad Industrial de Santander. Cra 27 calle 9 B. universidad, germanadiazr@yahoo.com

^b Universidad Industrial de Santander. Cra 27 calle 9 B. universidad, disjuliopin@hotmail.com

^c Universidad Industrial de Santander. Cra 27 calle 9 B. universidad, ricarcruzyahoo.com

Palabras clave: materiales biocompuestos, fibras naturales, guadua, bambú, laminados.

Resumen

En la investigación sobre materiales compuestos de tipo estructural en la UIS concretamente en el caso de la guadua laminada, los objetivos de investigación se dirigen al aprovechamiento eficiente de la materia prima y la posterior predicción de su comportamiento mecánico.

Por otra parte, con los materiales compuestos reforzados de matrices poliméricas se pretende dar paso de fibras inorgánicas a agentes reforzantes basados en fibras naturales partiendo del análisis del comportamiento mecánico de estas.

La síntesis de materiales compuestos en donde la matriz se obtenga a partir de polímeros reciclados y el refuerzo sea de tipo celulósico, bien sea subproducto de otros procesos o no, constituyen una iniciativa que presenta varias ventajas, en cuanto a la reducción de costos e impacto ambiental así como en el desarrollo de nuevas aplicaciones.

Abstract

The recent research projects about composites materials in the Industrial University of Santander (UIS) in the case of laminated bamboo, focus its efforts in the efficiency of the efficient leveraging of the raw material and the prediction of the mechanical behavior of the composite.

Moreover, in the reinforced composites materials the studies seek to change the type of the matrix and also the type of reinforce fibers, in both cases for organic or recycled raw materials, having as starting point the analysis of the mechanical behavior of the fibers.

The advantages of this new kind of composites lies in the cost and environmental impact reduction as well as the new applications development.

Introducción

En los últimos años se ha despertado el interés por desarrollar materiales alternativos o no convencionales bien sean compuestos o reconstituídos, tal que se pueda convertir en sustitutos de materiales poliméricos o compuestos existentes, principalmente debido a la conocida huella de carbono y su consecuente impacto sobre el medio ambiente.

Entre estos materiales se encuentran algunos polímeros termoplásticos que por su facilidad de recolección y separación pueden constituirse en fuente de materia prima, tal es el caso del PET; el PP y el PC que se encuentra en algunos productos.

Por otra parte, en cuanto a las fibras de refuerzo, estas pueden obtenerse de varias fuentes como el fique, la palma de aceite, el bambú-guadua, la caña de azúcar, etc.

Otros materiales compuestos se pueden obtener procesando otros recursos maderables de bajo impacto ambiental, tal es el caso del bambú laminado, en el cual mediante un proceso de estandarización de secciones geométricas se pueden lograr elementos de secciones transversales regulares y de propiedades similares, tal que permitan aplicaciones ingenieriles.

En suma, la reducción del impacto ambiental que generan ciertos materiales poliméricos, así como la posibilidad de su uso como materia prima para obtener nuevos materiales aptos para ser usados en construcción constituyen iniciativas que ameritan la dedicación de los grupos de investigación en materiales biocompuestos y de construcción en la Universidad Industrial de Santander.

En este trabajo se muestran los resultados de los proyectos más recientes que se han llevado a cabo en la universidad entre las carreras de Diseño Industrial e Ingeniería civil con la ayuda de nuestros estudiantes y personal de laboratorio.

Material compuesto reconstituido con base en PET reciclado

Este proyecto realizado con ayuda de la estudiante Diana Ramírez L. de Ingeniería civil, plantea el uso de PET obtenido mediante reciclaje de botellas de agua para ser usado como materia prima en la elaboración de un material reconstituido o como agente reforzante de resinas termoestables para la elaboración de nuevos compuestos. (figura 1)



Figura 1. Obtención y procesamiento del PET reciclado. a) peletizado. b) moldeado. c) elaboración de probetas con presión.

Luego de obtenido del material se caracterizaron sus propiedades físico-mecánicas a diferentes tipos de carga, los resultados se indican en la tabla 1.

Tabla 1. Resumen de las propiedades mecánicas de las probetas de PET

Tipo de Ensayo	Carga máxima (kg-f)	Desplazamiento (mm)	Esfuerzo máximo (kg-f/ cm ²)
COMPRESION	7561	1.5	722.2
FLEXION	1009	1.1	101.8
TENSION	23.5	0.33	29

Se observó que es posible hacer una mezcla homogénea del material, el cual exhibe buenas propiedades mecánicas a compresión, sin embargo ante otros tipos de carga requiere de agentes reforzantes para mejorar su desempeño. Se determinaron los rangos de temperatura óptimos para el reprocesado del PET, y se encontró que el tamaño de los pellets influye en la homogeneidad de la mezcla.

Optimización de la materia prima en la obtención de laminados de Bambú GAK para uso constructivo

Este proyecto contó con la colaboración de los estudiantes Ana M. Chávez y Fitzgerald Lozano de la escuela de Ingeniería civil. Se estudió el comportamiento de la densidad, módulo elástico y la resistencia a cargas de flexión de vigas laminadas encoladas de Guadua *Angustifolia Kunth* (GAK) variando la geometría y orientación espacial de las fases e interfaces respectivamente así como la altura de sección del culmo (figura 2); el objetivo general fué minimizar el desperdicio de materia prima producto del proceso de elaboración de las latas que se utilizan en la conformación final del producto encolado laminado.

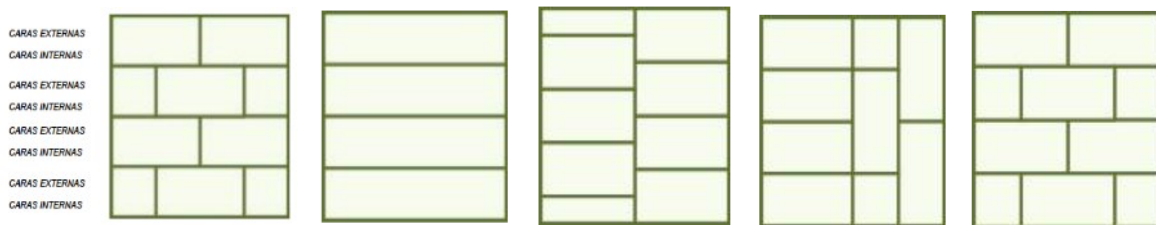


Figura 2. Diferentes tipos de configuraciones de laminados utilizados, la variación se relacionó con el área de sección disponible de acuerdo a la sección del culmo.

Para la caracterización mecánica de las probetas se utilizaron la norma NTC-663 y NTC- 301 para maderas. (Tabla 2). Con los resultados obtenidos se pudo concluir que no existe variación significativa en las propiedades mecánicas de los diferentes elementos diferenciados según la altura del culmo (cepa, basa y sobrebasa), con lo cual es posible combinarlos si temor a la afectación de sus propiedades mecánicas.

Tabla 2. Principales índices de desempeño de los compuestos laminados encolados de GAK

TIPO	ρ promedio (Mg/m ³)	E promedio (Gpa)	E/ρ (g/cm ³)	$E^{1/2}/\rho$
CEPA 1	0.67	4.61	6.87	3.20
CEPA 2	0.74	12.38	16.66	4.74
BASAS Y SOBREBASAS	0.73	10.58	14.47	4.45
COMBINADA 1	0.73	7.16	9.82	3.67
COMBINADA 2	0.72	8.17	11.4	3.99

Se observó que diferenciando las alturas de sección de los elementos, es posible disminuir el desaprovechamiento del material que fue entre 33% y 39%, mejorando las técnicas de corte y refrentado y disminuyendo las áreas de sección y longitudes es posible mejorar estas tazas de desperdicio.

Material compuesto a base de PET reciclado reforzado con fibras naturales de piña y plátano para aplicación en construcción de vivienda

Este trabajo se desarrolló en la escuela de Diseño Industrial con la participación de la estudiante Adriana Riveros. Partiendo del uso de polietilentereftalato (PET) reciclado como matriz reforzado con fibras naturales de piña y plátano, se estudió el comportamiento mecánico del compuesto obtenido a compresión.

Tabla 3. Propiedades mecánicas a compresión de compuestos de PET reciclado con refuerzo de tres tipos de fibras

Material	Carga máxima (N)	Esfuerzo de compresión (MPa)	Densidad (kg/cm)	
A. PPR	70/30	959.05	7.55	1.47
	80/20	922.72	7.26	1.51
	90/10	818.55	6.44	1.56
M1 PPR	70/30	1412.64	11.12	1.56
	80/20	1878.84	14.79	1.6
	90/10	1206.39	9.49	1.66
M2 PPR	70/30	859.33	6.76	1.33
	80/20	1260.37	29.11	1.37
	90/10	2380.95	18.74	1.39

Los resultados mostraron que de las mezclas propuestas, el compuesto que mejor se comportó fue el reforzado con fibras de plátano, es importante destacar que el comportamiento de la mecánica de la fractura así como el comportamiento de la línea de adhesión interfacial no fue estudiada en este proyecto y quedó planteada para futuros trabajos.

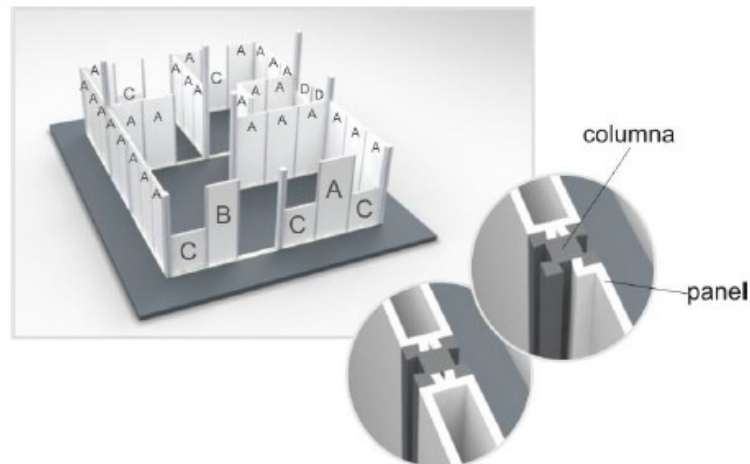


Figura 3. Propuesta de sistema de paneles para la construcción de vivienda de interés social.

Con base en este material se propuso la elaboración de paneles modulares para se utilizados como divisiones en viviendas de bajo costo o interés social. (Figura 3).

Material compuesto de PP reciclado reforzados con fibras naturales de aceite de Palma para aplicación en viviendas temporales

Este proyecto realizado como tesis en la escuela de Diseño industrial por los estudiantes Cesar esparza y Julián García propuso la obtención de un material compuesto usando como materia prima polipropileno reciclado como matriz; para el refuerzo se utilizaron fibras de aceite de palma obtenidas directamente de una de las empresas aceiteras de la región, en este caso las fibras son subproducto de desecho del proceso de la elaboración del aceite.



Figura 4. Propuesta de vivienda temporal para atención a población en situación de desastre o desplazamiento forzado.

Se obtuvieron y analizaron las propiedades físico-mecánicas del compuesto y se pudo constatar la viabilidad de las fibras de palma de aceite como agente reforzante para la matriz propuesta, y se realizaron propuestas formales de diseño de vivienda de construcción rápida para atención a emergencias ambientales. (Figura 4)

Material compuesto de Resina poliéster reforzados con cascarilla de arroz para aplicación en elementos para cubiertas (tejas)

Este estudio está en curso en la actualidad con el concurso del estudiante Luis F. Arenas de la escuela de Diseño Industrial y se propone evaluar la factibilidad de usar cascarilla de arroz como materia prima para obtener fibras de refuerzo para resina poliéster y evaluar su desempeño mecánico en comparación con las fibra de vidrio tradicional

Se determinarán las propiedades físico-mecánicas del material elaborado a cargas de tracción, compresión y flexión. El estudio busca comprobar si las fibras obtenidas de la cascarilla de arroz pueden sustituir a la fibra de vidrio como agente reforzante a una matriz de resina poliéster.

Conclusiones

Los materiales compuestos no convencionales pueden considerarse como una alternativa viable para reemplazar en aplicaciones estructurales algunos de los materiales que se están usando en la actualidad, sobre todo materiales que en gran porcentaje están constituidos por polímeros inorgánicos.

Sus propiedades mecánicas se aproximan a los materiales que se proponen reemplazar, sin embargo existen nuevas variables de estudio que se deben entrar a analizar como las relaciones interfaciales entre los componentes, la durabilidad y la estabilidad dimensional entre otros.

Finalmente, sus aplicaciones pueden ser muy variadas, sin embargo se debe empezar por hacer propuestas en donde el material cumpla funciones estructurales aunque no comprometan la estabilidad de una estructura, para luego dar paso hacia su uso mas protagónico en este tipo de aplicaciones.

Referencias bibliográficas

- Ramírez L. Diana, 2011. *Propuesta de un material compuesto con base al PET reciclado con aplicaciones en construcción*. Tesis de pregrado. Escuela de Ingeniería civil. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga. 109 p.
- Chávez C. Ana M., Lozano R. Fitzgerald. 2012. *Optimización de la guadua Angustifolia Kunth en la elaboración de elementos laminados para uso constructivo*. Tesis de pregrado. Escuela de Ingeniería civil. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga. 133 p.
- Riveros V. Adriana. 2012. *Caracterización de un nuevo material compuesto con base en un polímero reciclado y reforzado con biomateriales para la aplicación en construcción de vivienda*. Tesis de pregrado. Escuela de Diseño Industrial. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga. 235 p.
- Esparza C., García Julián A., 2013. *Diseño y construcción de un sistema modular habitable de instalación rápida a partir de la investigación y caracterización de un material compuesto, dirigido a grupos de personas en situación de desplazamiento por desastre ambiental*. Tesis de pregrado. Escuela de Diseño Industrial. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga. 115 p.

GUADUA LAMINADA Y LA INNOVACIÓN EN LA TRANSFORMACIÓN DE LA SECCIÓN TRANSVERSAL

Walter Mauricio Barreto Castillo

Universidad del Bío Bío, Concepción, Región VIII Biobío, Chile Av Collao 1202

wmbarretoc@unal.edu.co

Palabras clave: Guadua, Laminados, Bambú, Triangular, Molde

Resumen

Guadua es un recurso importante en Colombia por el uso y tradición en la arquitectura, la artesanía, el diseño y la ingeniería. El desarrollo de productos de valor agregado como la guadua laminada plantea problemas sobre la eficiencia en el aprovechamiento del producto. El material sobrante en el proceso de producción es de 64 % y la necesidad es reducir este material sobrante. Las dimensiones de las láminas son de 25 x 8 mm de sección transversal. Comparada con la madera estas dimensiones son reducidas porque ocupan más adhesivo y más proceso de maquinado. El problema entonces es que las dimensiones de las láminas y el material sobrante hacen que no sea eficiente el uso de la materia prima en el proceso de laminado de guadua. La transformación de la sección transversal de la guadua en triángulo aporta en la solución al problema planteado.

Abstract

Guadua is a Colombian important resource by its use and tradition in architecture, handicrafts, design and engineering. The developed of products with value added like laminated bamboo guadua shows problems about product available. Residual material in production process are 64 % and its need consist in to reduce this one. Sheet dimensions are 25 x 8 mm cross section, in comparison with wood this dimensions are low because need more adhesive and machine work. Problem then is that sheet dimension's and residual material make inefficient bamboo laminated process respect to raw material. Cross section transformation into a triangle contributes to solve problem given.

Introducción

Con el objetivo de validar una innovación de bajo impacto ambiental negativo se plantea un cálculo de rendimientos de sección transversal triangular para la fabricación de laminados de guadua especie *Guadua angustifolia Kunth*. Se plantea una metodología simple de cálculo volumétrico y el resultado valida la innovación. Se concluye que, además del bajo impacto

ambiental negativo el equilibrio de costo de producción se mantiene entre las experiencias actuales y la propuesta a futuro.

Materiales y métodos

Con base en antecedentes de Hidalgo 2003, donde se plantea la modificación de la sección transversal del bambú figura 1, se comparan las cantidades de adhesivo y superficie para maquinado de la sección triangular modificada y la sección natural. Se utiliza un método de cálculo simple de área con producto de longitudes para las superficies y volúmenes de un prisma teórico de 1 m³. En el caso de la sección circular se usan las propiedades de la circunferencia (apotema y sagita) y las funciones trigonométricas. El peso del adhesivo se calcula en gramos asumiendo 180 gr/m² de acuerdo al adhesivo (MF) citado por Montoya (2009).



Figura 1 Bambú triangular

Fuente: Walter Barreto

Resultados y conclusiones

La estructura de costos de producción del bambú laminado usando bambú triangular, se reduce en tres ítems. Primero los cortes longitudinales de cada troza bajan de 32 a 12. Segundo, se reduce la necesidad de 46.6 a 23.2 Kg de adhesivo por m³. Tercero, el área de superficie para cepillar, pulir y encolar pasa de 233 a 116 m² por cada m³. En total sumando la disminución de cada ítem el costo total de producción se reduce en 32% ese porcentaje se puede trasladar al moldeado del bambú triangular.

En conclusión las láminas de guadua que se usen producto de esta innovación garantizan menos consumo de adhesivo, maquinaria y mano de obra. Además del bajo impacto ambiental negativo el porcentaje de desperdicio de guadua es menor que en las actuales experiencias de laminado de guadua. El impacto ambiental, entendido en términos de consumo energético para maquinado y agotamiento de las fuentes de hidrocarburos para la producción de adhesivos.

Referencias bibliográficas

- Montoya J., *et al.* 2009. Determinación del adhesivo óptimo en la fabricación de vigas de bambú (*Guadua angustifolia*) en Facultad de ciencias agropecuarias vol 7 no. 1 enero - Junio pag. 68
- Hidalgo, O. 2003. Bamboo gift of the gods. Bogotá.

MODELO DE FALLA PROGRESIVA DE FIBRAS DE *Guadua angustifolia*

Martin Estrada^a, Dorian Luis Linero^b

^aUniversidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia. mestradam@unal.edu.co

^bUniversidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia. dllineros@unal.edu.co

Palabras clave: fibras naturales, bambú *Guadua angustifolia*, weibull, falla progresiva, daño

Resumen

En este estudio se presenta un modelo de falla progresiva de paquetes de haces de fibra de bambú *Guadua angustifolia*. Se utilizan propiedades mecánicas de los haces caracterizados en otros estudios, las cuales son representadas por medio de una distribución de probabilidad de Weibull. El modelo calcula la respuesta mecánica (curva $\sigma - \varepsilon$) de los paquetes con diferente número de haces de fibras. Esto permite ver una tendencia en el comportamiento mecánico de los paquetes de haces, a pesar de la gran dispersión de las propiedades mecánicas de los haces. Además, en el modelo de falla progresiva también se calcula la variable de daño d del paquete de haces, con lo cual se puede ver la evolución de dicha variable y asociar el comportamiento de los paquetes a un modelo de daño uniaxial.

Abstract

In this study we present a model of progressive failure of bamboo *Guadua angustifolia* fiber bundle clusters. The mechanical properties of the bundles come from other studies, which are represented by a Weibull probability distribution used. The model computes the mechanical response (curve $\sigma - \varepsilon$) of the clusters with different numbers of fiber bundles. This allows seeing a trend in the mechanical behavior of the clusters, despite the great dispersion of the mechanical properties of the bundles. Moreover, the progressive failure model computes the damage variable d , and one can see the evolution of this variable and associate the cluster mechanical behavior to a uniaxial damage model.

Introducción

Las fibras naturales exhiben algunas ventajas sobre las sintéticas. No solo son un recurso biodegradable y renovable, sino que se encuentran en gran abundancia en el planeta. Particularmente, el bambú es considerado como uno de los últimos recursos vegetales sostenibles que no ha sido explotado aun (Deshpande et al., 2000; Tokoro et al., 2008). Las fibras naturales son una buena opción para reforzar materiales compuestos poliméricos porque tienen buenas propiedades mecánicas y se obtienen fácilmente. Se ha estudiado un gran número de fibras naturales, pero las fibras de bambú no han sido particularmente un foco de investigación, a pesar de sus propiedades mecánicas favorables (Lopez & Correal, 2009), rápido crecimiento y biodegradabilidad (Deshpande et al., 2000).

En la literatura se encuentran unas pocas investigaciones sobre fibras de bambú *Guadua angustifolia*. Moreno et al. (2006) reportan valores entre 512 y 769 MPa para la resistencia a la

tensión y entre 25 y 29 GPa para el módulo de elasticidad. Desde otro enfoque, Estrada (2010) presenta resultados descritos de manera probabilista y no determinista. Aunque este tipo de estudios proporcionan resultados importantes, no son suficientes para la correcta comprensión del comportamiento mecánico de las fibras de *Guadua angustifolia*. El propósito de este estudio es utilizar un modelo de falla progresiva para obtener la respuesta mecánica de paquetes de fibras. Además, utilizar el modelo para determinar las variables que permiten describir el comportamiento mecánico de los paquetes por medio de un modelo constitutivo clásico.

Modelo constitutivo de daño uniaxial

La mecánica de daño en el medio continuo describe la pérdida progresiva de la integridad del material, debida a la aparición de fisuras, defectos o vacíos. Estos cambios en la microestructura conducen, en la escala macro, a la degradación de la rigidez del material (Jirasek, 2000). Los modelos de daño utilizan variables internas que caracterizan la orientación y densidad de los microdefectos en el material. Pero el modelo de daño uniaxial, siendo el más sencillo, puede idealizarse con un grupo de fibras elásticas localizadas paralelamente entre sí, cargadas axialmente. Durante el comienzo de la carga todas las fibras se comportan elásticamente y el esfuerzo lo ejerce la suma de toda el área transversal A . En este modelo las fibras tienen deformaciones críticas diferentes. Así que, a medida que aumenta la carga se incrementa la deformación del grupo y algunas fibras empiezan a romperse, como se ilustra en la Figura 7.

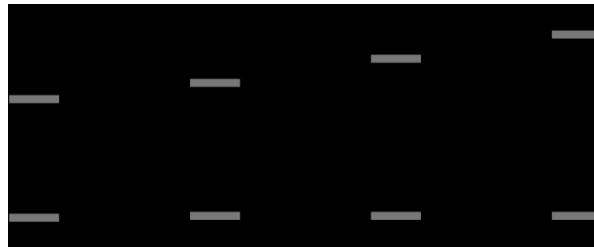


Figura 7. Esquema ilustrativo del proceso de rotura de las fibras

El área efectiva del grupo se reduce entonces desde $\bar{A} = A$ hasta $\bar{A} = 0$ y la relación \bar{A}/A determina la integridad del material (Jirasek, 2000). Los ingredientes principales del modelo de daño uniaxial, idealizado con un grupo de fibras paralelas, se encuentran a continuación.

$$\bar{\sigma} = E\varepsilon$$

$$\sigma = (1-d)E\varepsilon = E_{\text{sec}}\varepsilon$$

$$E_{\text{sec}} = (1-d)E$$

$$d = g(\varepsilon) = 1 - \frac{\bar{A}}{A}$$

$$\kappa = \max(\varepsilon), f = \varepsilon - \kappa$$

$$f \leq 0, \dot{\kappa} \geq 0, \dot{\kappa}f = 0$$

Modelo de falla progresiva para paquetes de haces de fibra de *Guadua angustifolia*

Un paquete de haces es un conjunto de haces de fibras incrustadas en la matriz de un material compuesto (*Guadua angustifolia* en este estudio). Cada haz de fibras está conformado por muchas fibras individuales con diámetros similares, aglomerados entre sí. El comportamiento frágil de cada haz de fibras i está representado por la relación entre el esfuerzo $\sigma^{(i)}$ normal y la deformación longitudinal $\varepsilon^{(i)}$. Esta relación es lineal hasta que la tensión normal alcanza la resistencia del haz de fibras $\sigma_u^{(i)}$ y la deformación longitudinal es igual a $\varepsilon_u^{(i)}$. Después, el esfuerzo normal en ese haz es nulo, mientras que la deformación longitudinal continúa incrementándose como se muestra en la Figura 8-a. El deslizamiento entre los haces de fibras y la matriz no está incluido en este modelo.

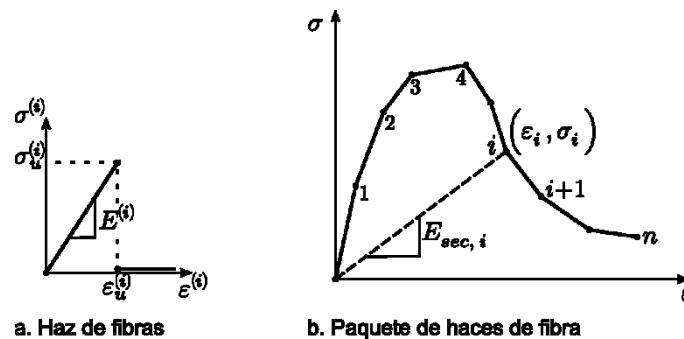


Figura 8. Relación analítica entre el esfuerzo normal y la deformación longitudinal en el modelo de falla distribuida

La relación constitutiva del paquete de haces se puede calcular por medio de un modelo de falla progresiva de n haces de fibra. Este modelo se basa en la teoría de mezclas (Truesdell, 1960) y una distribución de probabilidad de Weibull (Weibull, 1939) de la resistencia, la deformación y el área de la sección transversal de cada haz de fibras. En la teoría de mezclas se considera que la deformación de todos los haces de fibras $\varepsilon^{(i)}, \forall i \in [1, \dots, n]$ es la misma y el esfuerzo nominal de tensión del paquete de haces σ es igual a la suma ponderada de las tensiones de haz de fibras, es decir,

$$\varepsilon = \varepsilon^{(1)} = \dots = \varepsilon^{(i)} = \dots = \varepsilon^{(n)}$$

$$\sigma = k^{(1)} \sigma^{(1)} + \dots + k^{(i)} \sigma^{(i)} = \dots = k^{(n)} \sigma^{(n)}$$

La fracción volumétrica $k^{(i)}$ corresponde al haz de fibras i y la longitud de todos los haces de fibras se considera igual. Por lo tanto $k^{(i)} = A^{(i)}/A$, donde $A^{(i)}$ es el área de la sección transversal del haz de fibras i y A es el área de todo el paquete de haces, lo que corresponde a la suma del área de la sección transversal de todos los haces de fibras que constituyen el paquete.

Tabla 1. Parámetros de forma y escala para el área transversal, la deformación límite y la resistencia de haces de fibra de Guadua angustifolia (Estrada, 2013)

Prop.	Dim.	α	β
$A^{(i)}$	mm^2	2,0124	0,0193
$\varepsilon_u^{(i)}$	-	1,6917	0,01749
$\sigma_u^{(i)}$	GPa	1,8585	468,28

Los parámetros de las distribuciones de probabilidad de Weibull se obtuvieron de los resultados de los ensayos experimentales de investigaciones previas (Estrada, 2010; Estrada et al., 2013). Dichos parámetros de forma y escala asociados a la distribución Weibull de las propiedades mecánicas de los haces de fibra de Guadua angustifolia se presentan en la tabla 1.

Cada simulación numérica proporciona un conjunto aleatorio de haces de fibra de Guadua angustifolia, en donde cada haz tiene su propia área transversal $A^{(i)}$, deformación límite longitudinal $\varepsilon_u^{(i)}$ y esfuerzo último normal $\sigma_u^{(i)}$. Se calcula una curva del esfuerzo normal nominal σ contra la deformación longitudinal ε del paquete de haces de fibra, a partir del conjunto de datos de cada simulación. La Figura 8-b muestra el comportamiento no lineal del paquete de haces de fibra, producido por las diferencias de resistencia a la tracción y la rigidez de los haces de fibras. El Algoritmo 1 describe el modelo de falla progresiva utilizado en este trabajo (Estrada, 2013). El paso de carga $i+1$ corresponde a un instante en el que los haces de fibras contados desde 1 hasta i se encuentran rotos, y los haces de fibras desde $i+1$ hasta n conservan todavía su comportamiento elástico.

Algoritmo 1: Modelo de falla progresiva de paquetes de fibra de Guadua angustifolia

Input:

Parámetros Weibull $\beta_A, \alpha_A, \beta_\varepsilon, \alpha_\varepsilon, \beta_\sigma, \alpha_\sigma$

Output:

Respuesta mecánica del paquete de haces ($\sigma_i, \varepsilon_i, d_i$)

% Asignar propiedades mecánicas a los haces

For $i = 1 : n$

$$A^{(i)} = wblrnd(\beta_A, \alpha_A)$$

$$\varepsilon_u^{(i)} = wblrnd(\beta_\varepsilon, \alpha_\varepsilon)$$

$$\sigma_u^{(i)} = wblrnd(\beta_\sigma, \alpha_\sigma, A^{(i)})$$

$$E^{(i)} = \sigma_u^{(i)} / \varepsilon_u^{(i)}$$

End for

% Inicializar variables

$$A^{(p)} = \sum_{i=1:n} A^{(i)}$$

$$k^{(i)} = A^{(i)} / A^{(p)}$$

$$\bar{A}_0 = A^{(p)}$$

$$d_0 = 1 - \bar{A}_0 / A = 0$$

% Ordenar los datos de forma ascendente según la deformación límite de cada haz
 $sort(A^{(i)}, \sigma^{(i)}, E^{(i)}) | \varepsilon^{(1)} \geq \varepsilon^{(2)} \geq \dots \geq \varepsilon^{(n)}$

% Calcular la respuesta mecánica del paquete de fibras

For $i = 1 : n$

$$\varepsilon_i = \varepsilon_u^{(i)}$$

$$E_{sec} = \sum_{j=1:n} k^{(j)} E^{(j)}$$

$$\sigma_i = E_{sec} \varepsilon_i$$

$$E^{(i)} = 0$$

$$\bar{A}_i = \bar{A}_{i-1} - A^{(i)}$$

$$d_i = 1 - \bar{A}_i / A$$

End for

El conjunto de esfuerzos y deformaciones normales (σ_i, ε_i) desde la etapa de carga $i = 1$ hasta n describe el comportamiento mecánico del paquete de haces de fibras de *Guadua angustifolia* para una simulación. Sin embargo, la respuesta de obtenida para cada simulación es diferente debido a la dispersión estadística en las propiedades mecánicas de los haces de fibras. Por esa razón se hacen simulaciones de 6 ensayos de tensión a paquetes con diferentes números de haces de fibras: 40, 100, 200, 500, 1000, 5000. Teniendo en cuenta la dispersión de las propiedades mecánicas, se realizan 20 simulaciones para cada paquete de haces de fibra, para un total de 120 simulaciones. De esa manera se ve una tendencia del comportamiento mecánico de los paquetes y no una respuesta única.

Resultados

En las simulaciones de los ensayos con un bajo número de haces se observa una dispersión grande, como se esperaba. Ese efecto no permite identificar una tendencia en el comportamiento mecánico del paquete. Al aumentar el número de haces de los paquetes se observa que la curva de respuesta $\sigma - \varepsilon$ de los paquetes se acerca a un valor promedio. En la Figura se presenta la respuesta mecánica de los paquetes de 100, 500, 1000 y 5000 haces de fibras de *Guadua angustifolia*.

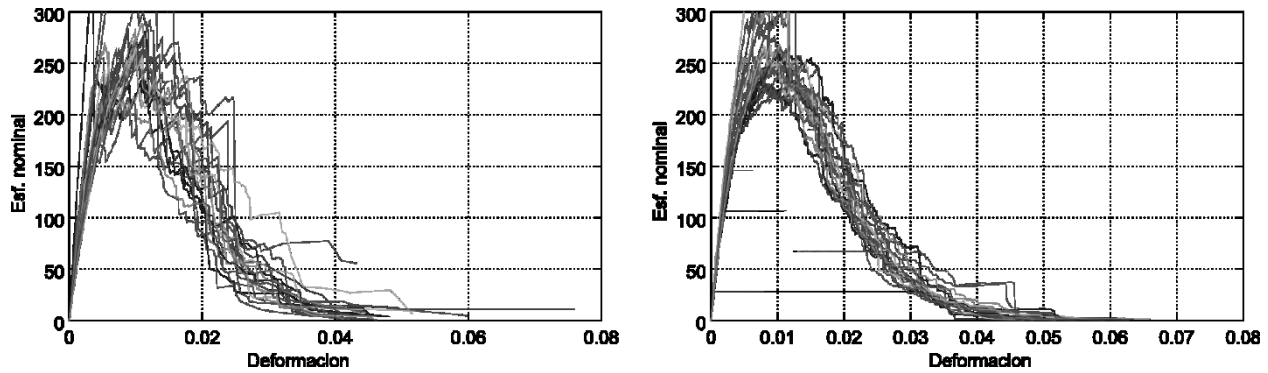


Figura 3. Respuesta mecánica de simulaciones de paquetes con 100 y con 500 haces de fibras de *Guadua angustifolia*

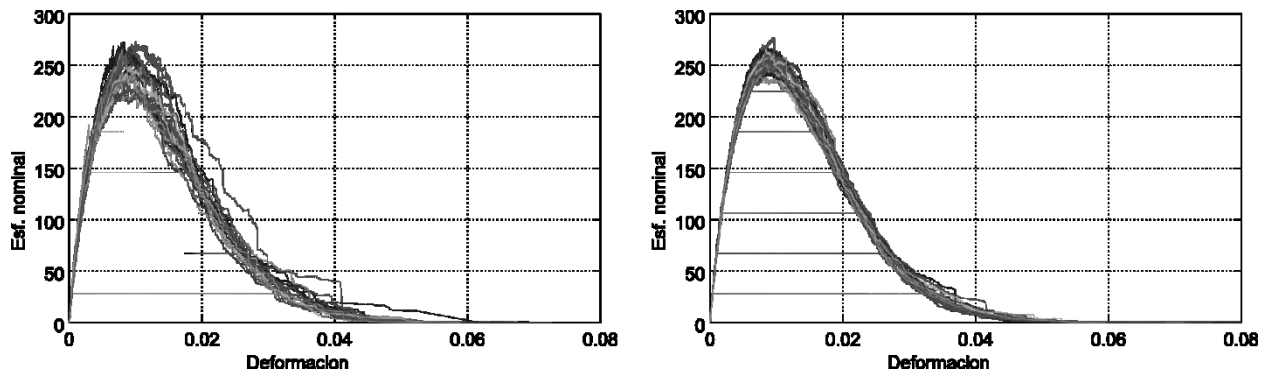


Figura 9. Respuesta mecánica de simulaciones de paquetes con 1000 y con 5000 haces de fibras de *Guadua angustifolia*

Los parámetros necesarios para el modelo de daño planteado son las propiedades mecánicas de los haces y, además, la evolución de la variable de daño d , la cual se calculó en un paso intermedio del Algoritmo 1. En la Figura 5.10 y

Figura 11 se muestra la tendencia de la variable de daño a medida que se aumenta el número de haces en el paquete.

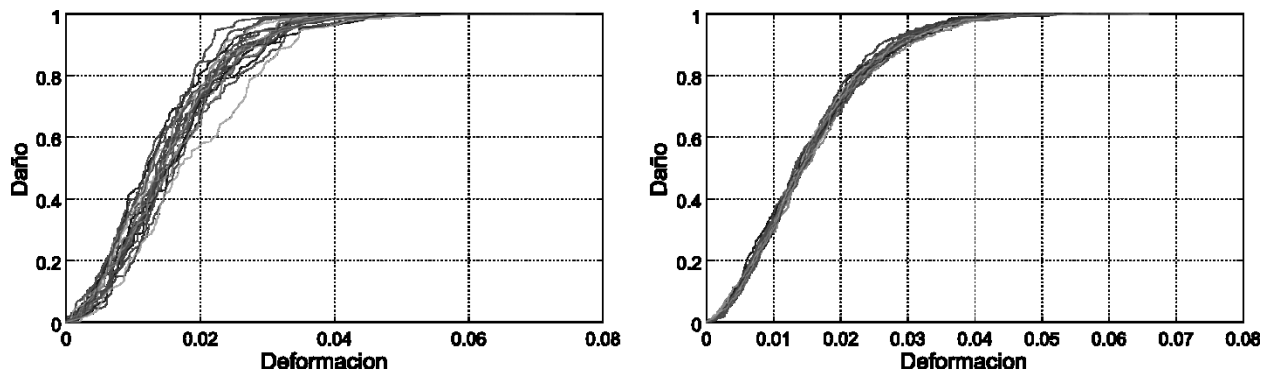


Figura 5.10 Variable de daño de simulaciones de paquetes de 100 y 500 haces de fibras de *Guadua angustifolia*

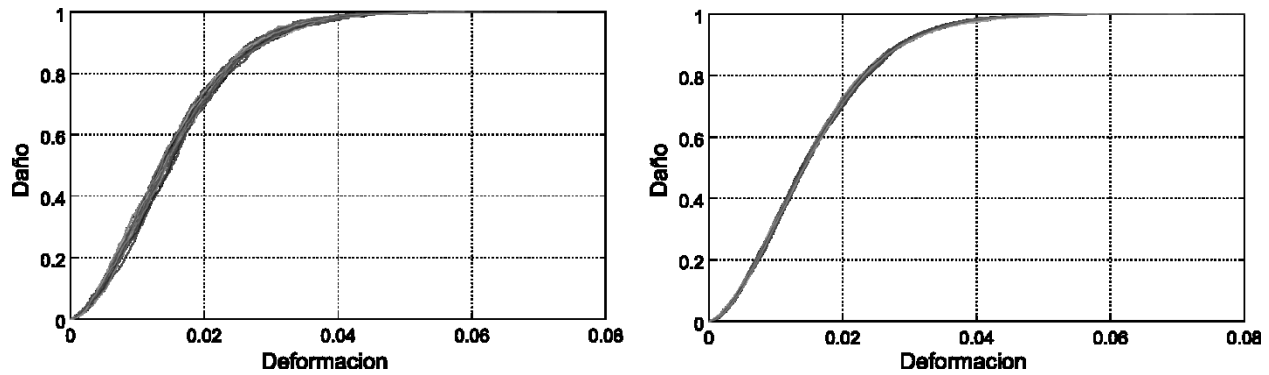


Figura 11. Variable de daño de simulaciones de paquetes de 1000 y 5000 haces de fibras de *Guadua angustifolia*

Referencias

- Andersons, J; Sparnins, E; Joffe, R, Wallstrom, L. 2005. *Strength distribution of elementary flax fibres*. Composites Science and Technology. 65. 3-4. pp 693-702.
- Baley, C. 2002. *Analysis of the flax fibres tensile behaviour and analysis of the tensile stiffness increase*. Composites Part A: Applied Science and Manufacturing. 33. 7. pp 939-948.
- Biagiotti, J; Fiori, S; Torre, L; López, M A, Kenny, J M. 2004. *Mechanical properties of polypropylene matrix composites reinforced with natural fibers: a statistical approach*. Materials Engineering. 25. 1. pp 26-36.
- Deshpande, A P; Rao, M B, Rao, C L. 2000. *Extraction of bamboo fibers and their use as reinforcement in polymeric composites*. Journal of Applied Polymer Science. 76. 1. pp 83-92.
- Estrada, M. 2010. *Extracción y caracterización mecánica de las fibras de bambú Guadua angustifolia para su uso potencial como refuerzo de materiales compuestos*. Universidad de los Andes.
- Estrada, M; Linero, D L, Ramírez, F. 2013. *Constitutive relationship of the fiber cluster of bamboo Guadua angustifolia, determined by means of a Weibull probability function and a model of progressive failure*. Mechanics of Materials. 63. pp 12-20.
- Jirasek, M. 2000. Numerical Modeling of Deformation and Failure of Materials.
- Moreno, L E; Osorio, L & Trujillo, E E. 2006. *Estudio de las propiedades mecánicas de haces de fibra de Guadua angustifolia*. Ingeniería y Desarrollo. 20. pp 125-133.
- Tokoro, R.; Vu, D. M.; Okubo, K.; Tanaka, T.; Fujii, T. , Fujiura, T. 2007. *How to improve mechanical properties of polylactic acid with bamboo fibers*. Journal of Materials Science. 43. 2. pp 775-787.
- Truesdell, C , Toupin, R. 1960. The classical field theories. Springer.
- Wang, Z, Xia Y. 1998. Experimental evaluation of the strength distribution of fibers under high strain rates by bimodal Weibull distribution. Composites Science and Technology. 57. 12. pp 1599 -1607.
- Weibull, W. 1939. Generalstabens litografiska anstalts förlag. En Ingeniörsvetenskapsakademiens handlingar.

DETERMINACION DEL PORCENTAJE DE DELAMINACION EN ELEMENTOS DE GUADUA COMPACTADA UTILIZANDO PROCESAMIENTO DIGITAL DE IMÁGENES DE CAMPO EXTENDIDO

Edgar Torres^{a*}, Patricia Luna^b, Caori Takeuchi^c

^aCarrera 30 #45-03 Edificio 304 Instituto de Investigaciones Tecnológicas, Bogotá – Colombia

^bCarrera 30 #45-03 Edificio 304 Instituto de Investigaciones Tecnológicas, Bogotá – Colombia

^cCarrera 30 #45-03 Edificio 406 Oficina 301, Bogotá – Colombia

^aedmtorresro@unal.edu.co, ^bplunat@unal.edu.co, ^ccptakeuchit@unal.edu.co

*autor correspondente

Resumen

Porcentaje de delaminación de muestras de Bamboo Guadua Compactada (BGC), utilizando el procesamiento digital de imágenes. Etapas del estudio: Elaboración de 12 tipos de muestras con fibra obtenida de diferentes partes del culmo y tres formulaciones de adhesivo, adquisición de imágenes de la sección transversal inicial de la muestra antes del ensayo de delaminación, ensayo de delaminación contemplado en la Norma ASTM D5824-98, adquisición de imágenes de la sección después del ensayo de delaminación y cálculo de los porcentajes de delaminación utilizando procesamiento digital de imágenes. Promedios de porcentaje de delaminación encontrados: 6.39%, 9.05%, 11.46% y 7.59% Basa, Sobrebasa, Varillón y mezcla respectivamente.

Abstract

The percentage of the samples of Compacted Bamboo Guadua (CBG), using the image processing. The steps of the study: elaboration of 12 types of sample of fiber take from different part of the culm and three formulation of the glue, acquisition of images of cross section before of the test of delamination, test of the delamination following the Norm ASTM D5824-98, acquisition of images of cross section after of the test of delamination and calculation of the percentage of the delamination using image processing. Averages of percentages of the delamination: 6.39%, 9.05%, 11.46% y 7.59% Middle (Basa), Top (Sobrebasa), Stick (Varillón), parts and mixture of them respectively.

Palabras Clave: Bambú guadua compactada, *Guadua angustifolia* Kunth, procesamiento digital de imágenes, segmentación de regiones de interés.

Introducción

Este artículo presenta la determinación del porcentaje de delaminación en elementos de Bamboo Guadua Compactada (BGC), usando procesamiento de imágenes de campo extendido, Este trabajo es una parte del proyecto de investigación titulado “Resistencia mecánica y delaminación en elementos de bambú guadua compactada” desarrollado por Universidad Nacional de Colombia

y financiado por el Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación – Colciencias.

El procesamiento digital de imágenes utiliza diferentes técnicas que buscan obtener información a partir de registros fotográficos hechos sobre el objeto de interés, técnicas como las reconstrucciones de objetos de gran tamaño que no se pueden tener con un solo registro; ejemplos de estos son la luna en el cual se toman secuencias de imágenes con un satélite y luego estas imágenes crean un panorama [1], los objetos que se desea ver en el laboratorio al microscopio y tienen un tamaño superior al que puede captar el objetivo del microscopio y es necesario crear un barrido para la reconstrucción de dichas muestras tales como tejidos de pequeñas secciones de madera células de gran tamaño [2]. En estos ejemplos se utiliza el procesamiento de imágenes para la observación pero también para la medición real de áreas, longitudes, formas, resaltar objetos de interés y conteo de objetos [3, 4].

Esta técnica de medición es diferente a la medida convencional del porcentaje de delaminación establecido en el procedimiento de la norma ASTM D5824-98 [5] y se utilizó para la medición de este parámetro en muestras de bambú guadua compactada debido a que en este material las líneas de pegue son aleatorias en las direcciones. El porcentaje de delaminación fue tomado como la diferencia entre el porcentaje de vacíos inicial y el porcentaje de vacíos después del test de delaminación.

Las técnicas de procesamiento digital de imágenes implementadas en el trabajo del cálculo de porcentaje de delaminación fueron las siguientes: pre-procesamiento digital que consistió en la adquisición de la secuencia de imágenes de la sección transversal de la muestra antes del ensayo de delaminación, procesamiento digital de imágenes para la generación de panoramas para obtener una imagen digital de la sección total transversal de la muestra física [6], medición digital de esta área [7], segmentación de regiones de interés donde se resaltan los vacíos [8], conteo de los vacíos y medición de la suma de área de todos los vacíos y finalmente cálculo inicial del porcentaje de vacíos como la razón entre el área de la suma de vacíos y el área de la sección transversal total de la muestra.

El mismo proceso es repetido después del ensayo de delaminación para encontrar el porcentaje de vacíos después del ensayo y con la diferencia entre el resultado final y el resultado inicial del porcentaje de vacíos se calcula un porcentaje final de delaminación.

Descripción del Material

Para fabricar listones de este material, culmos de bambú guadua de cuatro años de edad fueron cortados en el departamento del Quindío – Colombia y seccionadas en tres partes correspondientes con varillón, Sobrebasa y basa. La producción empezó con la obtención de tablas longitudinales de cada sección las cuales fueron pulidas para remover protuberancias y excesos de ancho en los nudos así como la capa externa. Después de eso las tablas fueron divididas en otras más. Para extraer los azúcares que el material posee, cada tabla fue introducida en un autoclave y luego fue secado siguiendo las especificaciones del proveedor de adhesivo. Para la impregnación del adhesivo, las tablas de bambú guadua fueron inmersas entre el adhesivo; luego pasaron a un segundo proceso de secado siguiendo nuevamente las recomendaciones del productor del adhesivo. El paso final consistió en la conformación de los elementos, usando presión vertical en caliente con el material confinado dentro de moldes. El proceso de fabricación es mostrado en la Figura 1.



Figura. 1 Proceso de Fabricación de fibra de guadua compactada

Metodología Experimental

Doce tipos de muestras de BGC fueron ensayadas. La clasificación de los tipos depende de la formulación de adhesivo (R1, R2 y R3) y de la parte del culmo de la guadua donde fue obtenida la fibra para la manufactura del material (Varillón, Sobrebasa, Basa y la mezcla de las tres). Los tipos de las muestras fueron llamados Varillón, Sobrebasa, Basa y Mezcla. Por cada tipo de muestra se elaboraron 12 réplicas. La Figura 2 muestra las dimensiones de las muestras de ensayo.

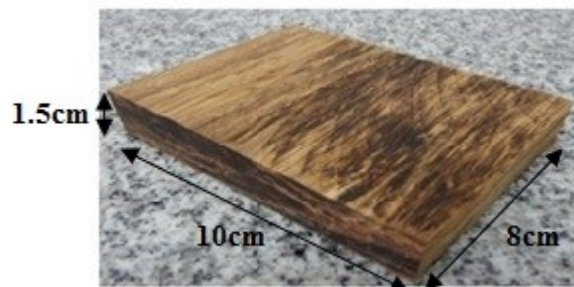


Figura. 2 Dimensiones para las muestras.

La sección transversal de las muestras de BGC fue reconstruida digitalmente antes del ensayo de delaminación y fue medido el porcentaje inicial de vacíos de cada muestra.

Siguiendo el procedimiento de la norma ASTM D5824-98, las muestras fueron introducidas en un autoclave que permite dar las condiciones de humedad y temperatura. Para los primeros dos ensayos se utilizó una presión máxima de 109.3kPa porque se observó con presiones más altas un porcentaje de delaminación muy grande, mayor que el requerido por la norma ASTM D 2559 – 00 [9]. Para el último ensayo se realizó con las presiones y condiciones de vacío especificados en la norma. Luego se procedió a reconstruir digitalmente las secciones transversales de las muestras después del ensayo para obtener el porcentaje de vacíos final de las muestras y poder calcular el porcentaje de delaminación de cada probeta.



Figura. 3 Secuencia de imágenes del área total de la muestra antes de la prueba de delaminación.

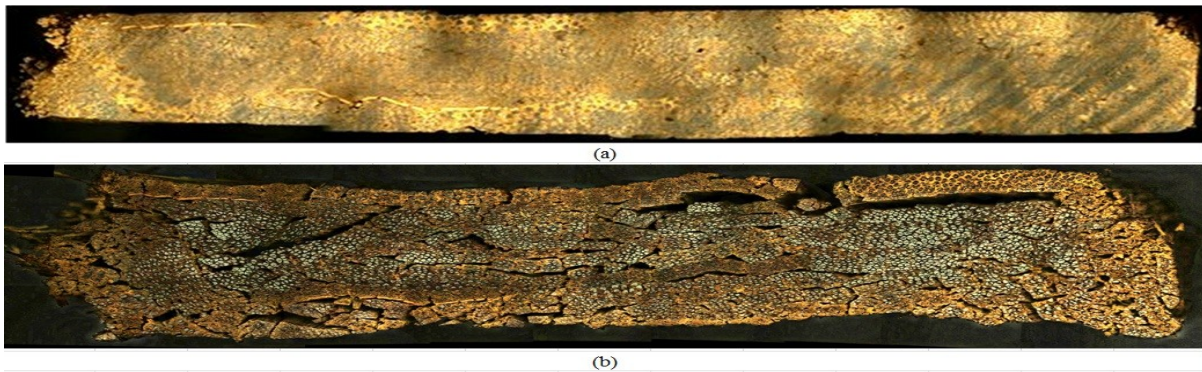


Figura. 4 Panorama: (a) antes del test de delaminación, (b) después del test de delaminación

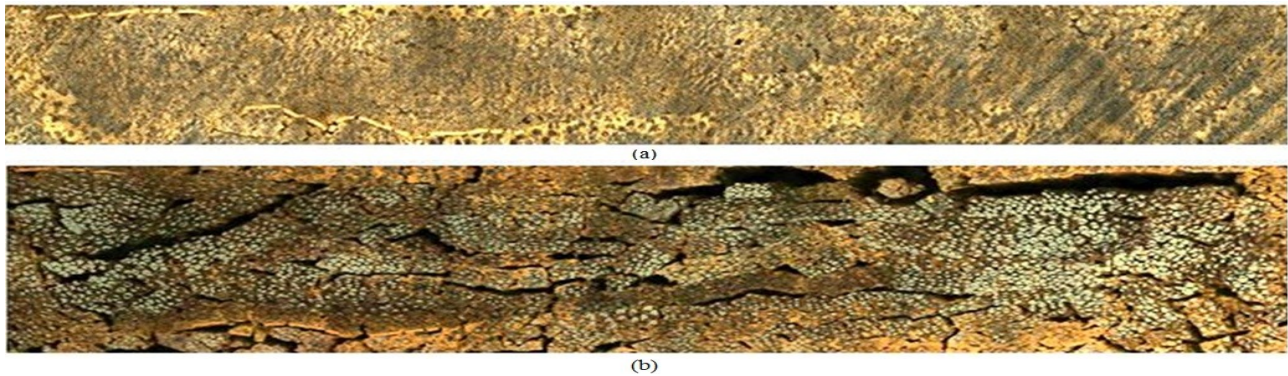


Figura. 5 Sección transversal sin bordes de la muestra antes del test (a) y (b) después del test

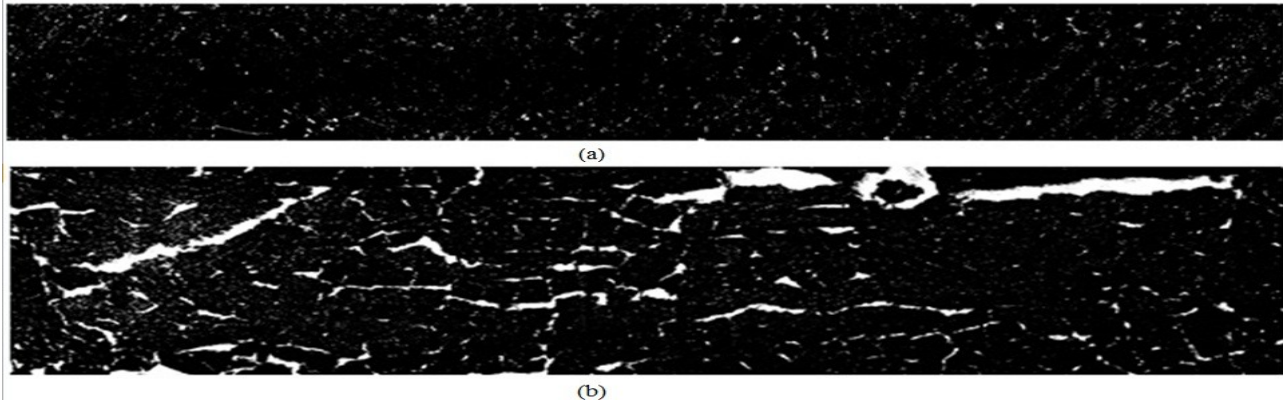


Figura. 6 Procesamiento digital: segmentación de la sección modificada de la sección transversal antes del test (a) y (b) después del test

Cálculos y resultados

El porcentaje inicial de vacíos, $\%V_0$, fue calculado utilizando la relación Ecuación 1, donde A_0 es el área inicial de vacíos y A_{Ti} es el área total inicial de la sección transversal. El porcentaje de vacíos después del ensayo de delaminación fue calculado a partir de la relación Ecuación. 2, $\%V_f$, donde A_f es el área final de vacíos después del ensayo y A_{Tf} es el área total de la sección transversal después del ensayo de delaminación

$$\%V_0 = \frac{A_0}{A_{Ti}} \times 100. \quad (1)$$

$$\%V_f = \frac{A_f}{A_{Tf}} \times 100. \quad (2)$$

Para medir las áreas el siguiente proceso fue realizado: captura de la secuencia de imágenes de la sección transversal de la muestra (Fig. 3), reconstrucción digital de la sección transversal de la muestra (Fig. 4), recorte digital de lados no regulares de la muestra para obtener una sección transversal modificada de forma rectangular (Fig. 5), segmentación de la muestra entre vacíos y área neta (Fig. 6), medida del área de vacíos y el área total modificada de la sección transversal de la muestra. Para el procesamiento digital fue usado el software Image Pro plus.

El resultado de porcentaje de delaminación, $\%Del$, fue calculado usando la ecuación Eq. 3.

$$\%Del = \%V_f - \%V_0 \quad (3)$$

En la Tabla 1, Tabla 2 y Tabla 3 se muestran los resultados para cada una de las formulaciones de adhesivos y por tipo de fibra utilizado. En la Tabla 4 se muestra el resumen por tipo de fibra utilizado.

Tabla 5. Resultados experimentales del porcentaje de delaminación con la resina 1 (R1).

% DELAMINACION	VARILLON	SOBREBASA	BASA	MEZCLA
MAXIMO	28.69	19.45	12.04	14.65
MINIMO	10.84	5.20	1.89	3.30
PROMEDIO	16.98	9.96	5.96	8.64
DESVIACION ESTANDAR	0.08	0.04	0.02	0.03

Tabla 2. Resultados experimentales del porcentaje de delaminación con la resina 2 (R2).

% DELAMINACION	VARILLON	SOBREBASA	BASA	MEZCLA
MAXIMO	12.74	11.22	13.12	14.65
MINIMO	3.07	3.31	3.41	3.30
PROMEDIO	8.07	8.30	6.16	8.64
DESVIACION ESTANDAR	0.03	0.02	0.03	0.03

Tabla 3. Resultados experimentales del porcentaje de delaminación con la resina 3 (R3).

% DELAMINACION	VARILLON	SOBREBASA	BASA	MEZCLA
MAXIMO	18.14	14.35	12.67	13.74
MINIMO	4.24	4.77	2.80	1.25
PROMEDIO	9.32	8.89	7.04	5.49
DESVIACION ESTANDAR	0.03	0.02	0.03	0.03

Tabla 4. Resultados experimentales del porcentaje de delaminación Promedio.

% DELAMINACION	VARILLON	SOBREBASA	BASA	MEZCLA
PROMEDIO	11.46	9.05	6.39	7.59

Conclusiones

La técnica de procesamiento de imágenes puede ser usada para determinar los porcentajes de delaminación para materiales compuestos que tienen líneas aleatorias de pegue y vacíos dentro del material

Según los resultados obtenidos, es recomendable fabricar el bambú guadua compactado con la mezcla de fibras obtenidas de todo el culmo y la tercera formulación de adhesivo.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación – Colciencias, al Profesor Jorge Lozano y a Induguadua S.A.

Referencias bibliográficas

- Eugene Hecht, OPTICS, 4 editions, Addison Wesley, 2002. p. 611-617.
- Fritz Schweingruber; Annet Borner; E. D. schulze, Atlas of stem, anatomy in herb, shrubs and trees, Volume 1, Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2011.
- GONZALEZ Rafael; WOOD, Richard; EDDINS, Steven, Digital Image Processing Using MATLAB, upper saddle river, NJ, Pearson /prentice hall, 2004.
- HECKBERT, P.S. Graphics Gems IV, United States of America, Academic Press Inc., 1994, p. 474-486.
- American Section of the International Association for Testing Materials,” Standard Test Method for Determining Resistance to Delamination of Adhesive Bonds in Overlay-Wood Core Laminates Exposed to Heat and Water”, 2011.
- BROWN, Matthew AND LOWE David G, Automatic Panoramic Image Stitching using Invariant Features, Department of Computer Science, University of British Columbia, Vancouver, Canada, 2007.
- LIU Shangchen & ZHANG, Dakun, Panoramic Images Automatically Stitching Algorithm Introduction, En: computer and information science, 2008, Vol. 1 N°4.
- JING, Zhang; CHANG-SHUN Wang AND WU-LING, Liao, An Image Mosaics Algorithm based on Improved Phase Correlation, En: Journal of Information and Communication Technology, 2010, Vol. 3 N° 2, p. 66-69.
- American Section of the International Association for Testing Materials,” Standard specification or Adhesives for Structural Laminated Wood Products for Use Under Exterior (Wet Use) Exposure Conditions”, 2000.

SILVICULTURA E INVENTARIOS DE PLANTACIONES Y BOSQUES NATURALES DE BAMBÚ

Juan Carlos Camargo García^a, Ángela María Arango Arango^b

^a Profesor Universidad Tecnológica de Pereira, La Julita, Pereira, email: jupipe@utp.edu.co

^b Investigadora, Universidad Tecnológica de Pereira, La Julita, Pereira, email: amarango@utp.edu.co

Palabras clave: Crecimiento, productividad, calidad, servicios ecosistémicos

Resumen

En el mundo existen cerca de 1000 de especies de bambú, la mayor parte de ellas crecen en condiciones naturales y algunas debido a su importancia económica también han sido plantadas. El manejo de los bosques naturales de bambú y las plantaciones, depende del conocimiento de las características de cada especie y por lo tanto la información que se colecte sobre las mismas a través de inventarios, debe procurar la obtención de información precisa para la toma de decisiones. La aplicación de prácticas de manejo silvicultural de forma adecuada, dependerán por lo tanto de la forma como el crecimiento, la productividad y la calidad de los productos de bosques y plantaciones pueden ser descritos en función del propósito del manejo, comercial o para la generación de beneficios ambientales.

Abstract

About 1000 species of bamboo have identified around the world. Most of them growing under natural conditions (forest) and others because of their commercial value, cultivated. For managing bamboo forest or bamboo plantations a proper knowledge on the specific features (growth, productivity and quality) of bamboo should be considered. Therefore, making adequate decisions depend on precise information gathered during inventories. A proper silvicultural management of bamboo forest or bamboo plantations ought be focused on obtaining a better growth, high yield and quality of the products according to the aim, whether commercial or conservation, but always supported on precise and accurate information.

Introducción

Las cerca de 1450 especies de bambú que se han registrado, se distribuyen desde el trópico hasta las zonas templadas. Solamente alrededor de 50 especies han sido cultivadas (Hunter, 2003). Estas especies de bambú, durante los últimos están empezando a ser consideradas como un sustituto de la madera y a pesar de que su comercialización crece lentamente, su potencial para erradicar la pobreza, proveer alternativas económicas y beneficios ambientales es muy importante (FAO, 2005).

De acuerdo con Lobovikov *et al.*, (2007), en el mundo hay cerca de 36.777.000 ha cubiertas por bambú, de las cuales 64% están en Asia y 28% en Latinoamérica. Estas cifras provienen en su

mayoría de reportes de los países que no están soportados en inventarios verdaderos. Razón por la cual, no se podría considerar la verdadera cobertura, teniendo en cuenta también que no todos los países facilitaron esta información.

En Colombia, para la zona cafetera (Norte del Valle, Caldas, Quindío y Risaralda) Kleinn y Morales (2006), mediante un inventario reportaron 28.000 ha de bosques dominados por la especie *Guadua angustifolia*, para la misma especie CARDER (2000), reportó 51.000 ha para el país, pero soportado en reportes de las Corporaciones Autónomas Regionales y no de inventarios. La información se ha generado para esta especie debido a su importancia económica, no obstante de las 95 especies de bambú existentes en el país (Londoño, 1990), no se conoce el estado actual. Aunque en general se conoce el patrón de crecimiento (pe. monopodial, simpodial) de las especies de bambú (Judziewicz *et al.*, 1999), cada especie tiene características particulares que deben ser consideradas cuando se pretende coleccionar información sobre las mismas. En este sentido, técnicas de mensura utilizadas en inventarios forestales pueden ser empleadas con los respectivos ajustes para generar información adecuada del bambú (Camargo, 2006).

De otro lado, las decisiones sobre el manejo silvicultural, van a depender de la especie, pero también de si trata de una plantación o bosque natural con bambú (Camargo *et al.*, 2010), en este sentido tanto las variables que se evalúan, como las practicas difieren y por lo tanto, no pueden ser generalizadas. La misma condición, se presenta cuando se realizan evaluaciones conducentes a generar información que describa beneficios ambientales del bambú, como la fijación de carbono, donde las variables, así como los moldeos utilizados deben ser ajustados para bosques maduros o plantaciones.

En este trabajo, se pretende resaltar algunos aspectos relevantes sobre los inventarios de bambú, su manejo silvicultural y las variables que deberían ser usadas cuando se busca la cuantificación de servicios con la fijación de carbono.




Los inventarios de bambú

La mayor parte de la información sobre coberturas de bambú se ha generado mediante informes de países que no implican realmente un inventario (Lobovikov *et al.*, 2007). De la misma manera, se han centrado en aquellas especies que tienen mayor importancia comercial en cada país (pe. Klein & Morales, 2006), pero no del total de las especies. Por esta razón, no existe certeza de la verdadera extensión de bambú que podría existir en el mundo.

De otro lado, debido a su patrón de crecimiento y alto grado de fragmentación, el uso de sensores remotos para su inventario resulta limitado. Si a esto se le suma, que en condiciones tropicales la nubosidad es abundante, existen realmente limitaciones para realizar el monitoreo. La resolución de imágenes de bajo costo, no está acorde con el tamaño usual de los fragmentos de bambú. Por ejemplo el uso de imágenes Landsat con 30 m de resolución, es limitado cuando los fragmentos en su mayoría no superan una ha. Camargo y Cardona (2005), en la zona cafetera de Colombia, utilizando imágenes Quick Bird (52 cm de resolución y alto costo), identificaron que cerca del 75% de los fragmentos eran menores de 5 ha y con forma alargada cuyo ancho promedio no superaba en ocasiones los 20 m. Este ejercicio no habría sido factible usando imágenes de mayor resolución.

En la tabla 1, se presentan algunos ejemplos tomados de Camargo y Cardona (2005), donde fue necesario realizar una clasificación de los fragmentos de acuerdo a la dominancia del bambú con respecto al bosque, que muestra la necesidad de hacer ajustes de acuerdo a las características de la especie y a la forma como aparece asociado a otras coberturas.

Tabla 1. Ejemplos de fragmentos de bosques con *Guadua angustifolia*, en la zona cafetera de Colombia

<p>Consociación Guadua-Bosque (CGB): Parches o fragmentos de bosque que son dominados en más de 75% de la cobertura por la especie <i>G. angustifolia</i>.</p>	
<p>Consociación Bosque-Guadua (CBG): Parches o fragmentos de bosque que son dominados en más de un 75% por especies de bosques naturales diferentes a la <i>G. angustifolia</i>.</p>	
<p>Asociación Guadua-Bosque (AGB): Parches o fragmentos de bosque que no muestran dominancia de la <i>G. angustifolia</i> o de especies de bosques naturales.</p>	

Fuente: Adaptado de Camargo y Cardona 2005.

De otro lado, aquellas especies cuyo patrón de crecimiento es en macollas, con rizomas cortos y paquimorfos (pe. *Guadua amplexiolia*), usualmente se entremezclan con otro tipo de vegetación porque las macollas están separadas por varios metros. Esto hace que difícilmente, se pueda delimitar un parche puro de bambú. Esta dificultad sumada a lo que representa el bambú con respecto a la cobertura forestal de cada país, hace que en la mayoría de los casos este recurso no sea considerado para iniciativas relacionadas con la ordenación forestal por ejemplo a nivel mundial Lobovikov, *et al.* (2007), reporta que el porcentaje de cobertura de bambú con respecto al nivel global es del 3,2 %

Aunque se ha desarrollado una industria alrededor del bambú, el uso comercial requiere de mejor conocimiento en términos de su crecimiento, productividad y calidad. Estos factores, pueden ser expresados a través de distintas variables y las ciencias forestales proveen las herramientas necesarias para generar información adecuada a través de la mensura e inventarios (Akça, 2000). No obstante, es necesario ajustar los métodos, las variables e incluso algunos modelos, a las características de las especies de bambú (Camargo, 2006).

En este sentido, se han adaptado esquemas para un apropiado muestreo, definiendo criterios para el tamaño y forma de las parcelas (Rijal, 2006; Schumacher, 2006) y la forma y el tipo de variables que deberían medirse durante un inventario, considerando su patrón de crecimiento (Camargo, 2006). De otro lado, es necesario el desarrollo de modelos específicos que describan el crecimiento y la calidad de los productos y plantaciones de bosques y plantaciones de bambú (Camargo & Kleinn, 2010; Camargo, 2014) y que consideren las ventajas y limitaciones que se presentan asociados a la dinámica y crecimiento que se presenta (Camargo *et al.*, 2011).

Silvicultura de plantaciones y bosque naturales de bambú

Debido a los procesos que se deben seguir para el establecimiento y manejo de una plantación, las actividades de manejo silvicultural difieren de aquellas realizadas para bosques naturales de bambú bajo aprovechamiento. En este sentido, decisiones sobre espaciamiento, podas y fertilización requieren la mayor atención. Así mismo, la dinámica resulta totalmente distinta. Una plantación tiene gran cantidad de culmos en el inicio luego de los primeros cuatro años tiende a estabilizarse en el número que realmente tendrá cuando llegue a su estado adulto (Figura 1). Esta condición tiene relación también con las dimensiones de los culmos, que nos solo debido a la edad de la planta son más pequeños, sino la congestión que se presenta en el inicio (Camargo *et al.* 2010). Por lo tanto las decisiones sobre espaciamiento, podas y fertilización, deben considerar esta dinámica con el propósito de retrasar por ejemplo la congestión que se genera más pronto cuando el espaciamiento es menor, ya sea a través de distancias de siembra mayores o de podas y así garantizar un mayor espacio para crecer que se traduciría seguramente en mayores dimensiones (Camargo, 2006), que desde el punto de vista comercial es favorable.

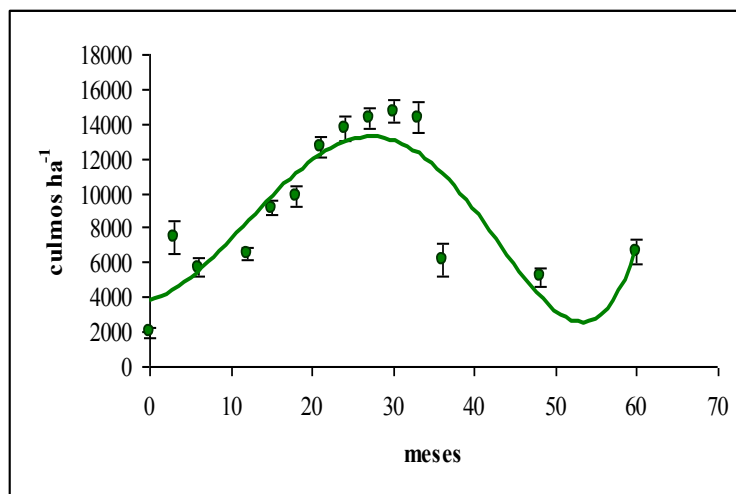


Figura 1. Promedio de culmos totales por ha en una plantación de *Guadua angustifolia* durante los primeros cinco años. Líneas arriba y debajo de la media representan la desviación estándar

En bosques naturales de bambú las plantas ya han alcanzado su madurez y por lo tanto su crecimiento máximo dadas las condiciones de sitio. Razón por la cual el manejo se debe enfocar de manera distinta, tratando de garantizar en este caso la posibilidad de obtener culmos comerciales, sin poner en riesgo la sostenibilidad del guadual. En ese sentido, la densidad total de culmos vivos remanente luego de la cosecha resulta uno de los criterios más importantes a considerar.

La razón es que rodales con menos de 3000 culmos por ha, podrían ser altamente susceptibles a ser afectados por volcamientos (Camargo *et al.*, 2008). De la misma manera, su productividad podría verse disminuida seriamente si los regímenes de cosecha resultan afectando la población total por debajo de los límites mencionados (Camargo, 2006), lo que podría en riesgo la sostenibilidad del manejo.

De otro lado, la definición de la madurez, es tal vez la clave de la obtención de materia prima de adecuada calidad. Para *Guadua angustifolia* por ejemplo, los culmos de mejor calidad para aplicaciones estructurales se encuentran en promedio luego de cuatro años de haber emergido (Rodríguez & Camargo 2010), razón por la cual es necesario tomar las medidas necesarias para hacer una selección adecuada de culmos con madurez óptima, obviamente dependiendo del propósito o producto final

Servicio ecosistémico de fijación de carbono

Durante los últimos años se han hecho grandes esfuerzos por demostrar el potencial que tiene el bambú para la captura de carbono (Yiping *et al.*, 2010). Este es un esfuerzo muy relevante, pero es importante no generar grandes expectativas, porque a pesar del potencial, es necesario seguir un proceso que incluye la adecuada toma de información, la selección de un esquema o estándar y la gestión de los posibles beneficios económicos hacia los propietarios.

La información colectada debe incluir métodos de inventario y mensura adecuados para no subestimar o sobre estimar (que sería más complejo) el contenido de carbono. En este sentido, aspectos como la madurez de los culmos, las diferentes dimensiones que se pueden presentar, el patrón de crecimiento y el hecho de que los culmos tienen ciclos de vida relativamente cortos (alrededor de 10 años en bosque maduros), son fundamentales para generar estimaciones precisas (Camargo *et al.*, 2010).

De otro lado, esquemas como CDM (Clean Development Mechanism) o VSC (Verification Carbón Standard) permiten la inclusión del bambú, con los respectivos ajustes, pero estos solo son viables para plantaciones en sitios degradados y deforestados. Actualmente la estrategia REDD+ aplicaría para los bosques naturales de bambú, sin embargo en Colombia estos bosques no han sido considerados como un ecosistema elegible debido a sus características particulares y su extensión, comparada con la de bosques naturales (Arango & Camargo, 2010). Por lo tanto, es importante buscar mecanismos de gestión que permitan que estos bosques sean considerados dentro de iniciativas que permitan la generación de incentivos para los productores que han garantizado su existencia hasta el presente.

Conclusiones

Definir la forma apropiada de inventariar las especies de bambú, garantiza la disponibilidad de información para la toma de decisiones de manejo. Esta condición implica ajustes que pueden requerir métodos y modelos específicos para cada especie. De la misma manera, el manejo silvicultural debe ser ajustado, tanto a las características de la especie y sus requerimientos, y al hecho de hacerlo en plantaciones o bosques naturales, donde se debe enfatizar en aspectos distintos de acuerdo al propósito u objeto final. De otro lado, servicios ecosistémicos como la fijación de carbono que son proveídos por plantaciones y bosques naturales de bambú, requieren ser cuantificados utilizando los métodos apropiados de inventario para lograr una estimación precisa. Sin embargo, es necesario enfatizar en la gestión de beneficios para aquellos propietarios

y productores que garantizan la permanencia de plantaciones y bosques de bambú, teniendo en cuenta que los esquemas vigentes, favorecen las iniciativas con plantaciones y bosques dominados por árboles, que son notablemente más extensas y por lo tanto han recibido mayor atención desde las diferentes instancias donde se toman decisiones en este sentido.

Agradecimientos

Este trabajo se realizó gracias a los aportes del proyecto “Innovación tecnológica para la optimización de procesos y la estandarización de productos en empresas rurales con base en la guadua: Una contribución para el fortalecimiento de la competitividad de la cadena productiva de la Guadua en el Eje Cafetero de Colombia financiado por Colciencias, la empresa Yarima Guadua E.U y la Universidad Tecnológica de Pereira.

Referencias bibliográficas

- Akça, A. 2000. Forest Inventory. Insitute of Forest Management and Yield Science. Universty of Göttingen, Germany. 191p.
- Arango, A.M., Camargo, J.C.2010. Bosques de guadua del Eje Cafetero de Colombia: Oportunidades para su inclusión en el mercado voluntario de carbono y en el Programa REDD+. Revista Recursos Naturales y Ambiente N°61. P 71-79.
- Assessment 2005. NON-WOOD FOREST PRODUCTS. 18. 73 p.
- Camargo, J.C. 2006. Growth and productivity of the bamboo species *Guadua angustifolia* Kunth in the Coffee Region of Colombia. PhD. Tesis. Göttingen, Universität. Cuvillier,Verlag, Göttingen, Deutschland. 205p.
- Camargo, J.C. 2014. Defining growth and quality of guadua bamboo culms: a case study of guadua bamboo forests, Colombia. Journal of Tropical Forest Science 26(2): 218–224.
- Camargo, J.C., Cardona, G. 2005. Análisis de fragmentos de bosque y guaduales. Enfoques silvopastoriles integrados para el manejo de ecosistemas. CIPAV-CATIE-BANCO MUNDIAL-GEF-LEAD. Unpublished project report. Pereira, Colombia. 38p.
- CARDER, 2000: Perspectivas regionales del cultivo de la guadua. Memorias Seminario la Guadua como Alternativa Económica. Pereira CARDER, Gobernación de Risaralda, Comité de Cafeteros.
- Camargo, J.C., García, J.H., Morales, T. 2008. Bases para la planificación y manejo silvicultural de bosques de Guadua: Una aplicación nivel de finca en la zona cafetera de Colombia. Universidad Tecnológica de Pereira, Grupo gestión de Agroecosistemas Tropicales Andinos. POSTERGRAPH, Pereira, 86p.
- Camargo, J.C., Arango, A.M., Rodríguez, J.A. 2010. Crecimiento y fijación de carbono en una plantación de guadua en la zona cafetera de Colombia. Revista Recursos Naturales Y ambiente N°61. P 80-88.
- Camargo, J.C., Kleinn, C. 2010. Length curves and volume functions for *Guadua angustifolia* Kunth) for the coffee region of Colombia. European Journal of Forest Research. 129 (6): 1231-1222.
- FAO (2005) World Bamboo Resources – a thematic study prepared in the framework of the Global Forest .Resources Assessment 2005. FAO.

- Hunter, I.R. (2003) Bamboo resources, uses and trade: the future?. Journal of Bamboo and Rattan, Vol. 2 (4) p. 319.
- Judziewicz, E.J., Clark, L.G., Londoño, X., Stern, M. 1999: American bamboos. Smithsonian Institution press. Washington. 392p.
- Kleinn, C., Morales, D. 2006. An inventory of *Guadua (Guadua angustifolia)* bamboo in the Coffee Region of Colombia. European Journal of Forest Research 125 (4): 361-368.
- Lobovikov, M., Paudel, S., Piazza, M., Ren, H., Wu, J. 2007. World bamboo
- Londoño, X. 1990. Aspectos sobre la distribución y ecología de los bambúes de Colombia (Poaceae: Bambusoideae). Caldasia 16 (77): 139-153.
- Resources. A thematic study prepared in the framework of the Global Forest Resources
- Rijal, B. 2006. Methodological Assessment of Sample Based Bamboo Management Inventory in Colombia. Thesis produced to fulfill a partial requirement of M. Sc. Forestry. Goetingen, Germany. 79p.
- Rodríguez, J.A., Camargo, J.C. 2010 .Determinación en campo de la madurez de los culmos de *Guadua angustifolia* Kunth en el Eje Cafetero de Colombia. Revista Recursos Naturales y Ambiente N°61. P 95-103.
- Schumacher, N. 2006. Spatial distribution of the bamboo species *Guadua angustifolia* Kunth in the coffee region of Colombia. Thesis M. Sc. Forestry. Göttingen, University, Germany. 93p.
- Yiping, L; Yanxia, L; Buckingham, K; Henley, G; Guomo, Z. 2010. Bamboo and climate change mitigation. Red Internacional del Bambú y el Ratán (INBAR). Technical Report No. 32.

INVESTIGACIÓN SOBRE ARQUITECTURA SUSTENTABLE

Dr. Agustín Hernández Hernández. *Investigador Titular de la Facultad de Arquitectura de la UNAM., ahh@unam.mx*

Palabras clave

Bambú, Fatiga, Torquímetro, Geometría, Mecanismo.

Introducción

En esta segunda ponencia para el II Simposio Internacional de Guadua y Bambú, a celebrarse en el mes de agosto del presente año en la ciudad de Bogotá, Colombia, se presenta una primera etapa del proceso de investigación que actualmente se desarrolla en el Laboratorio de Estructuras del Centro de Investigaciones Urbano Arquitectónicas de la Facultad de Arquitectura, sobre el proyecto de investigación PAPIIT IG401014-3 denominado “Arquitectura sustentable con definición de patrones de comportamiento estructural en materiales y sistemas constructivos actuales”, autorizado y auspiciado por la DGAPA “Dirección General de Asuntos del Personal Académico” de la UNAM.

El planteamiento sobre la evolución del bambú en la construcción, resulta esperanzador por su buen desempeño mecánico para absorber las solicitaciones que suelen presentarse en las estructuras, propiedad que puede deducirse al interpretar los resultados sobre su comportamiento que experimenta a diversas pruebas físicas. Donde se deriva que de manera natural resiste esfuerzos básicos de compresión, tracción, cortante y flexión como un auténtico material estructural, así como lo constata la historia de su construcción, por lo que para empezar a investigar sus perspectivas de aplicación en la arquitectura sustentable se decidió iniciar con realizar pruebas mecánicas en función a las normas internacionales, en los laboratorios de la Facultad de Ingeniería, con el apoyo de la Dra. Magdalena Trujillo Barragán y así actualizar los factores de seguridad, figura 1.

El proyecto constituye una investigación pragmática que busca mejorar la experiencia establecida sobre la construcción con bambú, a partir del estudio de su desempeño estructural real, lo cual permite que de manera natural se revalore el potencial de sus propiedades mecánicas como instrumento de desarrollo capaz de convertirse en una alternativa viable en el diseño estructural actual en nuestro país. La manera de abordar la investigación es mediante series de mediciones sistemáticas que se analizarán de manera cualitativa y cuantitativa con resultados de teorías de cálculo analítico disponibles.

Es decir que al adicionarle tecnología el bambú, puede tener un futuro más promisorio, por lo que resulta razonable basar sus expectativas arquitectónicas en la analogía de la membrana formulada por Prandal en Alemania en 1915, como base para orientar de la evolución de la arquitectura con bambú. Donde las decisiones se toman en torno a la geometría para disminuir intensidad de esfuerzos y anular momentos flexionantes. Esta premisa es valiosa porque en la actualidad dicho material sigue siendo accesible, resistente, ligero y renovable. Argumentos que motivan a impulsar la aplicación inmediata de resultados en la edificación de más géneros de construcción.

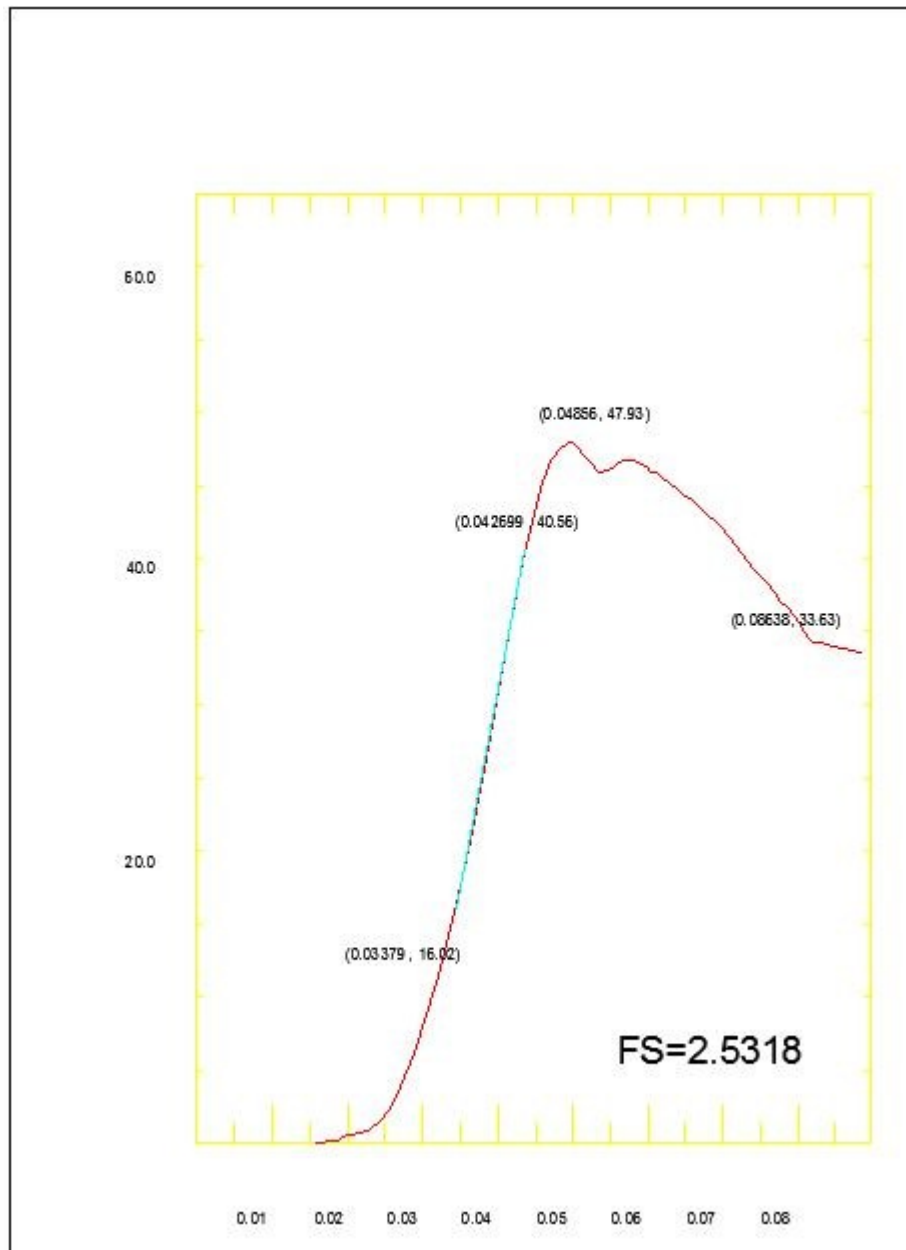


Figura1. Análisis de una serie de gráficas esfuerzo deformación.

Uniones

Al margen de cada sistema constructivo, es importante señalar que por su naturaleza, las construcciones de bambú, resultan ligeras y mucho de su eficacia depende de la técnica de sus uniones, por lo que vale la pena investigar sus mecanismos de falla, cómo pueden inhibirse y cómo se pueden crear mejores alternativas, capaces de contrarrestar el fenómeno de fatiga prematura capaz de disminuir la rigidez de los sistemas estructurales.

Sin embargo al analizar su estado actual se identifica el uso frecuente clavos, amarres, ensambles y pernos, siendo estos últimos los más recurrentes por lo que se decidió investigar dicho tema a partir de la realización de varias series de pruebas de aplastamiento utilizando un torquímetro. Asimismo se han realizado modelos de estructuras para ensayar sistemas resueltos a base de amarres, clavos, ensambles y pernos, figura 2.

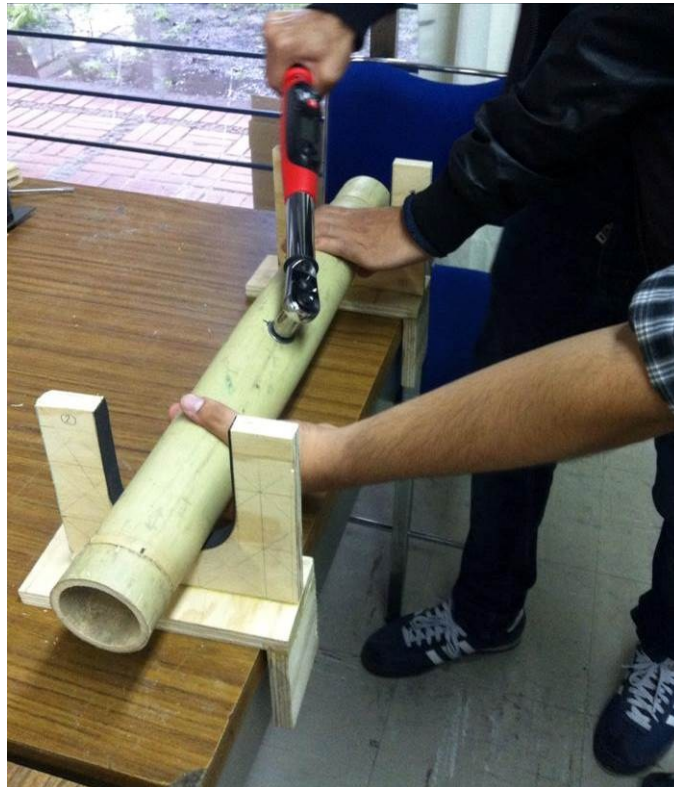


Figura 2. Prueba de aplastamiento utilizando un torquímetro electrónico.

Proceso de investigación

El proceso de investigación aplicada se basará en resultados cualitativos y cuantitativos de mediciones sistematizadas, realizadas a construcciones existentes de manera que permitan deducir condiciones de respuesta estructural para controlar el fenómeno de fatigas prematuras, capaz de disminuir la eficacia de los sistemas constructivos.

En ésta primera etapa iniciada durante el mes de enero del presente año, se han planteado elementos de control geométrico, que permitan deducir comportamientos estructurales través del tiempo, asimismo definir el equipo necesario para poder registrar las mediciones que permitan deducir el estado actual.

El proyecto de investigación hace énfasis en el aspecto estructural como esencia de la arquitectura, ya que se trata de un material con buena capacidad mecánica que no podemos despreciar porque lo convierte como una alternativa viable. Sin embargo en la actualidad aún se cuestiona su durabilidad así como su estabilidad, por lo que resulta razonable investigar los puntos neurálgicos capaces de alterar el desempeño de ciertos elementos a través del tiempo y en función a los resultados percibir el método idóneo para configurar soluciones prácticas.

Respecto a la hipótesis de investigar comportamientos estructurales tomando en cuenta los efectos del medio ambiente, durante ésta etapa la estrategia se basa en el método observacional que consiste en analizar primero las estructuras reales de manera analítica, después se realizan mediciones directas para registrar el estado actual y finalmente se hacen interpretaciones comprobables basadas en la geometría proyectual, la constructiva y la geometría real.

Esta metodología permitirá formular explicaciones oportunas, visualizando de manera integral el impacto de los fenómenos de esfuerzos y deformaciones, e incorporar de manera gradual el coeficiente de dilatación térmica y alteraciones volumétricas por el contenido de humedad, como parte de las hipótesis a seguir durante los tres años del proyecto.

La investigación específica sobre factores del medio ambiente que influyen en el comportamiento estructural, como se miden y la manera en que revelan sus mecanismos de falla sin perder la noción del conjunto, se hará con equipos portátiles como: Sensor de temperatura y humedad relativa, Sensor de humedad superficial con agujas de penetración de 2 cm, y un termómetro infrarrojo para medición de temperatura superficial, figuras 3a, 3b y 3c.

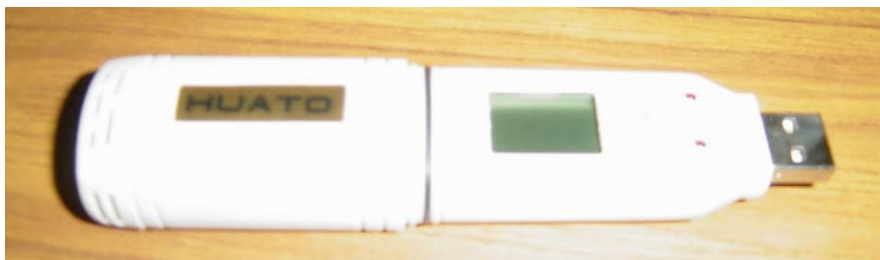


Figura 3a. Sensor de temperatura y humedad relativa.



Figura 3b. Sensor de humedad superficial con agujas de penetración de 2 cm.



Figura 3c. Termómetro infrarrojo para medición de temperatura superficial.

Conclusiones

Ante todas las entusiastas expectativas para resolver los problemas técnicos con creatividad, es importante tener presente que el factor de riesgo de primer orden del bambú, siguen siendo la exposición directa a la humedad y al sol, por lo que debemos dedicar creatividad para encontrar su protección desde que se concibe cada diseño, para que el material enfrente el factor tiempo con dignidad. Ante éste escenario resulta importante caracterizar el comportamiento del material a través del tiempo, con el fin de tener más elementos que permitan impulsar la innovación

tecnológica para aplicar el bambú de manera más tecnificada y explorar la construcción de estructuras resistentes por forma en más géneros de construcción.

Donde el quehacer que implica el proceso de búsqueda de la forma adecuada, significa el arte de diseñar estructuras arquitectónicas, desde ésta óptica el problema compositivo se convierte en un problema de geometría, más que resistencia del material, donde la técnica de diseño se caracteriza por reducir de manera creativa la intensidad de los esfuerzos.

Referencias bibliográficas

- Artículo 2002 “El Otate (*Bambusa vulgaris*) como material estructura”. Revista BOTÁCORO No 7. Facultad de Arquitectura. UNAM.
- Hernández Hernández, Agustín.1996 “Análisis del Otate (*Bambusa vulgaris*) como material estructural” Tesis de maestría. Facultad de Arquitectura UNAM.
- Peschard Eugenio. 1992. “Resistencia de materiales”, México, UNAM.
- San Martín Córdova I., Cejudo Collera M., (2012) “Teoría e Historia de la Arquitectura, pensar, hacer y conservar la arquitectura” Edit. Facultad de Arquitectura, UNAM. México.

LA VARIACIÓN GENÉTICA AL INTERIOR DE LOS GUADUALES, CAUSAS Y EFECTOS

Jaime Eduardo Muñoz^a, Ximena Londoño^b, Paula Andrea Rugeles^a, Carolina Becerra Muñoz^a, Daniela Raigoza^a

^a Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira

^b Sociedad Colombia del Bambú

Resumen

Se realizó análisis de variación genética en dos especies de bambúes americanos del género *Guadua*: *Guadua angustifolia* Kunth y *Guadua amplexifolia* Presl. Con marcadores moleculares RAMs y Microsatélites se encontró variabilidad en *G. angustifolia* registrando un valor de heterocigosidad esperada (H_e) de 0.28 y % de loci polimórfico fue de 77%. Para las plántulas de *G. amplexifolia*, utilizando marcadores RAMs, se halló variabilidad entre plantas con un valor de heterocigosidad esperada (H_e) de 0.22 y % de loci polimórfico de 61.4 %. La variación se atribuye a dos razones: a) la alogamia de las especies asociadas a la heterostilia y b) el hecho de que las semillas tienen altos porcentajes de germinación.

Palabras claves: Marcadores moleculares, diversidad genética, bambú, variación.

Abstract

The analysis of genetic variation in two species of American bamboo: *Guadua angustifolia* Kunth and *Guadua amplexifolia* Presl Using RAMs and Microsatellites molecular markers evaluated in both species seedlings, we found a $H_e = 0.22$ and 61.4% of polymorphic loci, showing a high genetic variability. This variation could be explained by their allogamy associated to heterostyly and seeds with a high germination percentage that could survive and reproduce in nature explaining the observed heterozygosity value.

Keywords: molecular markers, genetic diversity, bamboo, variation

Introducción

La destrucción de los bosques, el calentamiento global y la dependencia de la población mundial de pocas especies de plantas, han llevado a la pérdida de la diversidad genética. Esta situación ha alertado a la mayoría de los países y existe la necesidad de salvar esta diversidad natural. De allí que la exploración, recolección y manejo de la diversidad genética asuma gran importancia. El diagnóstico reciente sobre el estado de biodiversidad en Colombia indica que varios de los ecosistemas de montaña se encuentran seriamente amenazados con alto riesgo de pérdida de los recursos genéticos, razón por la cual se hace necesario caracterizar y evaluar los materiales colectados para su conservación y posterior utilización en programas de mejoramiento (Romero *et al.* 2008).

Ante el déficit de madera, los bambúes son una alternativa viable y un producto no forestal que puede contribuir a mejorar los niveles de vida de los pobladores del campo en países tropicales y subtropicales. El uso de *Guadua angustifolia* como sustituto de la madera, no solamente garantiza la permanencia de las selvas y la biodiversidad, sino que contribuye sustancialmente al mejoramiento del ecosistema y al desarrollo socio-económico, además, es la única especie de bambú en América que ha sido identificada con un gran potencial para fijar dióxido de carbono atmosférico (Riaño *et al.* 2002).

En Colombia, aproximadamente 100.000 personas derivan su sustento del aprovechamiento, manejo y comercialización de la guadua (Giraldo y Sabogal 1999). Entre 1993 y 2002 la guadua generó recursos que ascienden a 8.611 millones de pesos (Mejía 2004). El 100% de las reforestaciones con bambú se han hecho hasta el momento con la especie *G. angustifolia*, existen en el eje cafetero aproximadamente 5.000 ha cultivadas y 46.000 ha naturales. Sus características físico mecánicas la convierten en un recurso natural no maderable de grandes perspectivas para promover procesos de desarrollo sostenible, sin deteriorar el capital natural y pueden convertirse en un sustituto de la madera (Londoño 2006).

La mayoría de las colecciones de bambúes en América se encuentran en jardines botánicos y reúnen un gran número de especies introducidas del Asia, caracterizándose por la poca representatividad de las especies nativas. Sin embargo, la colección del Jardín Botánico Juan María Céspedes ubicado en Tuluá (Valle del Cauca), se ha especializado en el género *Guadua* y ha contribuido a asegurar la diversidad genética de este bambú nativo (Judziewicz *et al.* 1999). Esta colección establecida hace más de 20 años posee 45 entradas de *Guadua angustifolia* provenientes de 16 departamentos de Colombia. Además, reúne otras especies del género como *Guadua amplexifolia* Presl, *Guadua weberbaueri* Pilger y nuevas especies descritas como *Guadua uncinata* Londoño y Clark y *Guadua incana* Londoño (Londoño y Zurita, 2008).

Este trabajo tiene como objetivo analizar la variabilidad genética de *Guadua angustifolia* al interior de los guaduales y de la especie *Guadua amplexifolia* a partir de plántulas procedentes de semilla sexual. Mediante el uso de marcadores moleculares RAMs en las dos especies y de microsatelites en la especie *G. angustifolia*, se espera asociar esta variabilidad a la estructura de la flor y los posibles efectos de la variabilidad sobre la conservación de la especie.

Materiales y Métodos

Se evaluaron 45 muestras procedentes del Departamento de Cundinamarca y 20 muestras del Eje Cafetero de *Guadua angustifolia*, muestras que se encontraban en el banco de ADN del Laboratorio de Biología Molecular y 41 muestras de *Guadua amplexifolia* procedentes del Banco de Germoplasma de la Finca la Esmeralda en el departamento del Quindío.

Marcadores moleculares RAMs

Se evaluaron ocho cebadores RAMs (Cuadro 2) con las siguientes condiciones de amplificación: solución buffer 1X, MgCl₂ 2.5 mM, 0.2mM de cada dNTP, Taq Polimerasa 0.625 U, cebador 2 μM, BSA (Albumina de suero bovina) 0.4 mg/ml y ADN genómico 20 ng, en un volumen final de 25 ul.

Tabla 1. Cebadores RAMs.

Cebador	Secuencia	Temperatura de hibridación
CT	DBDCTCTCTCTCTCTCTC	55
CGA	DHBCGACGACGACGACGA	58
CA	DBDACACACACACACACA	50
AG	HBHAGAGAGAGAGAGAGAG	50
TG	HVHTGTGTGTGTGTGTGTGT	55
CCA	DDBCCACCACCACCA	55
GT	VHV GTG TGT GTG TG	58
ACA	BDB ACA ACA ACA ACA ACA	50

Las siguientes designaciones son usadas para los sitios degenerados: H (A ó T ó C); B (G ó T ó C); V (G ó A ó C) y D (G ó A ó T).

Las temperaturas de hibridación se establecieron de acuerdo al cebador utilizado (Cuadro 1). El programa de amplificación utilizado consistió en una desnaturalización inicial de 95 °C por 5 minutos, seguido de 37 ciclos de una desnaturalización de 95 °C por 30 segundos, una fase de hibridación a 50 – 58 °C por 45 segundos (dependiendo del cebador utilizado, Cuadro 2), y una extensión a 72 °C por dos minutos. Se realizó una extensión final de 72 °C por siete minutos. Los productos amplificados se visualizaron en geles de poliacrilamida al 7% (37:1 acrilamida – bisacrilamida) corridos a 160 voltios por una hora y teñidos con bromuro de etidio y sales de plata como se describe en protocolos estándar (Sambrook et al., 1989).

La información de los patrones de bandas obtenidos se registró en una matriz binaria de presencia (1) o ausencia (0). Para la selección de bandas polimórficas se consideró como locus polimórfico aquel en el cual la frecuencia del alelo más común fue menor al 95%. A partir de esta matriz y usando los programas SIMQUAL del paquete NTSYS- pc (Numerical Taxonomy System for Personal Computer) y el programa TFPGA (Tools for Population Genetic Analysis) (Miller, 1997) para los análisis estadísticos.

La similitud genética se estimó mediante el coeficiente de Dice Nei- Li (1978). El análisis de agrupamiento se realizó con el programa SAHN de NTSYS –pc (versión 2.02g, 1998) utilizando el método UPGMA, método gráfico de agrupamiento por parejas, que usa el promedio aritmético no ponderado. El dendrograma se construyó con el programa TREE de NTSYS –pc (versión 2.02g, 1998). Para estimar la diversidad genética se utilizaron los parámetros de heterocigosidad promedio esperada (H_e) y el porcentaje de loci polimórficos (P), los cuales se estimaron sobre todos los loci y el promedio de los mismos de acuerdo con la fórmula no sesgada de Nei (1973).

Resultados y Discusión

La mayoría de las plantas al interior de los guaduales proceden de reproducción vegetativa, pero la variabilidad intraguadual obtenida en 30 sitios del eje cafetero y en Cundinamarca indican que las poblaciones de los guaduales son heterogéneas genéticamente.

Los valores obtenidos de heterocigosidad esperada (H_e) para la población de *G. angustifolia* del eje cafetero y Cundinamarca fue de 0.28 y el porcentaje de loci polimórfico de 77%; para la especie *G. amplexifolia* los valores fueron H_e de 0.22 y un valor de 61.42% de loci polimórfico.

Los valores para la primera población de coeficiente de diferenciación genética (F_{st}) fue de 0.38, lo que indica que las poblaciones se diferenciaron de acuerdo a dos zonas geográficas, cuenca del Rio Magdalena (Cundinamarca) y cuenca del rio Cauca (Eje Cafetero) (Figura 1) (Torres, 2008; Rugeles *et al.*, 2013).

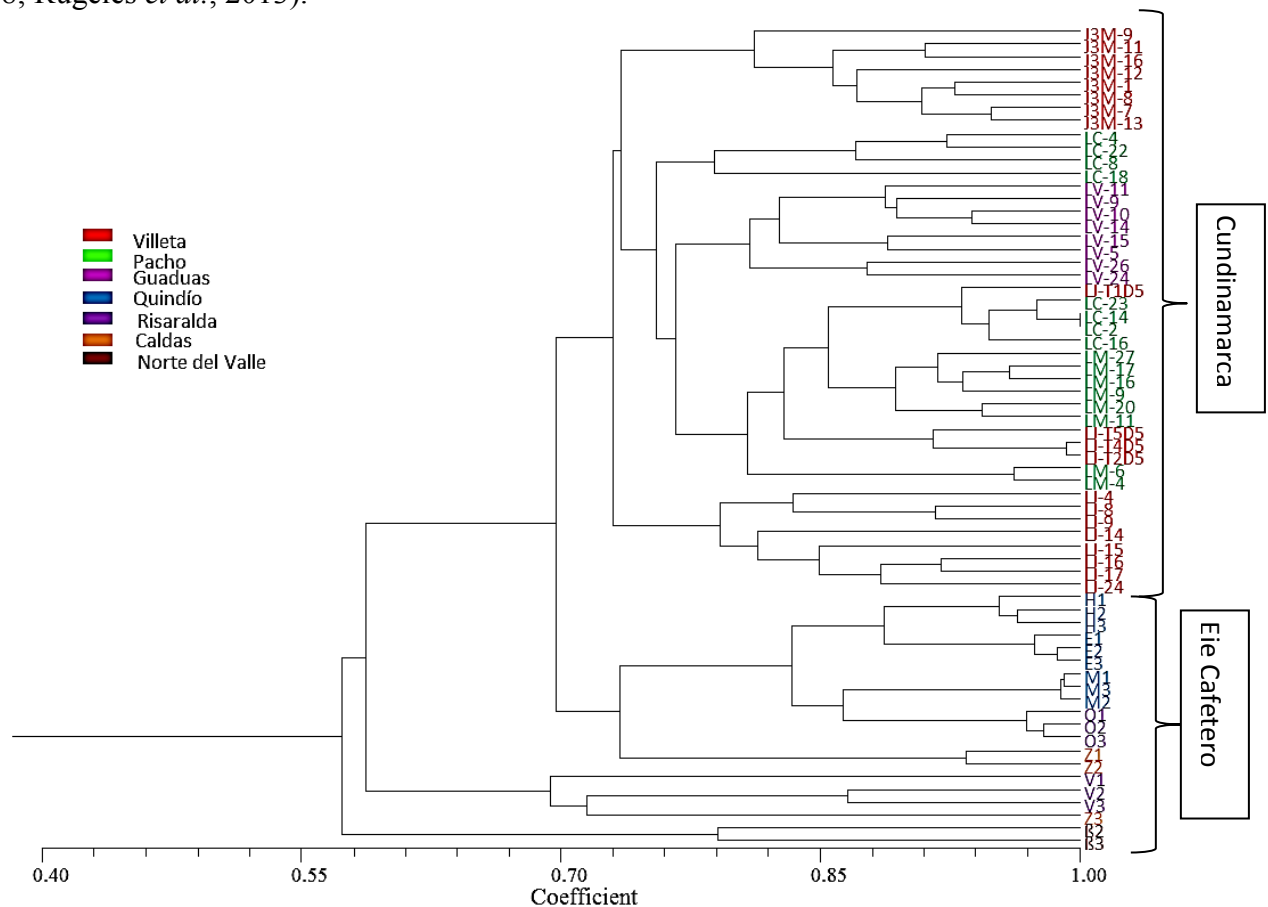


Figura 1. Dendrograma de la estructura genética de 64 accesiones de *G. angustifolia* basado en el coeficiente Nei – Li.

La especie *Guadua angustifolia* Kunth puede florecer dos veces al año (Londoño & Peterson, 1992), y se ha estimado una producción entre 96 y 344 semillas por culmo (Muñoz, 2011). La morfología de la pseudoespiguilla facilita la alogamia, ya que los tres (3) estigmas plumosos del gineceo están por encima del polen de los estambres los cuales cuelgan del filamento y no posibilitan la autofecundación (figura 2).

La mayor similitud genética entre plantas cercanas indica que hay mayor posibilidad que el polen no muy abundante pero de alta variabilidad fecunde los flósculos de pseudopespiquillas cercanas y viables en posición para ser fecundadas (Muñoz, 2011).

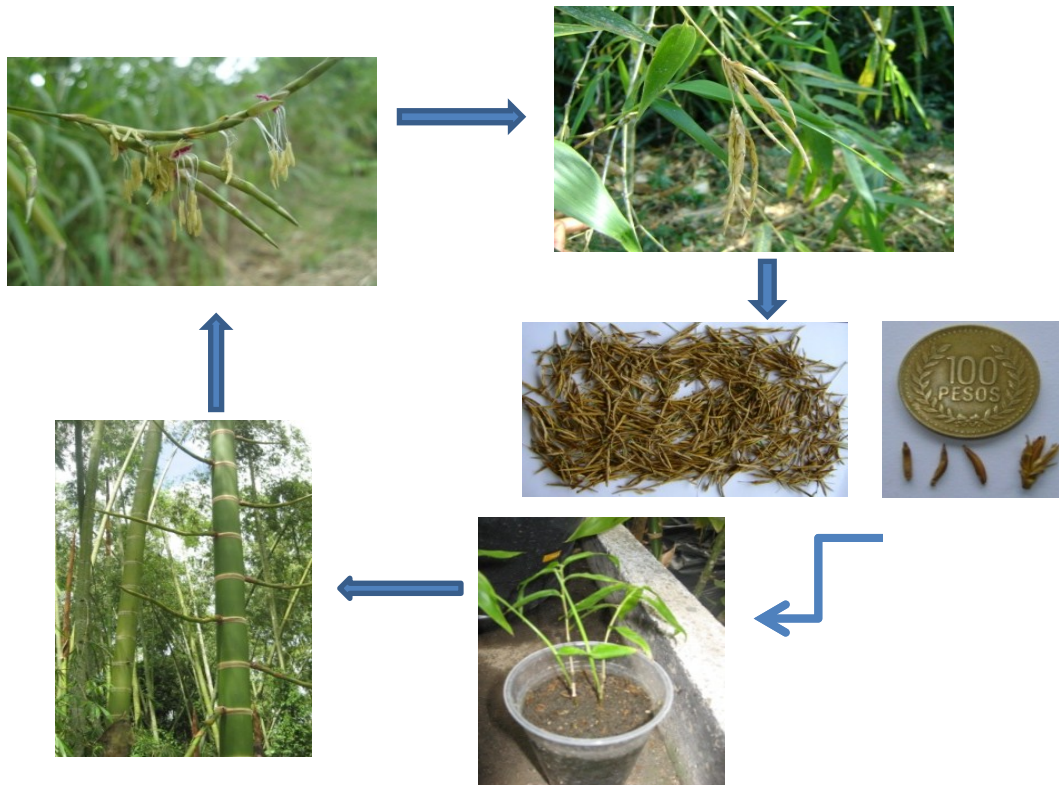


Figura 2. Dinámica de la reproducción sexual de *Guadua angustifolia* (Tomada de Muñoz 2011)

Los efectos que produce la variación genética intraguadual en rodales de *Guadua angustifolia* Kunth pueden ser importantes porque:

- Se evita la homogeneidad genética y se garantiza la estabilidad de los guaduales en el tiempo.
- Se incrementa la posibilidad de éxito biológico para tolerar patógenos, plagas, condiciones ambientales adversas (sequías, altas precipitaciones), o para adaptarse a diversas condiciones de suelo.
- Se pueden tener genotipos sobresalientes para construcción, industrialización y muebles y artesanías.

Para la especie *Guadua amplexifolia* no se pudo obtener el coeficiente de diferenciación genética (F_{st}) debido a que las muestras provienen de una misma planta, ubicada en el Jardín Botánico José María Céspedes de Tuluá (accesión 1006 JA) procedente de Turbaco, departamento Bolívar. Sin embargo, el dendrograma (figura 3) arroja que dentro de las muestras (plántulas) utilizadas

para este análisis hay variabilidad genética, dato que se corrobora con el valor de H_e de 0.22 y con el porcentaje de loci polimórfico de 61.42%.

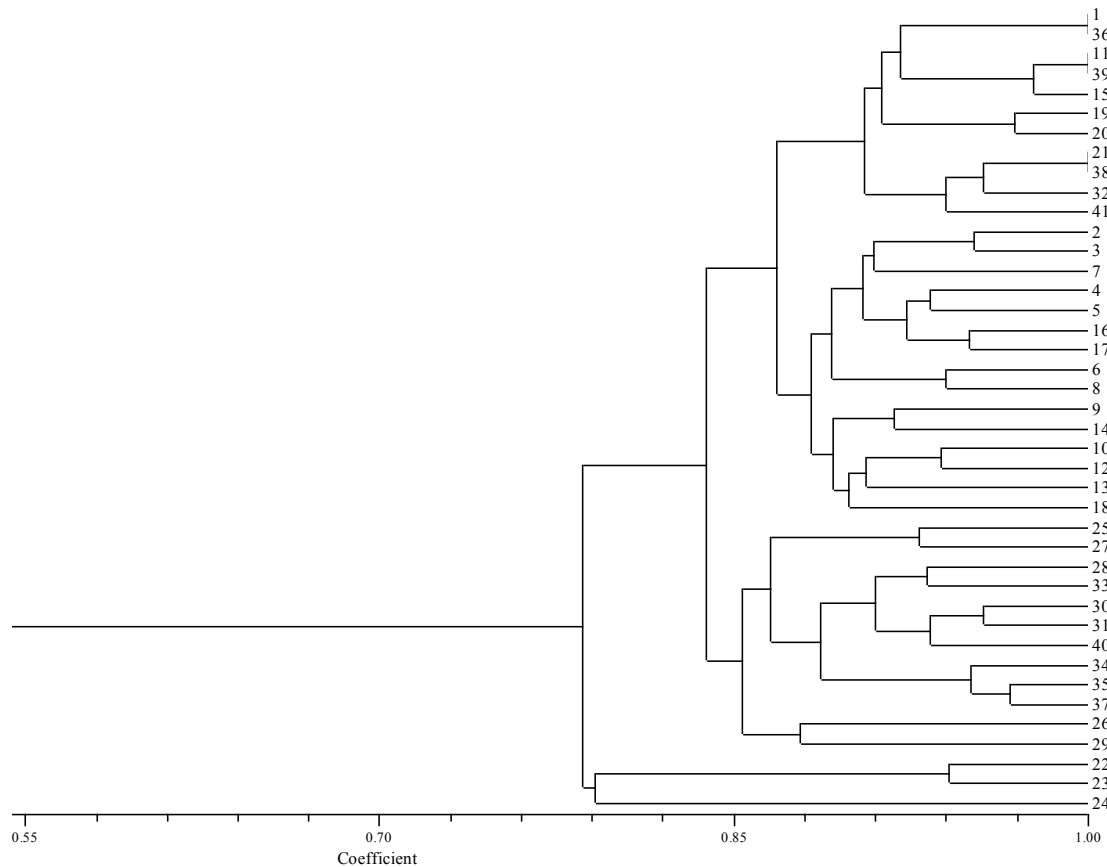


Figura 3. Dendrograma de la estructura genética de 40 accesiones incorporadas en el Banco de genética de la Universidad Nacional de Colombia, sede Palmira de *G. amplexifolia* basado en el coeficiente Nei – Li.

La pseudoespiguilla de *Guadua amplexifolia* tiene la misma morfología que la flor de *G. angustifolia*: tres (3) estigmas plumosos, estambres con filamentos elongados y colgantes, ubicados por debajo del estilo del gineceo, lo que facilita la alogamia y explica en parte la variación que se puede producir entre plántulas procedentes de semilla sexual.

Los resultados del estudio de variación genética de *G. angustifolia* y *G. amplexifolia* son importantes para entender las consecuencias de la floración y producción de semillas, especialmente en *Guadua amplexifolia* que tiene ciclo de floración gregaria.

Las “razones biológicas” de la floración por alogamia son la producción de nuevos genotipos, favorecer la heterocigosis y contribuir a la conservación de la especie y a los beneficios colaterales que se desprenden de ello.

Referencias bibliográficas

- Giraldo, E., Sabogal, A. 1999. Una alternativa sostenible: La Guadua. Una alternativa sostenible Corporación Autónoma Regional del Quindío-CRQ.
- Judziewicz, E., Lynn, C., Londoño, X., Stern, M. 1999. American Bamboos. Smithsonian. 392p. Institution Press, Washington.
- Khumlert, R., Sukthumrong, A., Boonkered, N. 2000. Clonal deletion of sweet bamboo (*Dendrocalamus asper*) from germinated seedlings. Proceedings of the bamboo 2000 International Symposium. 2 – 4 August 2000.
- Londoño, X., Clark, L. G. 2002. Three new taxa of *Guadua* (Poaceae: Bambusoideae) from South America. *Novon* 12: 64-76.
- Londoño, X. 2006. Estudio de caso: Cadena productiva nacional de la guadua *Guadua angustifolia* Kunth Poaceae: Bambusoideae. Tomo I 398-400 p. En Chaves, M.E. y Santamaría M. (eds.) 2006. Informe sobre el avance en el conocimiento y la información de la biodiversidad 1998-2004. Instituto de Investigaciones de recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá, DC. Colombia. 2 Tomos
- Londoño X., Zurita, E. 2008. Two New Species of *Guadua* (Bambusoideae: Guaduinae) from Colombia and Bolivia. *J. Bot. Res. Inst. Texas* 2 (1): 25-34.
- Londoño, X., P. Peterson. 1992. *Guadua chacoensis* (Poaceae: Bambusoideae), its taxonomic identity, morphology and relationships. *Novon* 2:41-47.
- Muñoz, J. E. 2011. Diversidad genética, estructura poblacional y selección de clones superiores de *Guadua angustifolia* Kunth en la eco-región cafetera de Colombia. Tesis para optar al título de Doctor en Ciencias Agrarias. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad Nacional de Colombia sede Palmira. pp. 151.
- Nei, M. 1973. Analysis of genetic diversity in subdivided populations. *Proc Nat Acad Sci USA* 70: 3321-3326.
- Riaño, N. M., Londoño, X., Lopez, Y., Gómez, J. H. 2002. Plant growth and biomass distribution on *Guadua angustifolia* Kunth in relation to ageing in the Valle del Cauca – Colombia. *Bamboo, Science & Culture. J. Amer. Bamboo Sc.* 16 (1): 43-51.
- Romero, M., Cabrera, E., Ortiz, N. 2008. Informe sobre el estado de la Biodiversidad en Colombia 2006-2007. Instituto de Investigación Alexander von Humboldt. Bogotá, D.C. Colombia. 186 p. Acceso electrónico:
- http://www.humboldt.org.co/download/Informe_Nacional_biodiversidad_I.pdf
- Rugeles, Paula A., Díaz A. Lucía Ana, Londoño Ximena, Muñoz f. Jaime E. 2013. DIVERSIDAD GENÉTICA DE *Guadua angustifolia* Kunth EN CUNDINAMARCA Y EJE CAFETERO. En Memorias VII Congreso Colombiano de Botánica. Ibagué 6 al 10 de agosto.
- Torres, M. K. 2008. Evaluación del polimorfismo de marcadores microsatélites en *Guadua angustifolia* (Poaceae: Bambusoideae) para la caracterización molecular de las accesiones del Banco de germoplasma de Bambusoideae del Jardín botánico Juan María Cespedes de Tuluá. Valle del Cauca. Trabajo de grado. Universidad del Valle. Pp 63.
- Sambrook J., Fritsch E. F, Maniatis T. 1989. *Molecular Cloning. A Laboratory Manual*. Second Edition. Cold Spring Harbor Laboratory Press.
- Zuluaga P., Caicedo A. M., Cardozo N., Muñoz F. J. E., CARABALI A. 2011. Control biológico de *Compsus sp.* En prensa.

PRESENTACIONES ORALES

ENRAIZAMIENTO *IN VITRO* DE *Guadua angustifolia* Kunth PROMOVIDO POR 2,4-DIACETILFLOROGLUCINOL (DAFG) DE ORIGEN BACTERIANO PRODUCIDO POR UNA CEPA DEL GÉNERO *Pseudomonas* ASOCIADA NATURALMENTE A GUADUALES DE CUNDINAMARCA, COLOMBIA.

Hernán Capador^a, Sandra Constantino^b, Lucía Ana Díaz-Ariza^b

^a Pontificia Universidad Javeriana. Carrera 7 No. 40-62. Bogotá, Colombia. hcapador@javeriana.edu.co

^b Pontificia Universidad Javeriana. Carrera 7 No. 40-62. Bogotá, Colombia.

Palabras clave: *Guadua*, cultivo *in vitro*, 2,4-Diacetilfloroglucinol, *Pseudomonas*, enraizamiento.

Resumen

Algunas rizobacterias tienen la capacidad de promover el crecimiento vegetal a través de mecanismos como la producción de floriglucinoles. Estos metabolitos se han descritos como promotores de enraizamiento durante el cultivo *in vitro* de diferentes especies vegetales incluido el bambú *Dendrocalamus* sp. En este trabajo se midió la producción de DAFG por *Pseudomonas* sp. 1068, aislada a partir de un guadual natural del Departamento de Cundinamarca, y su efecto en el enraizamiento *in vitro* de *G. angustifolia*. Para cuantificar el DAFG se realizó cromatografía líquida de alta eficiencia (HPLC) de los extractos crudos bacterianos y se midió la longitud total de raíces nuevas de *G. angustifolia* cultivada *in vitro* en medios suplementados con estos extractos. El DAFG del extracto crudo del cultivo bacteriano fue similar al de la bacteria control y tuvo un efecto positivo en el enraizamiento *in vitro* de guadua.

Abstract

Some rhizobacteria are capable of stimulating plant growth through the production of Phloroglucinoles that increasing the rooting during *in vitro* cloning of different plants such *Dendrocalamus* sp. The production of 2,4-Diacetylphloroglucinol by *Pseudomonas* sp. 1068 isolated from bamboo and its effect on the *in vitro* rooting of *G. angustifolia* was measured. To quantify the 2,4-Diacetylphloroglucinol, high proficiency liquid chromatography (HPLC) from the crude bacterial extracts was performed, and the total root length of *G. angustifolia* plantlets cultured *in vitro* on media supplemented with the extracts was measured. The bacterial strain produced $<5 \mu\text{l ml}^{-1}$ of 2,4-Diacetylphloroglucinol in its extract, and it had a positive effect on the *in vitro* rooting of *G. angustifolia*.

Introducción

El aprovechamiento de la guadua se ha planteado como una solución a problemas ambientales, energéticos, sociales y económicos en Colombia (Londoño 2011; Giraldo-Herrera et al 2007). Para esta especie es necesaria la implementación de un sistema que garantice el establecimiento exitoso de nuevas plantaciones (Jiménez et al 2006), por lo que la propagación *in vitro* surge como una herramienta ideal, pues se obtiene un mayor número de plantas homogéneas en un menor tiempo y se garantiza la procedencia y el genotipo (Jiménez et al 2006; Mudoí et al 2013; Singh et al 2013). En la propagación *in vitro* de los bambúes la baja tasa de enraizamiento y de brotación han sido parcialmente solucionadas usando sustancias de síntesis química (Jiménez et al 2006), que no siempre son efectivas y aumentan los costos en los procesos de propagación (IAEA 2004).

Varias cepas de *Pseudomonas fluorescens* promueven el crecimiento de las plantas mediante la síntesis de moléculas, que bien controlan patógenos o tienen un efecto directo sobre el crecimiento vegetal (Dodd et al 2010; Ramesh et al 2009; Höfte & Aliter 2010; Teixeira et al 2013; Brazelton et al 2008). En el proyecto “Selección y utilización de bioinsumos basados en microorganismos nativos para la producción más limpia de *Guadua angustifolia* Kunth” se aislaron cepas de pseudomonas fluorescentes que presuntivamente sintetizan floroglucinoles, entre ellas *Pseudomonas* sp. 1068, que posee el gen *phlD* involucrado en la biosíntesis de floroglucinoles e inhibe el crecimiento de hongos filamentosos (García-Prieto 2011). Achkar y colaboradores (2005) reportan la producción de 10 mg/l de floroglucinol y 35 mg/l de DAFG en caldo Yeast Maltose con la cepa *Pseudomonas fluorescens* ATCC BAA477.

Los floroglucinoles, derivados fenólicos, se han usado en bambúes como un suplemento hormonal *in vitro* para mejorar el enraizamiento y lograr una mejor aclimatación después del trasplante a condiciones *ex vitro* incluso a concentraciones bajas (1mg/l) (Chatuverdi et al 1993). De hecho, se ha observado que el DAFG y el floroglucinol pueden causar cambios en la fisiología y morfología radical de las plantas, incluyendo la estimulación del enraizamiento lateral en concentraciones de 2.1 a 10.5 mg/l del primero y de 1, 2,5 y 20 mg/l del segundo (Brazelton et al 2008, Chatuverdi et al., 1993, Sarkar y Naik 2000). Sin embargo, la aplicación de estos compuestos en conjunto con su disolvente, el etanol, puede causar oxidación de los tejidos vegetales (Capador, 2013).

Teniendo en cuenta que la aplicación de bacterias o sus productos metabólicos es una alternativa que permite reemplazar el uso de productos químicos comerciales en el cultivo de tejidos vegetales (Ayyadurai et al 2006; Russo et al 2012) optimizando los recursos económicos sin comprometer la calidad del material vegetal (IAEA, 2004) y considerando el potencial de los floroglucinoles de origen bacteriano para solucionar limitantes del cultivo *in vitro* de los bambúes, se planteó como objetivo del estudio evaluar la producción de floroglucinoles de una cepa fluorescente del género *Pseudomonas* en cultivo líquido y el efecto de su extracto crudo en el enraizamiento *in vitro* de chusquines de *Guadua angustifolia* Kunth.

Materiales y Métodos

El material vegetal usado provino de guaduales del eje cafetero colombiano y fue propagado en el laboratorio de Cultivo de Tejidos Vegetales del Grupo de Investigación en Agricultura Biológica de la Pontificia Universidad Javeriana, siguiendo la metodología propuesta por Jiménez y colaboradores (2006). Las cepas *Pseudomonas* 1068 (*phlD* +) y *Pseudomonas* 1088 (*phlD* -;

Control negativo) fueron aisladas de suelo de guaduales ubicados en el departamento de Cundinamarca, Colombia (García-Prieto 2011). La cepa *Pseudomonas fluorescens* BAA477 (ATCC; *phlD* +; Control positivo) fue aislada de superficie de raíz de algodón de Texas, USA (Duffy & Defago 1999).

La producción de floroglucinoles fue evaluada en caldo Yeast Maltose (YM) durante 22 horas a 30°C y 120 rpm (Achkar et al 2005) en erlenmeyers de 125 ml siendo 50 ml el volumen efectivo total. El extracto crudo se obtuvo centrifugando cada cultivo a 1200 rpm por 25 minutos y esterilizándolos con filtros de 0,22 µm. Alícuotas de cada extracto crudo se llevaron hasta pH 2.0 con HCl 1N (Ayyadurai et al 2006). La fase orgánica se extrajo con volúmenes iguales de acetato de etilo (Ayyadurai et al 2006; Ahmadzadeh & Therani 2009). La fase orgánica recuperada se evaporó al vacío y se resuspendió en 1 ml de etanol al 90%. Para la identificación del DAFG se inyectaron 20 µl del extracto orgánico resuspendido a un cromatógrafo Shimadzu Prominence. Las muestras se separaron con una columna C18 de fase reversa (Shimadzu Premier, 5µ, 150 x 4,6 mm). Inicialmente la fase móvil estuvo compuesta por acetonitrilo al 10% en agua tipo I (ambos acidificados con ácido acético al 0,01%) durante 2 minutos. Posteriormente se realizó un gradiente que en 16 minutos llevó la concentración de acetonitrilo de 10 a 100% para continuar con este solvente durante 2 minutos más. El pico correspondiente al DAFG fue detectado a 270 nm e identificado al ser comparado con el pico obtenido con el patrón comercial (2,4-diacetylphloroglucinol, USBiological, MA, USA). Para la cuantificación, se realizaron curvas de calibración usando 7 concentraciones (5, 10, 20, 50, 100, 150, 300 mg/l) de DAFG comercial. Se diseñó un experimento factorial con las tres cepas (1068, 1088, BAA477) a dos concentraciones del extracto crudo (5 y 10%) diluidas en medio MS líquido suplementado con sacarosa 30g/l, cada uno con 5 repeticiones. Las concentraciones de los extractos crudos fueron definidas basándose en los resultados reportados por Achkar y colaboradores (2005) sobre la producción de floroglucinoles por *P. fluorescens* BAA477 (10 mg/l para floroglucinol y 35 mg/l para DAFG). Fueron incluidos dos controles: uno con el medio de cultivo propuesto por Jiménez y colaboradores en el 2006 (MS con 30g/l de Sacarosa, 3mg/l de BAP y 2mg/l de PPM) y el segundo fue medio MS líquido + 30g/l de sacarosa. En estos medios fueron sembrados chusquines con 2 ó 3 tallos y con raíces podadas en tubos de ensayo de vidrio con tapas de papel aluminio. Después de 3 semanas se midió la longitud total de raíces nuevas.

Resultados

El DAFG fue identificado por HPLC a un tiempo de retención de 13.2 min. El análisis de los cultivos líquidos bacterianos bajo este método confirmó la producción de DAFG por las cepas 1068 y BAA477 en caldo YM a las 22 horas de cultivo, pero no por la cepa 1088. El patrón cromatográfico de la cepa 1068 fue similar al de la cepa control en cuyo extracto concentrado (5x) se cuantificaron 15 µl/ml de DAFG. La longitud de las raíces nuevas fue significativamente mayor en las plantas inoculadas con el extracto crudo de la cepa 1068 aplicado en una concentración del 10%, según la prueba de Dunnet, y fue diferente al control (MS+BAP+PPM), al utilizar la prueba de Dunnet (Tabla 1). Las dos concentraciones del extracto crudo de la cepa 1068 (*phlD* +) fueron los tratamientos que presentaron una mayor longitud de raíces nuevas, siendo más largas las raíces cuando el extracto se encontraba al 10% (Fig. 1), contrario al comportamiento de la longitud de las raíces nuevas bajo el efecto del extracto de la cepa BAA477 (*phlD* +) donde la longitud de la raíz fue mayor con 5% que con 10% (Fig 1a). La longitud de las

raíces fue menor que las demás cuando se expusieron al extracto crudo de la cepa 1088 (*phlD* -) sin importar la concentración (Figura 1).

Discusión de resultados

Varios autores documentan que la influencia de los medios de cultivo en la producción de DAFG por bacterias del género *Pseudomonas* es dependiente de la cepa, posiblemente por las diferencias entre los exudados radicales de las plantas hospederas de donde fueron aisladas (Duffy & Defago 1999).

Tabla 1. Longitud de raíces nuevas *in vitro* de *G. angustifolia* bajo distintas concentraciones del extracto crudo de tres cepas del género *Pseudomonas*. ^{a,b}: Subconjuntos homogéneos de Duncan con $\alpha=0,05$. *: Diferencia significativa contra el control MS+BAP+PPM con la prueba de Dunnet con $\alpha=0,1$.

Cepa	Concentración (%)	Longitud Raíces Nuevas (mm)
1068	10	31,88 ^{a,*}
	5	23,48 ^{a,b}
1088	10	2,3 ^b
	5	0,54 ^b
BAA477	10	2,92 ^b
	5	12,86 ^b
MS+BAP+PPM		10,22 ^b
MS		16,6 ^{a,b}

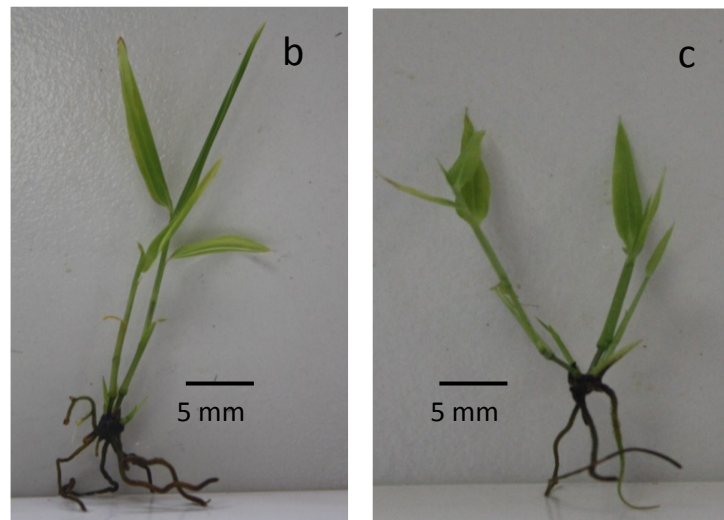
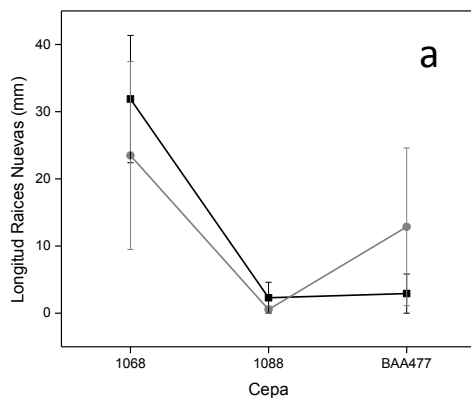


Figura 1. a) Longitud de raíces nuevas de *G. angustifolia* *in vitro* bajo el efecto de extractos crudos de tres cepas del género *Pseudomonas* a dos concentraciones: 5% (●) y 10% (■). b) Planta de *G. angustifolia* cultivada *in vitro* bajo el efecto del extracto crudo de la cepa 1068 al

10%. c) Planta de *G. angustifolia* cultivada *in vitro* bajo el efecto del extracto crudo de la cepa 1068 al 5%.

El medio YM tiene como fuente de carbono D-Glucosa, lo que indica que tanto la cepa 1068 como la BAA477 producen DAFG cuando la fuente de carbono es D-glucosa en el medio de cultivo. Este resultado es consistente con lo reportado por Duffy & Defago (1999) y De la Fuente y colaboradores (2004) donde los medios de cultivo con glucosa como fuente de carbono son aquellos que generan una mayor producción de DAFG.

La producción de DAFG fue mayor por la cepa de referencia que por la cepa 1068 en caldo YM a las 22 horas de cultivo. Esta diferencia puede deberse a la dependencia del medio de cultivo en la cepa bacteriana (Duffy & Defago 1999; De la Fuente et al 2004).

Estudios adelantados por De Leij y colaboradores (2002) mostraron que al inocular plántulas de frijol con una cepa de *P. fluorescens* productora de DAFG, la longitud de las raíces aumentaba significativamente al ser comparada con las plántulas inoculadas con una cepa no productora de DAFG, sugiriendo que esta molécula tiene un comportamiento similar al de las auxinas (De Leij et al 2002). En nuestro estudio la adición del extracto crudo de la cepa 1068 (productora de DAFG) al medio de cultivo mostró diferencias significativas en la longitud total de raíces nuevas al ser comparado con el extracto crudo de la cepa 1088 (no productora de DAFG) (Tabla 1; Fig1), lo que concuerda con los resultados obtenidos por De Leij y colaboradores en el 2002. El comportamiento similar del DAFG al de las auxinas se debe a que al parecer, las plantas tienen los mismos mecanismos moleculares de respuesta a las dos moléculas (Brazelton et al 2008).

La longitud total de raíces nuevas de guadua bajo el efecto del extracto crudo de la cepa 1068 también fue significativamente mayor al de la cepa de referencia. Estas dos cepas se diferencian por el sitio de dónde fueron aisladas y por la planta a la que estaban naturalmente asociadas (García-Prieto 2011; Duffy & Defago 1999), lo que sugiere que las plantas de guadua *in vitro* tienen una mejor respuesta al extracto crudo de una bacteria con la que posean algún tipo de asociación *in vivo*. Este resultado es consistente con los reportes sobre los beneficios que traen las bacterias residentes a sus plantas hospederas *in vitro* (Ayyadurai et al 2006) y con los estudios realizados en el Grupo de Investigación en Agricultura Biológica de la Pontificia Universidad Javeriana con *G. angustifolia* y bacterias promotoras del crecimiento vegetal asociadas a guaduales de Cundinamarca (Díaz et al 2013).

El uso de extractos crudos bacterianos es una alternativa al uso de productos químicos comerciales en el cultivo de tejidos vegetales (Ayyadurai et al 2006; Russo et al 2012) porque optimiza los recursos sin comprometer la calidad del material vegetal (IAEA, 2004) y evita consecuencias no deseadas en la síntesis química de los reguladores de crecimiento vegetal (Achkar et al 2005). Debido a que *Pseudomonas* sp. 1068, cepa asociada naturalmente con *G. angustifolia* produce DAFG en medio YM a las 22 h, y tiene un efecto positivo en el enraizamiento *in vitro* de *G. angustifolia*, el uso extractos crudos de cepas asociadas naturalmente con la guadua al sistema de propagación *in vitro* de *G. angustifolia* surge como una alternativa para el reemplazo de moléculas de síntesis química en el proceso de propagación de bambúes.

Referencias bibliográficas

- Achkar J., Xian M., Zhao H., Frost JW. 2005. Biosynthesis of Phloroglucinol. *Journal of the American Chemical*

- Ahmadzadeh M., Therani A.S. 2009. Evaluation of fluorescent pseudomonads for plant growth promotion, antifungal activity against *Rhizoctonia solani* on common bean, and biocontrol potential. *Biological Control* 48: 101-107
- Ayyadurai N., Naik P.R., Sreehari R., Kumar S., Samrat S.K., Manohar M., Sakthivel N .2006. Isolation and characterization of a novel banana rhizosphere bacterium as fungal antagonist and microbial adjuvant in micropropagation of banana. *Journal of Applied Microbiology* 100: 926–937
- Brazelton J.N., Pfeufer E.E., Sweat T.A., McSpadden B.B., Coenen C .2008. 2,4-Diacetylphloroglucinol Alters Plant Root Development. *Molecular Plant-Microbe Interactions* 21 (10): 1349-1358
- Capador H.D. 2013. Producción de floroglucinoles por una cepa del género *Pseudomonas* asociada naturalmente a guaduales de Cundinamarca y su efecto en el crecimiento *in vitro* de *Guadua angustifolia* Kunth. Trabajo de Grado. Biología y Microbiología Industrial. Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá. 44p.
- Chatuverdi H.C., Sharma M., Sharma A.K .1993. In vitro regeneration of *Dendrocalamus strictus* nees through nodal segments taken from field-grown culms. *Plant Science* 91 (1): 97-101.
- De la Fuente L., Tomashow L., Weller D., Bajsa N., Quagliotto L., Chernin L., Arias A. *Pseudomonas fluorescens* UP61 isolated from birdsfoot trefoil rhizosphere produces multiple antibiotics and exerts a broad spectrum of biocontrol activity. *European Journal of Plant Pathology* 110:671-681.
- De Leij F.A.A.M., Dixon-Hardy J.E., Lynch J.M. 2002. diacetylphloroglucinol-producing and non-producing strains of *Pseudomonas fluorescens* on root development of pea seedlings in three different soil types and its effect on nodulation by *Rhizobium*. *Biol Fertil Soils* 35: 114-121
- Díaz-Ariza L.A., García-Prieto A.L., Sandoval W., Constantino S. .2013. Microorganismos rizosféricos: estrategias y técnicas para promover el crecimiento de especies forestales y bambúes. En: Apuntes sobre agricultura ecológica. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. ISBN 978-958-8598-07-9. Bogotá, Colombia. 182p.
- Dodd I.C., Zinovkina N.Y., Safronova V.I., Belimov A.A .2010. Rhizobacterial mediation of plant hormone status. *Annals of Applied Biology* 157: 361-379
- Duffy B.K., Defago G .1999. Environmental Factor Modulating Antibiotic and Siderophore Biosynthesis by *Pseudomonas fluorescens* Biocontrol Strains. *Applied and Environmental Microbiology* 65 (6): 2429-2438.
- García-Prieto A.L.2010. *Estudio comparativo del potencial biocontrolador de bacterias del genero Pseudomonas asociadas a Guadua angustifolia Kunth establecida en 5 municipios de la provincia del Río Negro, Cundinamarca Colombiano*. Tesis de Maestría. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional de Colombia.
- Giraldo-Herrera E., Sabogal Ospina A .2007. Una alternativa sostenible: La Guadua. Corporación Autónoma Regional del Quindío C.R.Q. Armenia, Colombia. 192 p.
- Höfte M., Aliter N. 2010. Fluorescent pseudomonads as biocontrol agents for sustainable agricultural systems. *Research in Microbiology* 161: 464-471
- International Atomic Energy Agency-IAEA .2004. Low cost options for tissue culture technology in developing countries. IAEA. Viena, Austria. 102 p.

- Jiménez V.M., Castillo J., Tavares E., Guevara E., Montiel M .2006. In vitro propagation of the neotropical giant bamboo, *Guadua angustifolia* Kunth, through axillary shoot proliferation. *Plant Cell Tiss Organ Cult* 86: 389-395.
- Londoño X .2011. El bambú en Colombia. *Biología Vegetal* 11 (3): 143-164
- Mudoí K.D., Saika S.D., Goswani A., Gogoi A., Bora S., Borthakur M .2013. Micropropagation of important bamboos: A review. *African Journal of Biotechnology* 12(20): 2770-2785
- Sarkar D, Naik P.S. 2000. Phloroglucinol enhances growth and rate of axillary shoot proliferation in potato shoot tip cultures in vitro. 60: 139-149
- Singh S.R., Sing R., Kalia S., Dalal S., Dhawan A.K., Kalia R.K.2013. Limitation, progress and prospects of application of biotechnological tools in improvement of bamboo-a plant with extraordinary qualities. *Physiol Mol Biol Plants* 19(1): 21-41
- Ramesh R., Joshi A.A., Ghanekar M.P.2009. Pseudomonas: major antagonistic endophytic bacteria to suppress bacterial wilt pathogen, *Ralstonia solanacearum* in the eggplant (*Solanum melongena* L.). *World Journal of Microbiology and Biotechnology* 25: 47-55
- Russo A., Carrozza G.P., Vettori L., Felici C., Cinelli F., Toffanin A .2012. Plant Beneficial Microbes and their Application in Plant Biotechnology. In: Agbo EC (Ed) *Innovations in Biotechnology*. In Tech, . 474p.
- Teixeira da Silva J.A., Dobránsky J., Ross S .2013. Phloroglucinol in plant tissue culture. *In Vitro Cell.Dev.Biol.-Plant* 49: 1-16

CASOS DE ESTUDIO PARA EL DISEÑO ESTRUCTURAL DE EDIFICACIONES CONSTRUIDAS CON GUADUA ANGUSTIFOLIA KUNTH DE ACUERDO A LOS REQUERIMIENTOS DE LA NSR-10, TITULO G.12

Mateo Gutiérrez González^a, Johan Camilo Muñoz Rodríguez^b, Tania Marcela Sáenz Landinez^c

^aUniversidad La Gran Colombia. Cra.9 No.42a - 22, Bogotá, D.C. mateo.gutierrez@ugc.edu.co

^bUniversidad La Gran Colombia. Cra.9 No.42a - 22, Bogotá, D.C. johitan85@gmail.com

^cUniversidad La Gran Colombia. Cra.9 No.42a - 22, Bogotá, D.C. tanisaenzland@gmail.com

Palabras clave: Guadua, estructuras, esfuerzos admisibles, módulos de elasticidad.

Resumen

Desde la publicación del reglamento colombiano de construcción sísmoresistente de 2010, la *Guadua angustifolia* Kunth fue reconocida en Colombia como un material apto para el uso como elemento estructural principal, sin embargo todavía no es común encontrar diseños estructurales realizados para este tipo de edificaciones. En el presente trabajo se presentan cuatro casos de estudio en donde se utilizó la guadua *Angustifolia* Kunth como material principal. Se escogieron los diseños arquitectónicos, posteriormente se escogió el sistema estructural que mejor se ajustaba a la arquitectura, se realizó la modelación de las estructuras en SAP2000, se realizó el diseño estructural de cada uno de los elementos siguiendo los requisitos de la NSR-10, y por último se hicieron los respectivos planos estructurales. Se encontró que la guadua se ve sometida a esfuerzos muy bajos siempre y cuando se utilice un sistema estructural adecuado y bajas cargas de diseño, sin embargo en todos los casos el diseño estructural afectó de manera significativa el diseño arquitectónico de las edificaciones, los esfuerzos más críticos se debieron a la baja capacidad de carga que tiene la guadua a la compresión perpendicular y al corte, y todavía hay parámetros fundamentales para la modelación que todavía no han sido reportados en la NSR 10.

Abstract

Since the publication of the Colombian earthquake resistant building code of 2010, *Guadua angustifolia* Kunth was recognized as a suitable material for use as the main structural element, however structural designs are not common to find for this type of constructions. Four case studies where bamboo *Guadua angustifolia* Kunth as the main material used are presented in this paper. Firstable, architectural designs were chosen, then, after the structural system was chosen, structural analyses were performed in SAP2000. The structural design of each element was carried out following the requirements of the NSR-10. Finally, the structural drawings were made. It was found that the bamboo is subjected to very low efforts and always when a suitable structural system design and low loads is used, no clutch in all cases the structural design significantly affect the architectural design of buildings, more efforts critics were due to the low capacity of the bamboo filler having a perpendicular compression and shear, and yet there are fundamental parameters for modeling that have not yet been reported in the NSR 10.

Introducción

La *Guadua* (*Guadua angustifolia* Kunth) es una especie de Bambú predominante en Colombia que ha sido usada en el país por diferentes comunidades a lo largo de la historia. Actualmente se está presentando un aumento en el uso de la *Guadua* por parte de arquitectos, ingenieros y constructores debido a que es un material con excelentes propiedades físicas y mecánicas como lo son la versatilidad, ligereza, flexibilidad, resistencia mecánica, dureza, adaptabilidad climática, sismo-resistencia, rápido crecimiento, alta tasa de renovación, fácil manejo, buena calidez visual y que puede ser usado como materia prima de construcción ya que los proyectos sostenibles buscan la implementación de materiales biodegradables que tengan un impacto ambiental mínimo y logre mitigar el daño que se le hace constantemente al planeta con la utilización de materiales de construcción tradicionales como lo son el acero y el concreto, entre otros. Desafortunadamente el incremento en la utilización de este material, ha llevado a que se haga de una manera inadecuada debido al desconocimiento sobre su comportamiento como elemento estructural, lo cual en muchos casos se ve reflejado en estructuras con elementos muy robustos y pesados, o por el contrario en estructuras con elementos que no se encuentran trabajando adecuadamente ante diferentes solicitaciones de carga.

En Colombia todavía se evidencia un alto déficit de viviendas, especialmente para las comunidades más marginadas, las cuales no cuentan con el dinero suficiente para acceder a las viviendas que ofrece el mercado convencional. La construcción en *guadua* brinda una alternativa muy económica, debido al bajo costo de extracción y transformación del material para ser utilizado como elemento estructural. Igualmente, dichas estructuras generan una muy baja huella ecológica, puesto que durante la etapa de crecimiento de la *guadua*, es decir durante la producción del material, las plantaciones de *guadua* transforman el CO₂ en O₂, y posteriormente durante su extracción y transformación, el impacto ecológico y energético es mínimo comparado con los demás materiales convencionales utilizados en la construcción.

Sin embargo, la mayoría de las construcciones realizadas con *guadua* como elemento estructural principal, todavía no cuentan con un diseño estructural confiable, ni tampoco se cuenta con una guía o manual de diseño que permita a los interesados en este tipo de obras a realizar construcciones seguras ante eventos naturales como lo son los sismos o las cargas de viento. Gracias a la inclusión de la *guadua* como elemento estructural en el último reglamento de construcción sismo resistente, (Ref.2) en la actualidad ya se cuenta con una serie de parámetros que permiten realizar un diseño estructural mucho más acercado al comportamiento real de la estructura.

Con el fin de evaluar y analizar el comportamiento estructural de diferentes edificaciones diseñadas en *Guadua* siguiendo los parámetros establecidos en la NSR 10, se realizaron en la universidad La Gran Colombia de Bogotá, tres trabajos de investigación denominados: “Diseño de una vivienda modelo eco-amigable en el municipio de Guaduas Cundinamarca”, El segundo documento se denomina “Comportamiento estructural de una edificación construida con *Guadua angustifolia* Kunth diseñada con diferentes valores de esfuerzos admisibles propuestos en Colombia” y el tercer documento de investigación lleva como título “Diseño de una estructura en *guadua* para un centro de rehabilitación y protección de animales en estado de abandono en Bogotá”, todos desarrollados por los estudiantes pertenecientes al semillero de investigación en *guadua*, adscrito a la mencionada Universidad.

A partir de estos trabajos, se pretende presentar algunas de las características más comunes en los diseños estructurales para edificaciones que utilizan la guadua como elemento estructural principal, contribuyendo a la evaluación de todos los parámetros establecidos en el nuevo reglamento sismo resistente, y generando recomendaciones que puedan aportar al mejoramiento continuo de los diseños estructurales con este material.

Metodología

Para el desarrollo de los diseños, se tuvieron en cuenta los siguientes pasos en cada uno de los casos de estudio.

Determinación del diseño arquitectónico

En primera medida, se escogieron diseños arquitectónicos de algunas estructuras comúnmente construidas con guadua. Se revisó cada caso en particular teniendo en cuenta los requisitos mínimos exigidos por la Norma Sismo Resistente de 2010 para estructuras construidas en *Guadua angustifolia* Kunth los cuales son: localización de la edificación, tamaño, configuración geométrica, altura y regularidad en planta. Una vez realizado el chequeo de las diferentes opciones se procedió a la determinación de cuatro edificaciones, la primera una vivienda de un solo nivel, con cubierta a dos aguas, localizada en Guaduas, Cundinamarca; el segundo diseño a ser evaluado fue un Kiosco de un nivel, con cubierta a dos aguas, localizado en la ciudad de Neiva; por último los últimos dos diseños escogidos fueron un albergue para animales pequeños de un solo nivel y cubierta a una sola agua y una caballeriza, similar a las propuestas por el Arq. Simón Vélez en algunos de los libros donde han sido presentadas sus obras (Ref. 4, 9 y 10).

Análisis y diseño estructural

Una vez identificadas las diferentes ciudades donde se van a localizar las edificaciones a estudiar se evaluaron las condiciones sísmicas, eólicas, de temperatura y de humedad relativa de cada una de ellas. Con la ubicación de cada una de las estructuras, se determinaron los respectivos espectros de diseño y se obtuvieron las fuerzas sísmicas en cada una de las edificaciones. Igualmente se calcularon las fuerzas de viento en cada una de las estructuras. Las cargas muertas, se obtuvieron a partir del análisis de cada una de las edificaciones, teniendo como principio utilizar principalmente materiales livianos que se ajusten a la capacidad de carga del material. Teniendo todas las cargas definidas se determinaron las diferentes combinaciones de carga a ser utilizados en cada uno de los modelos, conociendo que a partir de la NSR 10, la guadua debe ser diseñada por el método de esfuerzos de trabajo.

Una vez establecidos cada uno de los parámetros de diseño de las estructuras, se procedió a modelar la geometría de cada estructura e ingresar cada uno de los datos encontrados en el programa SAP2000, con el cual se realizó el análisis estructural de cada edificación. Es importante mencionar que la estructura denominada caballeriza, no hacía parte del sistema de resistencia sísmica y por lo tanto no fue evaluado su comportamiento ante cargas sísmicas.

Una vez revisados las fuerzas internas en la estructura, encontradas con la ayuda del programa SAP2000, se procedió a realizar el diseño estructural de cada uno de los elementos. En algunos casos fue necesario modificar las arquitecturas inicialmente evaluadas con el fin de agregar o

quitar elementos que componían la estructura, como lo fue el caso del Albergue para animales donde fue necesario agregar diagonales para aumentar la rigidez de la estructura en uno de los sentidos. Algo similar ocurrió en el caso del Kiosco en Neiva, donde fue necesario adicionar diagonales entre columnas para dar mayor rigidez a la estructura y garantizar el trabajo conjunto de todos los pórticos, también se debió aumentar el número de elementos en una de las caras de las columnas, con el fin de cumplir con los límites de deriva establecidos. Por otra parte, en la casa campestre localizada en Guaduas, el cambio en el diseño arquitectónico original fue más trascendente, ya que en este diseño se debieron mover las columnas para ser alineadas en todos los sentidos, también se debieron adicionar diagonales en varios de los muros divisorios y de fachada, lo cual conllevó a cambiar de posición algunas puertas y ventanas de la edificación. Sin embargo, después de realizar dichas modificaciones en el sistema estructural, se encontró que las cuatro estructuras tuvieron un excelente comportamiento en lo relacionado a la resistencia de los elementos sometidos a tensión y compresión axial (compresión paralela a las fibras), ya que ninguna de ellas sufrió pandeo o aplastamiento, mientras que la mayoría de los elementos sometidos a principalmente a flexión, como lo son las correas de las cubiertas, se encontraron mayores deformaciones, y en algunos casos se debieron reforzar los elementos cerca a los apoyos debido a la baja resistencia a compresión perpendicular o aplastamiento. Respecto a las deflexiones, en ninguna de los elementos evaluados se sobrepasaron los límites especificados por el reglamento.

Elaboración de planos

Después de tener el diseño estructural de cada uno de los elementos se procedió a generar un juego de planos en cada uno de los proyectos. En las figuras 1 a 6 se presentan algunas imágenes de los diseños arquitectónicos originales y los planos estructurales elaborados para cada edificación.

1) Vivienda eco-amigable en el municipio de Guaduas - Cundinamarca

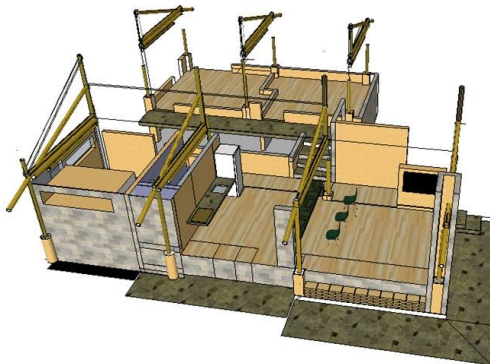
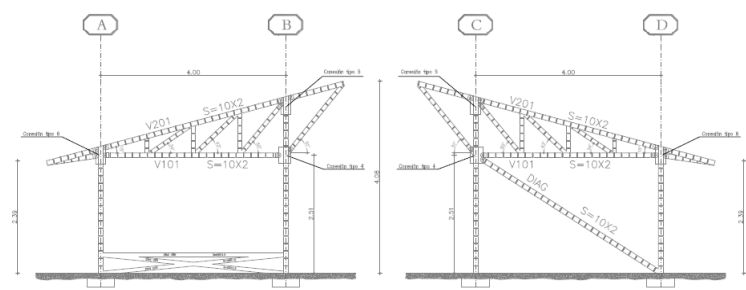


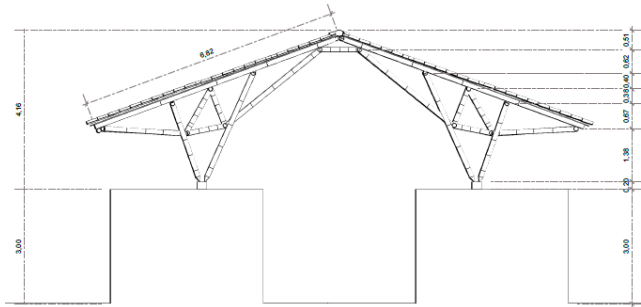
Figura 1. Diseño arquitectónico de la vivienda, Vista isométrica.



PORTICO RESISTENTE EJE 2

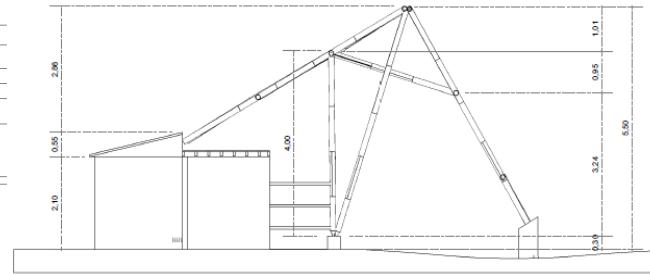
Figura 2. Pórtico en el Eje 2 donde se observa la distribución geométrica de la estructura.

2) *Diseño de una estructura en Guadua para un centro de rehabilitación y protección de animales en estado de abandono en la ciudad de Bogotá*



VISTA FRONTAL

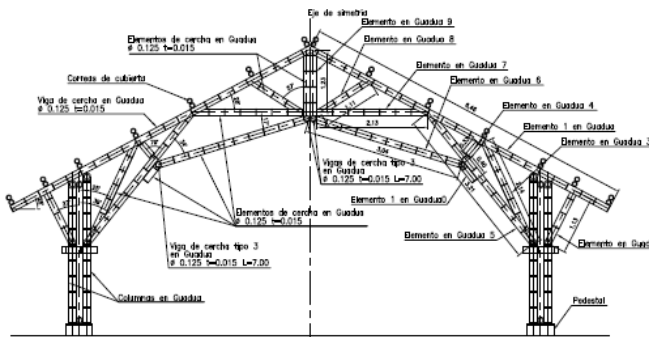
Figura 3. Corte típico de la cercha de la Caballeriza



VISTA LATERAL

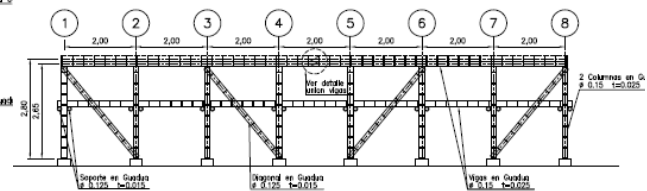
Figura 4. Corte transversal del albergue para animales

3) *Comportamiento estructural de una edificación construida con Guadua Angustifolia Kunth diseñada con diferentes valores de esfuerzos admisibles propuestos en Colombia*



SECCIÓN TÍPICA CERCHA

Figura 5. Sección típica de la cercha del Kiosko



DISPOSICIÓN DE COLUMNAS

Figura 6. Corte longitudinal de los pórticos del Kiosko

Discusión

Al ser la guadua un material altamente renovable y que cumple con muchos de los criterios para ser considerado un material sostenible (Ref. 1), se intentó que también los diseños arquitectónicos conservaran algunos principios de sostenibilidad descritos en varios artículos y textos (Ref. 1,4). Se observó que la sostenibilidad es un criterio bastante estudiado por lo que en estos casos se siguieron algunos principios como el uso de materiales locales, lo cual conlleva a la disminución de los costos energéticos producto del transporte de los materiales y también se utilizaron materiales altamente renovables y que requieren muy poca transformación. Adicionalmente es importante resaltar que los aspectos fundamentales de la sostenibilidad son el económico, el social y el ambiental, por lo cual un proyecto es sostenible cuando se encuentran en un punto de equilibrio estos tres aspectos.

Respecto al diseño estructural, se determinó que la localización de la vivienda no solo define las cargas ambientales que afectan las estructuras como lo son el viento y el sismo, sino también las propiedades físicas y mecánicas del material, las cuales terminan determinando la resistencia

misma del material, lo cual se convierte en una gran diferencia con los materiales convencionales.

En la NSR-10 se menciona que los pórticos deben ser arriostrados mediante diagonales y que además todos los nudos deben ser articulados. Esta condición implica que las estructuras en guadua son por lo general estructuras muy rígidas, las cuales cumplen fácilmente con los límites de deriva expuestos en el reglamento.

En el diseño de viviendas, se necesita que elementos inicialmente no estructurales como los muros divisorios, se conviertan en elementos estructurales debido a la necesidad de utilizar diagonales para la conformación de los pórticos arriostrados, las cuales terminan instaladas dentro de los mismos muros.

Se encontró que la guadua es un material que funciona muy bien ante fuerzas axiales paralelas a las fibras del material, bien sea de tensión o compresión. Para los elementos sometidos a flexión, este diseño se ve altamente gobernado por el aplastamiento, debido a la poca resistencia a la compresión paralela del material. La sección final del elemento termina siendo determinada por los fenómenos de cortante y aplastamiento debidos a la flexión.

Conclusiones

Se evidenció que la *Guadua angustifolia* Kunth es un material de excelente comportamiento cuando es sometido a esfuerzos axiales. En los casos de estudio analizados ningún elemento de la estructura estuvo sometido ante altos esfuerzos de tensión o compresión paralela a las fibras, debido a que los esfuerzos generados por las cargas sobrepuestas a la estructura no alcanzaron el 50% del esfuerzo admisible establecido por la norma. Lo contrario se encontró respecto a los elementos sometidos por flexión donde en varios casos debió ser modificada la sección del material debido a la poca resistencia que ofrece el material ante compresión perpendicular a la fibra y cortante. Esto induce a que en la medida de lo posible, es necesario que las estructuras de guadua sean concebidas como armaduras planas o espaciales cargadas en los nudos, con el fin de conducir a que el material trabaje principalmente sometido a esfuerzos axiales.

Se pudo observar que el diseño estructural de una vivienda en guadua, puede llegar a comprometer de manera significativa el diseño arquitectónico si este no contempla desde el inicio del proyecto las diagonales necesarias para la conformación de los pórticos arriostrados, los cuales son necesarios para cumplir con los parámetros básicos de resistencia contemplados en la NSR-10.

Para la modelación de la estructura se tuvieron como referencia todas las propiedades físicas y mecánicas del material establecidas en el reglamento colombiano de construcción sismo resistente, sin embargo se pudo establecer que datos como el módulo de rigidez (G), módulo de Poisson (ν), y el coeficiente de dilatación térmica todavía no han sido establecidos por el reglamento, por lo cual dichos valores fueron tomados de la investigación denominada “Propiedades físicas-mecánicas de la *Guadua angustifolia* Kunth”) y aplicación al diseño de baterías sanitarias del Iasa II (ref. 3).

Debido al bajo peso de las estructuras en guadua, por lo general las cimentaciones presentan dimensiones mucho menores respecto a las dimensiones de una estructura fabricada con materiales convencionales como el acero, el concreto o el ladrillo. Se recomienda utilizar concretos fabricados con materiales reciclados con el fin de mitigar el impacto ambiental generado por dicho material.

Referencias bibliográficas

- Archila, H F; Santos, M P y Ansell, P W. *Low Carbon Construction Using Guadua Bamboo in Colombia*. En: Key Engineering Materials. University of Bath, United Kingdom Department of Mechanical Engineering. Department of Architecture and Civil Engineering.. Vol. 517 (2012).
- ASOCIACION COLOMBIANA DE INGIENERIA SISMICA, AIS. Reglamento colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10. Titulo G- Estructuras de madera y estructuras de guadua. Bogotá, Colombia: Marzo de 2010.
- Cobos, F JA y León, R X A. *Propiedades físicas-mecánicas de la guadua (“Angustifolia kunth”) y aplicación al diseño de baterías sanitarias del Iasa II*. Morfología de la guadua. Escuela politécnica del ejército. Sangolquí. 2007.
- Minke, G. *Building with Bamboo. Design and Technology of a Sustainable Architecture*. Birkhäuser, Berlin. 2012. 130. p.
- Luna, P, Takeuchi, C, Granados, G, Lamus, F, Lozano, J. *Metodología de diseño de estructuras en Guadua Angustifolia como material estructural por el método de esfuerzos admisibles*. En: Revista Educación en Ingeniería. Junio, 2011. N° 11.
- Rubio, L. *Comportamiento de las cerchas construidas en Guadua rolliza*. Trabajo de grado. Bogotá D.C.: Universidad de los Andes. Facultad de Ingeniería. Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental.
- Takeuchi, C.; *Comportamiento estructural de la Guadua Angustifolia. Uniones en Guadua*. En Ingeniería e Investigación. Septiembre 2004. Vol 24, numero 002
- Uribe, M y Duran, A. *Estudio de elementos solicitados a compresión armados por tres Guaduas*. Trabajo de grado. Bogotá D.C.: Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ingeniería. Departamento de Ingeniería Civil, 2002.
- Villegas M, *Bambusa Guadua, colección La cultura del café*. Villegas Editores, Abril de 1996.
- Villegas M. *Guadua, Arquitectura y diseño*. Villegas Editores, Julio de 2003.
- Villegas González, F. *Comparación consumos de recursos energéticos en la construcción de vivienda social: guadua vs. Concreto*. Tesis para optar por el título de Magister en Medio Ambiente y Desarrollo. Manizales: Universidad Nacional de Colombia. 2005.

PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO PARA DETERMINAR LAS ISOTERMAS DE SORCIÓN Y EL CONTENIDO DE HUMEDAD DE EQUILIBRIO PARA LA *Guadua angustifolia* KUNTH

Mateo Gutiérrez González^a

^aUniversidad La Gran Colombia. Cra.9 No.42a - 22, Bogotá, D.C. mateo.gutierrez@ugc.edu.co

Palabras clave: Guadua, contenido de humedad, humedad relativa, temperatura.

Resumen

En la actualidad, todavía hay algunas propiedades físicas y mecánicas de la *Guadua angustifolia* Kunth que no se conocen con exactitud, entre las que se encuentra el contenido de humedad de equilibrio (*CHE*), propiedad determinante para conocer como es la variación de la resistencia mecánica y rigidez del material. El presente trabajo pretende presentar una metodología para encontrar los isotermas de sorción de la *Guadua angustifolia* Kunth y de esta manera conocer el contenido de humedad de equilibrio del material para cualquier condición de humedad relativa y temperatura ambiente.

Introducción

En el año 2010, la *Guadua angustifolia* Kunth fue incluida en el reglamento colombiano de construcción sismo resistente (NSR-10). A partir de esa fecha, la guadua puede ser utilizada en Colombia como elemento estructural principal para construir edificaciones de hasta dos niveles de altura. Para realizar el diseño estructural de edificaciones en Guadua, la Asociación de Ingeniería Sísmica, incluyó en la NSR-10 (Ref. 2), una serie de valores relacionados con las propiedades físicas y mecánicas de la guadua, las cuáles deben ser utilizadas para calcular todos los parámetros de diseño estructural del material. Sin embargo, algunos de estos valores no corresponden estrictamente a los valores específicos del material *Guadua angustifolia* Kunth, o simplemente no se han realizado investigaciones puntuales para encontrar dichos datos.

Dentro de los valores que aún no se conocen con exactitud, se encuentran los valores de contenido de humedad de equilibrio (*CHE*) para una determinada condición de humedad relativa y temperatura ambiente y específicamente para las condiciones ambientales de las principales ciudades de Colombia donde es utilizada la guadua como elemento estructural.

En la NSR-10 se presentan los valores de *CHE* para las principales ciudades del país, sin embargo la norma muestra que dicho gráfico fue realizado para maderas tropicales con la cual fueron obtenidos los valores de *CHE* de la guadua. Igualmente, se han encontrado en diversos ensayos que los valores entregados por la NSR 10 no corresponden a los datos encontrados experimentalmente para la guadua.

Conocer el contenido de humedad que tiene la guadua, permite determinar cómo puede variar sus propiedades físicas y mecánicas, y como ese contenido puede afectar la capacidad de resistencia y deformación que pueda experimentar el elemento ante una sollicitación de carga. Dependiendo de las condiciones de humedad relativa y temperatura ambiente, la guadua logra un equilibrio con el ambiente y alcanza un contenido de humedad prácticamente constante en el tiempo, con el que se pueden establecer los valores de resistencia y rigidez que se utilizaran en el diseño de los

elementos estructurales, los cuales permanecerán en esa misma condición ambiental durante toda la vida útil de la estructura. Este valor de contenido de humedad es el que se conoce como el contenido de humedad de equilibrio (*CHE*). Todavía no se tiene certeza sobre como varía el contenido de humedad de equilibrio de la guadua en las diferentes ciudades y regiones del país, y sin este dato, no se puede establecer de manera confiable con qué valor de contenido de humedad se debe realizar el diseño estructural de cada uno de los elementos que componen una estructura. Un método general muy utilizado para conocer este valor, son las isotermas de sorción del material. La isoterma es una curva que describe para unas condiciones de temperatura constante, la relación del equilibrio entre el agua del material y la humedad relativa del ambiente (ISO, Igual). A manera de ejemplo, en la figura 1 se muestra el ábaco de Kollmann, con el cual se puede encontrar el *CHE* del material a partir de la humedad relativa y la temperatura del ambiente.

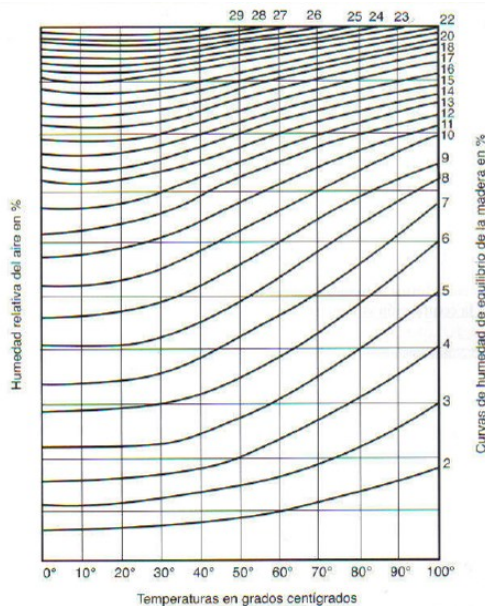


Figura 1. Abaco de Kollmann, el cual relaciona el *CHE* de la madera con la temperatura y la humedad relativa del medio ambiente. Tomado de tecnología de la madera (Vignote 2006).

De acuerdo a lo mencionado anteriormente, el presente trabajo pretende exponer una metodología con la cual se pueda construir un ábaco como el mostrado en la figura 1, ajustado a las condiciones propias de la *Guadua angustifolia* Kunth.

Procedimiento Metodológico

Preparación de las probetas para obtener del contenido de humedad de equilibrio

Para la selección de la población de estudio se tomarán guaguas maduras, secas al aire sin ningún tipo de tratamiento de inmunización, cortadas en culmos, con y sin presencia de nudo. El tratamiento y secado del culmo de guadua se realizará de acuerdo a la NTC 5301, esto también se puede garantizar comprando el material con un vendedor certificado.

Se obtendrán cilindros de largo aprox. 10 cm. +/- 10 mm, de la Cepa, Basa y Sobrebasa, con nudo y sin nudo. De estos cilindros se cortan probetas con largo de 10 cm +/- 10 mm y ancho de 2 cm tal como se muestra en la figura 2 y 3.

El corte de los casquetes se realizará de la siguiente forma:

Se deben obtener culmos de 50 cm los cuales se marcaran cada 10 cm para obtener las probetas de 10 cm de largo, para esto se debe utilizar una sierra de banco. El corte de las probetas, se debe hacer con una sierra sin fin de orientación vertical, cada 2 cm.

En conclusión, las probetas deben tener las siguientes dimensiones, las cuales deben ser verificadas antes de cada ensayo: Longitud de la probeta: 100 mm. Ancho de la probeta: 20 mm. Espesor de la probeta: espesor de la pared del culmo de guadua. Las probetas deben ser pesadas con exactitud de: 10 g. por culmo, 1 g. por probeta de más de 100 g. y 0,1 g. por probeta de menos de 100 g.

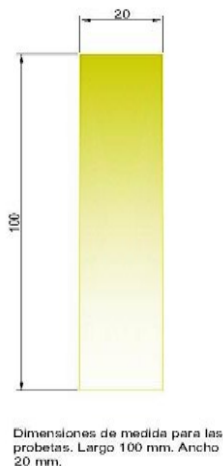


Figura 2. Dimensiones para las probetas. Fuente: Autor

Figura 3. Probetas con las dimensiones propuestas con nudo y sin nudo. Fuente: Autor

Procedimiento para obtener el contenido de humedad de equilibrio.

Para conocer cuál es el contenido de humedad de equilibrio de una determinada probeta, se simularan unas condiciones constantes de humedad relativa y temperatura ambiente mediante una cámara de clima constante. Con esta cámara es posible recrear un clima cualquiera combinando valores de temperatura y humedad relativa. Se evaluarán 6 condiciones de humedad relativa del ambiente, que pueden cubrir las condiciones de todas las ciudades del país, y cada una de estas humedades se evaluará en 4 condiciones de temperatura.

Las humedades relativas seleccionadas son 35, 50, 60, 70, 80 y 90%. Se estableció que 90% de humedad relativa es la máxima humedad que puede simularse en las cámaras de clima constante, además ninguna ciudad del país cuenta con humedades relativas superiores al 90%. Las temperaturas seleccionadas son 10, 20, 30 y 40°C. Estas temperaturas abarcan todas las temperaturas ambiente promedio de las principales ciudades de Colombia. Cada una de las humedades relativas seleccionadas en las temperaturas escogidas, nos permitirán obtener los puntos de CHE, que posteriormente conformarán las isotermas de sorción.

Para cada condición de HR y T° es necesario que se utilicen 36 probetas, 12 de cada parte de interés de la guadua (Cepa, basa y sobrebasa), de las cuales 6 llevarán nudo y 6 estarán sin nudo. En conclusión se realizarán 36 ensayos para una determinada combinación de HR y T°, es decir 36 ensayos para una combinación de 35% de humedad relativa y 10°C de temperatura. Continuando con el proceso se realizarán 36 ensayos para evaluar las condiciones de 35%/20°C, 36 para evaluar las condiciones de 35%/30°C y 36 para evaluar las condiciones de 35%/40°C; así sucesivamente para cada una de las condiciones (HR/T) planteadas. La cantidad de ensayos necesarios, con el fin de realizar todo el esquema propuesto es de 864, 432 ensayos a probetas con nudo y 432 ensayos a probetas sin nudo, involucrando las 3 partes de la guadua en altura.

El código para la marcación se describirá de la siguiente manera:

Las condiciones de humedad relativa serán identificadas con las letras de la A a la F, donde A – 35%; B – 50%, C – 60%, D – 70%, E – 80% y F – 90%. Las condiciones de temperatura serán identificadas desde T1 hasta T4, con T1 – 10°C, T2 – 20°C, T3 – 30°C y T4 – 40°C.

La cepa se identificará con la letra C, la basa se identificará con la letra B y la sobrebasa se identificará con las letras SB. Para las probetas que tengan nudo se introducirá el término N; en los casquetes que no poseen nudo, no se identifica esta condición. Las probetas se enumerarán del 1 al 6.

Por ejemplo, una probeta que va a ser ensayada bajo las condiciones de humedad relativa de 35% y temperatura de 10°C, con nudo de la Cepa, siendo la probeta No. 1, se marcará como se muestra en la figura 4.



EJEMPLO DE MARCACIÓN DE UN CASQUETE CON NUDO
CORRESPONDIENTE A (35%/10°) CON NUDO DE LA CEPA

Figura 5. Ejemplos de marcación para las probetas. Fuente: Propia

Una vez obtenidas y marcadas todas las probetas de ensayo, las probetas deberán ser llevadas a su estado anhidro, colocando las probetas en un horno a una temperatura de 103°C +/- 2°, por 24 horas, de acuerdo con lo descrito en la NTC 5525, hasta obtener una humedad de 0%

Posteriormente se introducen todas las probetas secas en la cámara de clima constante, ajustando los parámetros seleccionados de (HR%/T°C). Se monitorean los pesos durante 5 días, después de haber pasado por lo menos una semana en la cámara, hasta que se consiga un peso constante, que es la forma de identificar que la probeta ha alcanzado la humedad de equilibrio y posteriormente se procede a llenar el registro de masa de cada una de las probetas y de esta manera calcular el contenido de humedad que alcanza la probeta.

El contenido de humedad de equilibrio se calcula, usando la ecuación propuesta en la NTC 5525.

Construcción de las isotermas de sorción

De acuerdo a la NTC 5525, el valor más representativo de cada uno de los ensayos que tienen iguales valores de HR y T° corresponde al valor de la media aritmética; además de esto se deben

encontrar los valores de desviación standard y coeficiente de variación, con el fin de determinar si se está llevando bien el proceso.

Un ejemplo de la forma como podrían llegar a graficarse los datos obtenidos se presenta en la figura 5. Los valores mostrados fueron asumidos y no corresponden a valores reales, son solamente una representación de lo que podría obtenerse para graficar las curvas.

Inicialmente, se obtienen las nubes de puntos, para cada una de las combinaciones de (HR/T), identificando el valor medio. Con estas nubes de puntos se trazan las curvas que mejor correlacionen los valores de HR, T° y CHE, para una sola condición de temperatura.

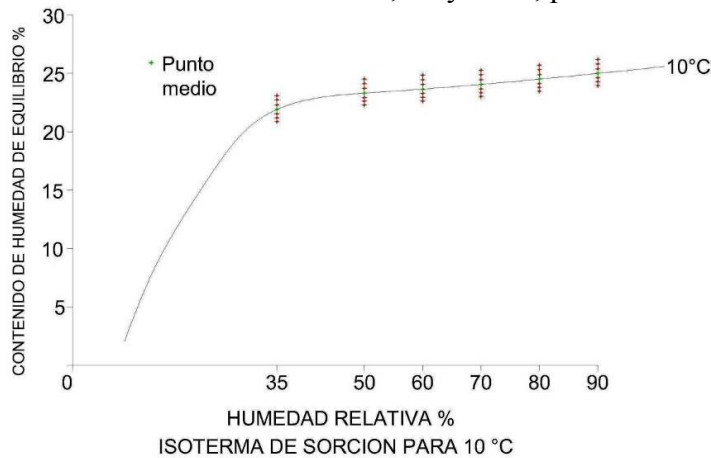


Figura 4. Ejemplo de isoterma para una temperatura de 10°C.

Se repite el mismo proceso con las demás isotermas para temperaturas de 20°C, 30°C y 40°C.

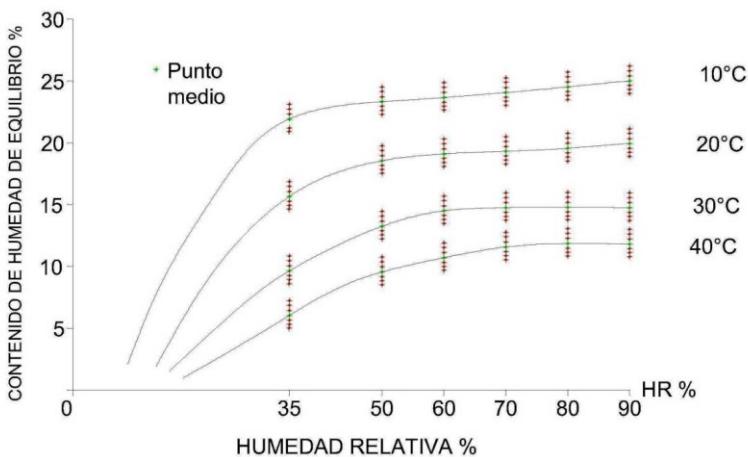


Figura 5. Isotermas de sorción para todos los datos de HR y temperatura.

El uso de las isotermas se realizara de la siguiente manera:

Se selecciona la ciudad para la cual se quiere encontrar el contenido de humedad de equilibrio con el objetivo de determinar su humedad relativa promedio anual y la temperatura anual promedio.

Con estos datos se interpola la humedad correspondiente, entre las dos humedades más próximas a este valor, y se procede de la misma manera con la temperatura.

Con este punto se traza una línea paralela al eje X y se busca el valor de *CHE* en el eje Y.

Resultados

Con el procedimiento descrito podrán encontrarse las isothermas de sorción de la *Guadua angustifolia* Kunth. Estas curvas serán de gran utilidad para encontrar el contenido de humedad de equilibrio de la guadua para cualquier condición de humedad relativa y temperatura ambiente. En otras palabras, si se conocen las condiciones de humedad relativa y temperatura ambiente de una ciudad colombiana cualquiera donde se requiera construir una estructura en guadua, estas isothermas podrán indicarle al diseñador cual es el contenido de humedad que tendrá el material durante la vida útil de la estructura. Con este valor, el diseñador estructural podrá determinar cómo es la variación de la resistencia mecánica y el modulo elástico de la guadua, a partir de los factores de modificación debidos al contenido de humedad descritos en la NSR 10. Sabiendo como varia la resistencia y la rigidez de la estructura a partir del contenido de humedad del material, el diseñador podrá describir el comportamiento de su estructura de una manera más ajustada a la realidad.

Agradecimientos

El autor agradece a la Universidad La Gran Colombia por el apoyo entregado para la realización de esta investigación. Igualmente agradece al Grupo de investigación de guadua y madera de la Universidad Nacional de Colombia por los valiosos aportes en el desarrollo del proyecto.

Referencias bibliográficas

- Aponte, Alfredo Ayala. Serna COCK, Liliana. Rodriguez de la Pava Gloria. *Isothermas de Adsorción de humedad en Pitahaya Amarilla*. Dyna, year 78, Nro. 170, pp. 7-14. Medellín, Diciembre de 2011.
- ASOCIACION COLOMBIANA DE INGIENERIA SISMICA, AIS. *Reglamento colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10. Titulo G- Estructuras de madera y estructuras de guadua*. Bogotá, Colombia: Marzo de 2010.
- Bjork, Hans; Rasmuson Anders. *Moisture equilibrium of wood and bark chips in superheated steam*. Volume 74 Number 12 1887. Reino unido, 1995.
- CARACTERÍSTICAS Y PROPIEDADES DE LA MADERA. Junta del Acuerdo de Cartagena. Perú, 1987.
- Choudhurya, Debangana; Sahub, Jatindra K.; Sharma, G.D. *Moisture sorption isotherms, heat of sorption and properties of sorbed water of raw bamboo (Dendrocalamus longispathus) shoots*. Industrial Crops and Products 33 (2011) 211–216.
- Fuentes-Salinas. M. *Estimación del punto de saturación de la fibra (PSF) de las maderas*. División de ciencias forestales de la Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 2000.
- Gutierrez, Mateo. *Factor de corrección por contenido de humedad para la resistencia a tensión paralela a la fibra de la guadua Angustifolia Kunth*. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ingeniería. Bogotá, 2011.

- Hidalgo, Oscar. *Bamboo the gift of the gods*. 1ra Ed. Bogotá, Colombia: Editorial D'VINNI Ltda. 2003. 553 p.
- INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS. *Métodos de ensayo para determinar las propiedades físicas y mecánicas de la Guadua Angustifolia Kunth*. Bogotá: ICONTEC, 2007 (NTC 5525).
- Montoya Arango, Jorge Augusto. JIMENEZ Arias, Elías. *Determinación de la curva de secado al aire libre, mediante modelación matemática y experimental de la guadua Angustifolia Kunth*. [online]. Universidad Tecnológica de Pereira. Scientia et technical.

CONSTRUCCIONES SOSTENIBLES APLICADAS A SOLUCIONES DE VIVIENDA DE INTERÉS PRIORITARIO “PROYECTO CENTENARIO MUNICIPIO DE TIMANÁ HUILA 2011-2013”

Henry Liscano Parra^a, Engelberto Rodríguez Burgos^b, Rosa Elvira Gaviria Torres^c

- ^a. *Servicio Nacional de Aprendizaje SENA. Centro de Gestión y Desarrollo Sostenible Surcolombiano, Carrera 8 No. 7-53. Pitalito-Huila, Colombia. hliscano@sena.edu.co*
- ^b. *Servicio Nacional de Aprendizaje SENA. Centro de Gestión y Desarrollo Sostenible Surcolombiano, Carrera 8 No. 7-53. Pitalito-Huila, Colombia. engelberto.rodriguezbu@misena.edu.co*
- ^c. *Servicio Nacional de Aprendizaje SENA. Centro de Gestión y Desarrollo Sostenible Surcolombiano, Carrera 8 No. 7-53. Pitalito-Huila, Colombia. rositagaviria@misena.edu.co*

Palabras clave: Construcción Sostenible, Ecodiseño, Bioconstrucción, Bioclimática, Centenario, Vivienda de interés prioritario, Recurso Natural Guadua, SENA.

Resumen

En el proyecto de vivienda de interés prioritario “Centenario”, desarrollado en Timaná - Huila - Colombia, se utilizó la guadua como principal elemento constructivo. Los diseños arquitectónicos se realizaron con el enfoque de Ecodiseño, ajustando estos diseños a las características de la zona y generando una construcción sismo resistente con buenas condiciones de bioclimática. Este proyecto tiene un gran impacto social para comunidad vulnerable de la zona; dicho proyecto se ejecutó mediante convenio interinstitucional entre el SENA Pitalito, Alcaldía de Timaná, la Gobernación del Huila (FONVIHUILA) y la Unidad Nacional del Gestión Riesgo y Desastres – UNGRD-

Abstract

In the priority housing project “Centenario”, developed in Timaná- Colombia, bamboo was used as the main construction element. The architectonic designs were carried out following an Eco design approach, adapting them to the characteristics of the zone and constructing an earthquake resistant building with good bioclimatic conditions. This project has a great social impact on the vulnerable people in the zone; it was performed thanks to the interinstitutional agreement among SENA from Pitalito, Timaná City Hall, government of Huila (FONVIHUILA) and la Unidad Nacional del Gestión Riesgo y Desastres –UNGRD.

Introducción

El barrio Centenario del municipio de Timaná fue un asentamiento subnormal con déficit de habitabilidad, hacinamiento y seguridad estructural. Presentaba construcciones de viviendas realizadas por los mismos morales con precarias ambientes constructivos y bajas condiciones de salubridad, presentando así un alto riesgo de seguridad para los habitantes de este barrio.

Por tal motivo, el SENA desde el Centro de Gestión y Desarrollo Sostenible Surcolombiano interesado por el bienestar y apoyo a comunidad vulnerable lideró el macroproyecto “Plan de

vivienda de interés prioritario Centenario municipio de Timaná, Huila 2011-2013” mediante la construcción sostenible de 80 viviendas, donde se aplicaron técnicas constructivas avaladas en la NRS-10 , especialmente en construcciones en guadua (Capítulo E.7 – Título G), para satisfacer las necesidades de la población asentada en el barrio Centenario por medio de una construcción amigable con el ambiente. Cabe resaltar que este se ejecutó en convenio con la Alcaldía municipal de Timaná, la oficina del Fondo de Vivienda de Interés Social del departamento del Huila –FONVIHUILA- y la Unidad Nacional del Gestión Riesgo y Desastres.

En el presente documento se comparte la experiencia de Ecodiseño y construcción de viviendas de interés prioritario e investigación aplicada a variables bioclimáticas que se obtuvieron con la ejecución del proyecto Centenario. El compromiso social de la entidad y de las directivas del Centro de Gestión y Desarrollo Sostenible Surcolombiano, pensando siempre en el desarrollo y bienestar en especial de la población vulnerable, sirvió de motivación para que desde él se crearan proyectos de aprendizaje que solucionarán problemas reales de la comunidad, como el que presentaba el asentamiento subnormal Centenario en el municipio de Timaná.

Metodología:

1.1 Localización área de estudio

La localización geográfica del proyecto se ubica en el municipio de Timaná al sur del departamento de Huila. Timaná se encuentra a 446 kilómetros de Santafé de Bogotá, en el valle montañoso del Magdalena. El área de estudio e influencia del proyecto se enfoca en el Barrio Centenario, que se ubica en el área nororiental de la zona urbana de Timaná, con un área en metros cuadrados de 19.714. (Ver Figura. 1)

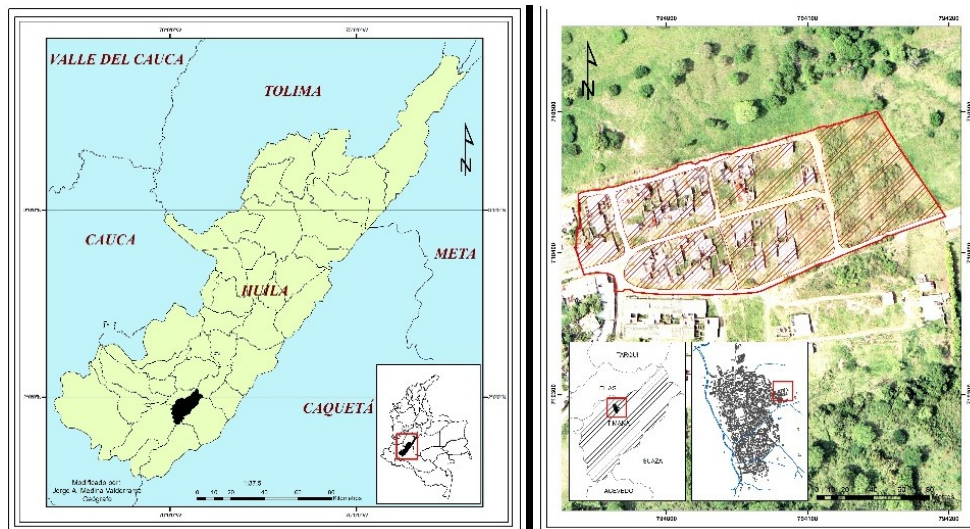


Figura 1. Localización geográfica del Proyecto Centenario, municipio de Timaná Huila

1.2 Ecodiseño del proyecto

El diseño arquitectónico aplicado a las soluciones de vivienda de interés prioritario “Proyecto Centenario municipio de Timaná Huila 2011-2013” se realizó bajo la implementación de la metodología de Ecodiseño, con características de construcciones sismo resistente, sostenible y bioclimáticas.

La necesidad de desarrollar una vivienda que mejorará la calidad de vida de los habitantes del barrio Centenario, digna y que a su vez no descontextualizara con la idiosincrasia de la región, era fundamental debido a que se utilizaría el recurso natural renovable guadua pero con las condiciones técnicas apropiadas, según la Norma NSR-10, Capítulo E.7 – Título G.

El diseño que se alcanzó, fue ideado para lograr un máximo confort dentro de la vivienda con el mínimo gasto energético, teniendo en cuenta los elementos climáticos del entorno para proyectar unas mejores condiciones de confort interno gracias a la ventilación cruzada que se logra mediante el manejo de cubiertas en dos niveles, tal y como se proyecta Gordillo *et al.* en el 2010. Adicionalmente se proyectó una cosecha de aguas lluvias, que almacena este líquido en un tanque aéreo para después mediante un diseño hidráulico ser utilizada en el sanitario, lavadero, regar plantas, entre otras cosas actividades domésticas, todo esto reduce la huella hidrológica.

1.2.1 Diseño arquitectónico

La vivienda consta de dos habitaciones, sala-comedor, cocina, unidad sanitaria, sistema eléctrico y acabado en obra blanca. Para un total de 63 m² construidos.

1.2.2 Cimentación de la vivienda.

Se implementó una viga de cimiento en concreto ciclópeo de 2400 psi (40% en piedra) para mejorar las condiciones del suelo. Sobre esta viga se descarga la viga se sobre cimiento en concreto de 3000 psi con acero de refuerzo de 60000 psi, utilizando la cuantía mínima según NSR-10 para viviendas de un nivel.

1.2.3 Estructura de la vivienda.

Se proyectaron antepechos en mampostería tradicional a una altura de 70 cm confinado en columnas de concreto reforzado a esta misma altura. La estructura en guadua se diseñó de manera modular con diámetros de guadua promedio 10 cm, facilitando así el proceso constructivo mediante la prefabricación y posterior ensamble de esos módulos. Dichos módulos están conformados por columnas de guadua y diagonales, de una altura promedio 2.45 m. El sistema de mampostería es mediante muros tendinosos, utilizando malla acerada entamborada entre la guadua para posteriormente ser pañetada por ambas caras. (Ver Figura. 2)

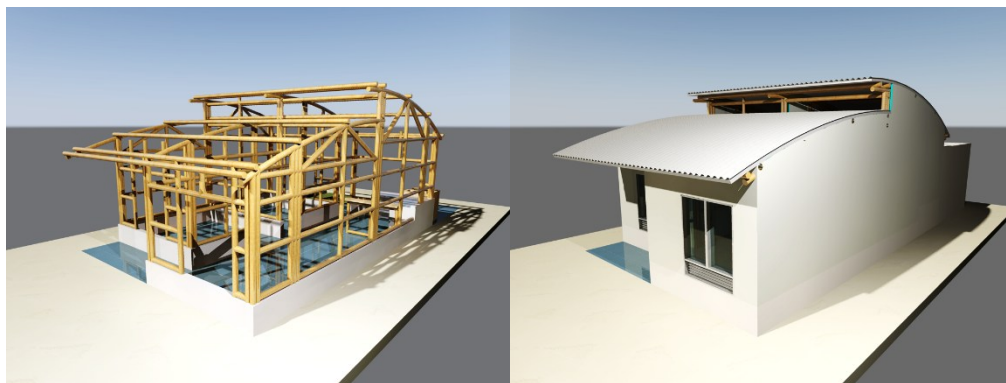


Figura 2. Alternativa de solución Vivienda de Interés Prioritario Proyecto Centenario, Timaná

Los muros de cerramiento de la vivienda están contruidos con muros tendinosos pañetados y con acabado en pintura tipo vinilo de color blanco. Dicho color presenta altos niveles de refracción de ondas lumínicas y de esta manera mitigar el impacto de la radiación solar sobre las caras de la vivienda expuesta al sol, logrando así una mejor zona interna de confort.

La cubierta de la vivienda está dividida en dos niveles que permiten evacuación de aire caliente en la parte más alta. Mediante dos estructuras curvas en guadua se genera la caída a dos aguas, con pendientes pronunciadas del 20%. Se utilizaron correas en guadua de 8 cm de diámetro promedio sobre las cuales se instala una teja de zinc.

1.2.4 Carpintería y acabados

Para puertas y ventanas se utilizó carpintería metálica CR-20, con celosía que permiten la ventilación y acabado en pintura esmalte. Baño y mesón de cocina enchapados. Pisos en cemento afinado con mineral. Estructura en guadua con acabado en pintura tipo barniz. Muros pañetados con acabado en pintura tipo vinilo.

1.3 Gestión de los recursos

El proyecto se realizó en convenio interinstitucional entre el SENA, Alcaldía municipal de Timaná, la oficina del Fondo de Vivienda de Interés Social del departamento del Huila – FONVIHUILA y la Unidad Nacional del Gestión Riesgo, donde se consolidaron los siguientes recursos. (Ver Tabla 1)

ENTIDAD	APORTES
SENA -FIC	\$ 500.000.000
Alcaldía Timaná	\$ 150.000.000
Gobernación del Huila FONVIHUILA	\$ 200.000.000
Unidad de gestión del riesgo	\$ 2.200.000.000
TOTAL	\$ 3.050.000.000

Tabla 1: Recursos ejecutados proyecto Centenario 2011-2013.

Cabe destacar que los \$ 3.050.000.000 comprenden las construcción de las 80 viviendas, obras de urbanismo y adecuación de terreno con muros de contención.

1.4 Operatividad del proyecto

La construcción estuvo a cargo de un contratista con su debida interventoría y con la sincronización de formación por proyectos a cargo del SENA, donde participaron los programas de formación técnicos y tecnólogo que se relacionan en la Tabla. 2:

PROGRAMA DE FORMACIÓN	APRENDICES
To. En salud ocupacional	5
To. En control ambiental	26

To. En gestión logística	16
To. En desarrollo gráfico de proyectos de construcción	24
Te. En instalaciones eléctricas residenciales	25
Te. En construcción de edificaciones	40
Te. En armado de estructura en guadua	86
TOTAL	222

Tabla 2: Estrategia formación por proyectos SENA

1.5 Medición de variables bioclimáticas

La investigación aplicada a variables bioclimática se realizó en dos viviendas del barrio Centenario, una con modelo constructivo convencional y la otra con modelo constructivo sostenible. La toma de datos se llevó a cabo entre los meses de mayo y noviembre del año 2011. Para la recolección de datos se muestreo tres veces al día (mañana, medio día y tarde) en los interiores y exteriores de las viviendas. Las variables analizadas en el estudio fueron: temperatura máxima y mínima diaria, temperatura ambiente y humedad relativa puntuales. Los equipos utilizados para ejecutar las mediciones fueron: La humedad relativa y temperatura ambiente se realizó con el termohigrómetros HI 9161; para medir la temperatura máxima y mínima se utilizó el termómetro de máxima-mínima o termómetro de mercurio, con este se mide las más altas temperaturas diurnas y las más bajas nocturnas.

1. RESULTADOS:

2.1 Tejido social

Se benefició una población vulnerable de 316 habitantes, representados en 80 familias, que se encontraban marginalizadas al estar viviendo en condiciones de hacinamiento y no contando con la infraestructura adecuada y digna para su vivienda. Los beneficiarios pasaron de ocupar unas viviendas en su mayoría de bahareque y tabla a ocupar unas viviendas dignas, sismo resistentes, y amigables con el medio ambiente por utilizar el recurso renovable guadua como principal elemento constructivo. En la figura 3 se puede evidenciar el antes y el después de las condiciones de vida de los beneficiarios.



Figura 3. Condiciones de vida iniciales – Confort Biohogar

2.2 Características del modelo constructivo sostenible

Con el propósito de evaluar el sistema constructivo sostenible implementado se proyecta una comparación con un sistema constructivo tradicional, donde se analizan diferentes variables que se relacionan en la Tabla 3.



VARIABLES	MODELO CONSTRUCTIVO CONVENCIONAL	MODELO CONSTRUCTIVO SOSTENIBLE
Tiempo ejecución	Cuarenta y cinco (45) días constructivo en sitio	Cuarenta y cinco (45) días sistema prefabricado
Sistema constructivo y arquitectónico	Materiales elaborados convencionales. Diseño convencional. Vivienda en obra negra	Material estructural en guadua rolliza (Acero Natural). Ecodiseño y Bioconstrucción (Microclima interior más confortable). Vivienda digna totalmente en obra blanca.
Método de control	NSR-10 Título E	Norma sismo resistente NSR-10, Capítulo E.7 – Título G NTC-5407 NTC-5301 NTC-5405 NTC-5525 NTC-5300 NTC-5458
Ventaja ambiental	Ninguna	La guadua recurso natural (Recurso natural renovable). Agricultura urbana para la soberanía alimentaria. Aprovechamiento de las aguas lluvias (cosechas de agua).
Área construida	45 m ²	63 m ²
Distribución espacial	Una habitación, sala comedor, cocina, unidad sanitaria, piso rustico, deficiente sistema eléctrico y terminado en obra negra.	Dos habitaciones, sala-comedor, cocina, unidad sanitaria, sistema eléctrico y acabado en obra blanca.
Mantenimiento preventivo	Ninguno	Método de inyección por canuto, de diez (10) quince a (15) centímetros de ácido bórico y bórax, en un intervalo de tiempo de cada dos (2) años.
Valor m² (2011)	\$ 300.000	\$ 289.063
Registro fotográfico	 <p>Casa Modelo Convencional</p>	 <p>Casa Modelo Centenario</p>

Tabla. 3: Ficha Técnica Modelo Constructivo Convencional Vs Modelo Constructivo Sostenible.

Se puede evidenciar que el sistema constructivo sostenible presenta un alto impacto ambiental positivo al utilizar recursos naturales renovables, cosecha de aguas lluvias, y optimización energética por iluminación y ventilación. Así mismo, se evidencia que este tipo de proyecto presenta una mayor área construida en el mismo periodo de ejecución.

El indicador económico de pesos por metro cuadrado construido es ligeramente menor. Presentando esto una gran ventaja para proyectos de grandes superficies.

Tiene como precaución el mantenimiento periódico que se le debe realizar a la estructura en guadua para prolongar su vida útil.

2.3 Análisis variables bioclimáticas

Las mediciones de temperaturas máximas y mínimas promedio encontradas en el Proyecto Centenario se presentan en la Tabla 4:

Modelo Constructivo Convencional			Modelo Constructivo Sostenible		
T° Máx. Pro. Ext.	T° Máx. Pro. Int.	Confort Térmico	T° Máx. Pro. Ext.	T° Máx. Pro. Int.	Confort Térmico
41	39	2	41	33	8
T° Mín. Pro. Ext.	T° Mín. Pro. Int.	Confort Térmico	T° Mín. Pro. Ext.	T° Mín. Pro. Int.	Confort Térmico
15	15	0	15	18	-3

Tabla 4. Comparación de Temperaturas máximas y mínimas en 24 horas

Se puede observar que el sistema constructivo sostenible tiene mayor confort térmico en horas del día al encontrar una variación de 8°C entre la temperatura exterior y el interior de la vivienda. En horas de la noche se evidenció una mayor calidez al interior de la vivienda con una diferencia de 3°C más cálido en relación a la temperatura exterior. El modelo constructivo convencional no presenta variación significativa de temperaturas máximas y mínimas al interior y exterior de la vivienda durante el día y la noche.

El análisis de las variables de temperatura máxima y mínima modelo constructivo sostenible y modelo constructivo convencional se presentan en la Figura. 4:

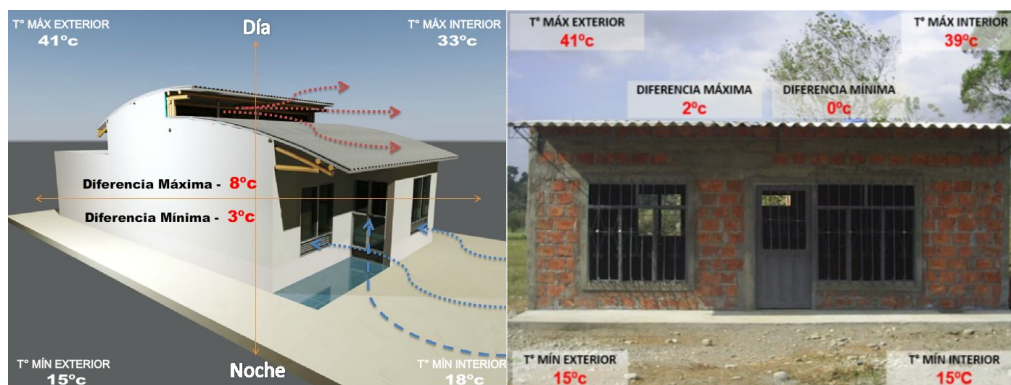


Figura 4. Análisis variables temperatura Máximas y Mínimas modelo constructivo sostenible y modelo constructivo convencional

Las mediciones de temperaturas ambiente promedio y humedad relativa encontradas durante las horas luz (08:00 Am - 05:00 Pm) en el Proyecto de Vivienda Centenario se presentan en la Tabla 5:

Modelo Constructivo Convencional			Modelo Constructivo Sostenible		
T° Pro. Ext.	T° Pro. Int.	Confort Térmico	T° Pro. Ext.	T° Pro. Int.	Confort Térmico
28,5	27	1,5	28,5	25,9	2,6
Hum. Ext.	Hum. Int.	Confort	Hum. Ext.	Hum. Int.	Confort
66,8	63,1	3,7	66,8	62,4	4,4

Tabla 5. Variación de Temperatura y Humedad en Horas día (08:00 Am - 05:00 Pm)

En el análisis de las variables temperatura ambiente y humedad relativa en horas luz (08:00 Am a 05:00 Pm) se evidencio que para la vivienda sostenible la diferencia de temperatura ambiente promedio fue de 2.6°C más fresco el interior de la vivienda y la humedad relativa del 4.4% más seco al interior de la vivienda. Para la vivienda convencional la temperatura ambiente promedio y humedad relativa fue de: 1.5°C y 3.7%, lo que significa que existe mayor confort en una vivienda con diseño sostenible. (Ver Figura 5)



Figura 5. Análisis variables temperatura ambiente y humedad relativa modelo constructivo sostenible y modelo constructivo convencional

Referencias bibliográficas

- Gordillo *et al.*, 2010. Pautas para la construcción sostenible en Colombia, Bogotá - Cali - Medellín, Universidad Colegio Mayor de Cundinamarca: 64-74 2010.
- Ministerio de Ambiente, vivienda y desarrollo territorial, 2010. Reglamento colombiano de construcción sismo resistente NSR-10, Bogotá D.C 2010: Capítulo E.7 – Título G.

RIQUEZA Y DIVERSIDAD VEGETAL DE LOS BOSQUES DE GUADUA. APORTES PARA SU RESTAURACIÓN Y CONSERVACIÓN. ESTUDIOS DE CASO EJE CAFETERO DE COLOMBIA.

Ramírez Díaz, F., Camargo, J.C

Universidad Tecnológica de Pereira. framirezdiaz@utp.edu.co. jupipe@utp.edu.co

Introducción

El uso de la tierra define mosaicos paisajísticos constituidos por espacios naturales y antrópicos que varían de modo dinámico en forma, tamaño y disposición (Forman y Godron, 1986; Krummel et al. 1987); los patrones espacio-temporales de estos mosaicos son resultado de complejas interacciones entre factores físicos, biológicos, sociales y económicos (Urban et al., 1987) y sugieren una relación entre la configuración espacial de dichos espacios y sus procesos ecológicos (O' Neill et al., 1988).

La cada vez más creciente intervención humana sobre los paisajes y la fragmentación del hábitat representa una de las mayores amenazas para la biodiversidad en todo el mundo (Noss, 1987; Wilcox y Murphy, 1985). Esto puede atribuirse a una reducción progresiva del hábitat natural o como consecuencia de su división en pequeños espacios aislados, que derivan en la falta de continuidad del mismo (Noss y Cooperride, 1994).

Con la fragmentación y destrucción de un hábitat se produce un cambio progresivo en la configuración del paisaje que puede definirse adecuadamente mediante las tendencias de cinco variables paisajísticas: cantidad de hábitat, densidad regional de especies, número de fragmentos de hábitat, tamaño medio de los fragmentos y distancia entre fragmentos. Estas variables están interrelacionadas, cambian de manera simultánea y tienen, en conjunto, una incidencia perniciosa sobre la supervivencia de las especies afectadas (Saunders et al., 1991; Andrén, 1994; Fahrig, 2003):

1. Pérdida regional en la cantidad de hábitat, con la consiguiente reducción del tamaño de las poblaciones de los organismos afectados. En consecuencia, disminuye la densidad regional de las especies.
2. Disminución del tamaño medio de los fragmentos y aumento del número de los fragmentos de hábitat resultantes. Esto reduce progresivamente el tamaño de las poblaciones de cada uno de los fragmentos, lo cual aumenta el riesgo de que alcancen un umbral por debajo del cual son inviables.
3. Aumento de la distancia entre fragmentos, lo que dificulta tanto el intercambio de individuos entre las poblaciones aisladas como la restauración, por recolonización, ante una eventual extinción.
4. Aumento de la relación perímetro/superficie y una mayor exposición del hábitat fragmentado a múltiples interferencias procedentes de los hábitats periféricos, lo que ocasiona un creciente efecto de borde que deriva en un deterioro de la calidad del hábitat en regresión, afectando a la supervivencia de las poblaciones ubicadas en los fragmentos.

En la zona cafetera colombiana entre los 900 y los 2000 msnm, los bosques dominados por las especies de bambú *Guadua angustifolia* representan la cobertura boscosa más importante, especialmente cerca de los cuerpos de agua, o en zonas de drenaje en temporada de lluvias, y donde la topografía no permite la actividad agrícola. Estos bosques suman alrededor de 28000 ha en esta región (Kleinn y Morales, 2006) y a pesar de su alto grado de fragmentación, proveen beneficios como la protección del suelo, la regulación hídrica y hábitat para la biodiversidad, entre muchos otros, lo que los convierte en escenarios importantes para la vida de la región (Camargo et. al., 2011). Así mismo, estos bosques son fuente de madera para diversos usos, son cosechados a diferentes intensidades desde hace varios años, como una alternativa de producción para obtener el sustento y mantener el nivel de vida de las comunidades campesinas vinculadas a esta región (Camargo et. al., 2007).

No obstante sus características de fragmentación, que implican por ejemplo fragmentos en su mayoría menores de 5 ha (Camargo y Cardona 2005), estos bosques deben ser vistos como un conjunto escenarios inscritos en paisajes heterogéneos a nivel regional; en que favorecen la conservación de la biodiversidad y reguladores de los efectos de las actividades productivas propias de la región, causantes en la mayoría de los casos de la pérdida de la diversidad biológica (Noss, 1987). La diversidad incorpora dos elementos, riqueza de especies que indica el número de especies dentro de una comunidad, y abundancia que se refiere al nivel de participación de cada especie en la comunidad, (Jaksic y Marone, 2007).

Con el propósito de contribuir al conocimiento de la biodiversidad de los bosques de *Guadua*, en este trabajo se evaluó la riqueza y la abundancia de especies vegetales, asociadas a bosques con diferentes niveles de manejo ubicados en dos sitios de la región Andina de Colombia.

Ubicación del área de estudio y localización geográfica de los fragmentos

La investigación se realizó en dos sitios. El primero, la hacienda Yarima, ubicada en la vereda Los Planes, Pereira; posee 27,3 ha de bosques naturales de *guadua*., que para fines de manejo y de acuerdo a su ubicación espacial se han definido en tres rodales de 11, 6 y 10 ha. La finca se encuentra ubicada a 1150 msnm, la suroeste del municipio de Pereira, los suelos donde están ubicados los bosques de *guadua*, en su mayoría son inceptisoles ligeramente ácidos, la temperatura media es de 22°C y la precipitación promedio anual de 2500 mm.

El segundo sitio, fue el Núcleo Forestal de *Guadua* La Esmeralda NFGLE, ubicado en la vereda La Esmeralda, Corregimiento de Pueblo Tapao, Municipio Montenegro. Conformado por 8 predios que cuentan con un área total de 187,78 ha, de las cuales 11,3 ha (6%) están cubiertas por bosques de *guadua*. El área calculada en *guadua* está representada en dos rodales distribuidos en lote uno (1) en los predios Guadualito, La Esmeralda, La Manuela y El Bambusal con un área de 3,6 ha equivalente al 43 % del área total en *guadua* y el lote dos (2) con los predios La Negrita, La Manila y El Volga con un área de 7,7 ha equivalente a 57 % del área total en *guadua*. Estas fincas se encuentran ubicadas a 1200 m, con pendientes entre el 7 y el 12 %, con una temperatura media anual de 24 °C y una precipitación media de 1600 mm/año.

Establecimiento de las parcelas dentro de los fragmentos de bosque

Las zonas cubiertas por bosques de guadua fueron mapeadas en los dos sitios. Sobre las mismas áreas, mediante el uso del software ArcMap, se dispuso una grilla con parcelas cuadradas de 10 m x 10 m (100 m²). Posteriormente de manera aleatoria se seleccionaron 46 parcelas correspondientes a rodales productivos certificados y cinco (5) parcelas de un rodal con aprovechamiento de guadua no certificados; para el NFGLE se escogieron 33 parcelas de los rodales productivos certificados y cinco (5) parcelas de un rodal con aprovechamiento no certificado. El muestreo de diversidad se realizó según la metodología de Gentry (1982) con las adaptaciones propuestas por Villarreal et. al. (2006) en el Manual de métodos para el desarrollo de inventarios de biodiversidad.

Periodicidad de los muestreos

Se realizaron cuatro muestreos entre diciembre de 2012 y octubre de 2013, que cubrieron la totalidad de un ciclo anual de distribución de lluvias.

Resultados y Discusión

Para la Hacienda Yarima y el Núcleo Forestal La Esmeralda se encontraron alrededor de 73,000 individuos en conteos de plantas entre herbáceas, arbustivas y arbóreas, correspondientes a 67 familias botánicas, constituidas por 197 géneros. El 88,32 % de las familias tienen dos géneros o más. Las familias Moraceae, Rubiaceae, Solanaceae y Araceae fueron las más abundantes con 12, 12, 11 y 9 géneros respectivamente (figura 1).

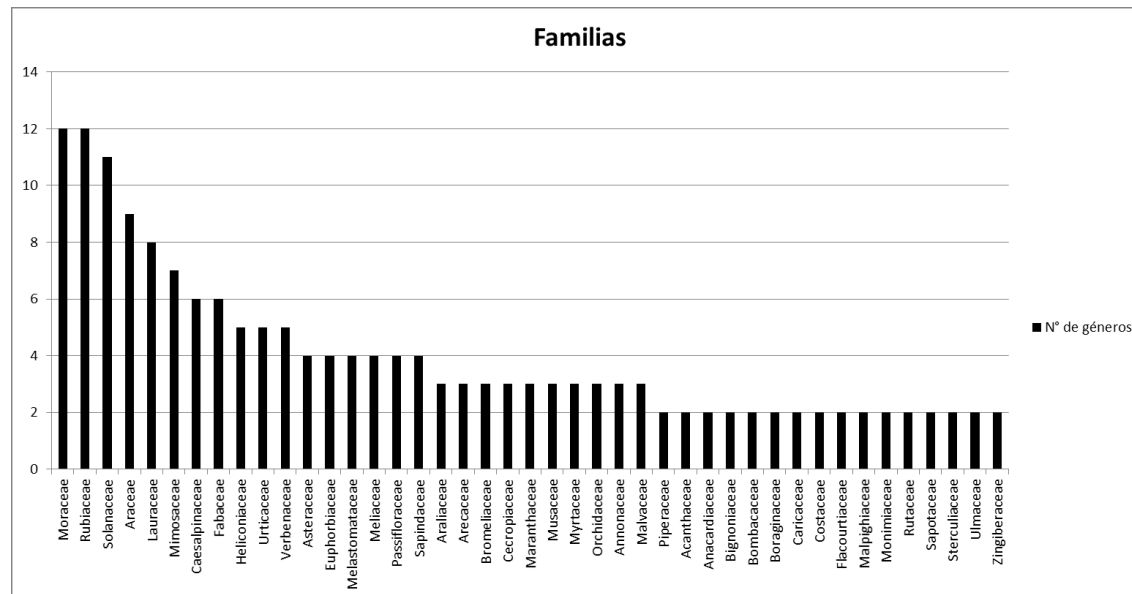


Figura 1. Familias botánicas con presencia de dos géneros o más, hallados en los bosques de guadua pertenecientes a la Hacienda Yarima y el Núcleo Forestal de Guadua La Esmeralda, en Colombia.

La mayor abundancia pertenece a la familia Araceae, con el 49,5 % de los registros, dentro de los cuales se destaca la presencia del género *Arisaema* sp. (Foto 1) y la especie *Anthurium digitatum* (Jacq.) Schott. Relevante en este estudio es también la presencia de las familias Orchidaceae y

Bromeliaceae. En cuanto a la familia Orchidaceae, las tres especies encontradas son *Galeandra beyrichii* Rehb.f. (1850) (Foto 2), *Trizeuxis falcata* Lindl., Coll. Bot.: t. 2 (1821) y *Erythroides hirtella* (Sw.) Fawc. & Rendle. Estas cinco (5) especies tienen un importante valor científico que exige un seguimiento y cuidado para su conservación.

También es de destacar la presencia de plantas con un importante valor comercial, particularmente especies pertenecientes al orden Zingiberales, como el caso de la especie *Zingiber spectabile* Griff. 1754. (foto 3), o especies de la familia Araceae, entre otras.

Conclusiones

Conciliar los procesos productivos asociados al aprovechamiento de la guadua con el cuidado y conservación de la enorme diversidad vegetal en ellos contenida, es el reto que deben asumir los productores locales y regionales.

Esta diversidad no solo es un elemento que tiene un valor científico, sino también representa la posibilidad de crear estrategias de aprovechamiento comercial de especies vegetales que están incorporadas a los guaduales, a la vez que favorece la calidad del ecosistema en términos de diversidad biológica, lo cual en últimas favorece el cultivo de la guadua y mejora la producción de manera significativa.

No obstante la necesidad de generar procesos productivos al interior de los guaduales, se hace necesario plantear estrategias que garanticen la sostenibilidad de la diversidad vegetal en ellos presente, puesto que la dinámica que registran tanto en diversidad de especies como en abundancia, permiten visibilizar unos ecosistemas, a la vez que frágiles, vitales en la constitución del mosaico paisajístico de la zona cafetera colombiana.

Referencias bibliográficas

- Andrén, H. 1994. Effects of habitat fragmentation on birds and mammals in landscapes with different proportions of suitable habitat: a review. *Oikos* 71: 355-366.
- Camargo, J.; Rodríguez, J.; Niño, J.; Mosquera, O.; Ríos, A.; Cortés, Y.; Quintero, H.; Henao, E.; Monroy, M.; Arango, A. , Suárez J. 2011. Desarrollo tecnológico para optimizar la calidad de los productos obtenidos de bosques de guadua: definiendo la madurez de los culmos y mejorando los procesos de organización. Pereira, Colombia. COLCIENCIAS, Universidad Tecnológica de Pereira y GATA. 138 p.
- Camargo, J.; García, J., Morales, T. 2007. Bases para la planificación y manejo silvicultural de bosques de guadua: una aplicación a nivel de finca en la zona cafetera de Colombia. Pereira, Colombia. COLCIENCIAS, Universidad Tecnológica de Pereira y GATA. 88 p.
- Camargo, J.C. Cardona, G. 2005. Análisis de fragmentos de bosque y guaduales. Enfoques silvopastoriles integrados para el manejo de ecosistemas. CIPAV-CATIE-BANCO MUNDIAL-GEF-LEAD. Unpublished project report. Pereira, Colombia. 38p.
- Fahrig, L. 2003. Effects of habitat fragmentation on biodiversity. *Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics* 34: 487-515.
- Forman, R., Godron, M. 1986. *Landscape ecology*, New York, John Wiley and Sons, 619 pp.
- Gentry, A. 1982. Patterns of Neotropical plant diversity. *Evolutionary Biology* 15: 1-84.

- Jaksic, F. & Marone, L. 2007. Ecología de Comunidades. Segunda edición ampliada. Ediciones Universidad Católica de Chile, Santiago de Chile. 336 p.
- Kleinn, C. & Morales, D. 2006. An inventory of Guadua (*Guadua angustifolia*) bamboo in the Coffee Region of Colombia. Eur J Forest Res. 125 (4) : 362-368
- Krummel, J.; Gardner, R.; Sugihara, G. & O'Neill, R. 1987, Landscape patterns in a disturbed environment, Oikos. 48:321-324.
- Noss, R. F. 1987. Protecting natural areas in fragmented landscapes. Natural Areas Journal. 7: 2-13.
- Noss, R. & Cooperrider, A. 1994. Saving Nature's Legacy. Protecting and restoring biodiversity. Editor: Defenders of Wildlife. 415 pp.
- O' Neill, R.V.; Krummel, J.R.; Gardner, R.H.; Sugihara, G.; Jackson, B. et al. 1988. Indices of landscape pattern. Landscape Ecology. 1:153 -162.
- Saunders, D.A., Hobbs, R.J., Margules, C.R.. 1991. Biological consequences of ecosystem fragmentation: A review. Conservation Biology 5: 18-32
- Urban, D.; O' Neill, R., Shugart, H. 1987. Landscape ecology, a hierarchical Perspective. BioScience. 37: 119-127.
- Villarreal H.; Álvarez, M.; Córdoba, S.; Escobar, F.; Fagua, G.; Gast, F.; Mendoza, H.; Ospina, M., Umaña, A. 2006. Manual de métodos para el desarrollo de inventarios de biodiversidad. Programa de Inventarios de Biodiversidad. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá, Colombia. 236 p.
- Wilcox, B., Murphy, D. 1985. Conservation strategy: The effects of fragmentation on extinction. American Naturalist 125: 879-887.

MODELO PARA EL ANÁLISIS DE LOS PARÁMETROS EDAFOCLIMÁTICOS Y CONDICIÓN MICORRIZAL SOBRE LA PRODUCTIVIDAD DE GUADUALES NATURALES EN CUNDINAMARCA-COLOMBIA

Bryann Esteban Avendaño-Uribe^a, Daniel Castillo-Brieva^b Lucía Ana Díaz^c

^aFacultad de Estudios Ambientales y Rurales. Pontificia Universidad Javeriana.

b.avendano@javeriana.edu.co

^bDepartamento de Desarrollo Rural y Regional. Facultad de Estudios Ambientales y Rurales.

Pontificia Universidad Javeriana. d.castillo@javeriana.edu.co

^cFacultad de Ciencias. Pontificia Universidad Javeriana. luciaana@javeriana.edu.co

Palabras Clave: Micorrizas, Guadua, Modelamiento dinámico, Suelo, Silvicultura.

Resumen

Se elaboró un modelo dinámico para explicar la productividad de guaduales naturales expresado en número de guadas por hectárea al año que responden a las características exigidas por el mercado para su aprovechamiento. Se utilizaron variables del suelo, climáticas y de condición micorrizal evaluadas en el proyecto: “*Manejo Integrado del cultivo de la guadua, establecido bajo sistemas de producción limpia, en regiones con potencial productor del departamento de Cundinamarca, Colombia*”. Se simularon las condiciones de dos fincas de la región andina y como resultado el modelo logró ser una herramienta útil en la predicción de lugares aptos para el cultivo de la *Guadua angustifolia* Kunth, permitiendo integrar las características de sitio con la actividad de los hongos de micorriza asociados naturalmente a esta planta, para estimar su influencia en la productividad. Esta herramienta podría ser útil en la planificación del manejo de productores y campesinos en la región.

Abstract

We develop a dynamic model to explain the productivity of natural guaduals expressed in the number of plants per hectare per year that meet the characteristics required by the market for its user. The model used the variables of soil, climate and mycorrhizal condition evaluated in the project: “*Integrated Management of bamboo cultivation, established under clean production systems in regions with potential producers of the department of Cundinamarca, Colombia*”. The conditions of two farms in the Andean region were simulated, as a result, this model was able to be a useful tool in predicting places for the cultivation of *Guadua angustifolia* Kunth. Allowing integrate site features with the activity of mycorrhizal fungi naturally associated with this plant,

to estimate their influence on productivity, useful in planning the management of producers and farmers in the region.

Introducción

Dentro de las bambusoides nativas con mayor representación en los andes colombianos, está la *Guadua angustifolia* Kunth (Guadua) (Londoño, 1990). La Guadua ha sido reconocida entre otras características por su importancia en la conservación del suelo y en la captura de carbono (Camargo, 2006; Londoño, 2011). Un aspecto sobre la ecología de la Guadua que normalmente se ignora en su estudio, es la capacidad de esta especie de formar micorriza arbuscular (Díaz et al., 2013; Buendía, 1990). La Guadua forma esta simbiosis de manera natural, y la presencia de estos hongos ha sido reportada en diferentes regiones del país (López & Díaz, 2008; Díaz, *et al*, 2013). En Cundinamarca, departamento con potencial productor, se han abordado estudios a nivel técnico-científicos que incluyen la caracterización climática, edáfica y biológica de rodales naturales para su manejo dentro de iniciativas silviculturales en la región (Díaz et al, 2012). Pese a estos avances, aún no se cuenta con una propuesta metodológica que integre las variables edáficas, climáticas y de condición micorrizal para explicar la dinámica de su interacción y cómo afecta en la productividad de guaduales naturales en Cundinamarca. Se propuso entonces generar un modelo para explicar la productividad de éstos en términos del número de culmos aprovechables por hectárea al año (DAP > 15 cm) (Londoño et al, 2011). El objetivo de este trabajo es analizar a través de un modelo conceptual, la interacción de variables edáficas, climáticas y de condición micorrizal con la productividad de guaduales naturales en un municipio con potencial productor del departamento de Cundinamarca-Colombia.

Metodología

Se utilizaron las bases de datos disponibles de las variables medidas en el programa de investigación: “*Manejo Integrado del cultivo de la guadua*” financiado por la Pontificia Universidad Javeriana, Geoambiente Ltda. y la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca en el marco de los programas de investigación sobre cadenas productivas del Ministerio de Agricultura y Desarrollo rural en la plaza abierta para proyectos de investigación I+D en Colombia. Se tomaron mediciones de las variables de crecimiento de la planta, variables fisicoquímicas del suelo, datos del clima medidos en campo y variables correspondientes a la condición micorrizal de la Guadua. Se estudió cada relación posible de la totalidad de las 37 variables medidas, se priorizaron las variables utilizando análisis factorial y análisis de componentes principales y se realizaron correlaciones múltiples con rangos de Spearman, lo que permitió elegir las variables que se utilizarían en la fase de modelamiento.

Modelo conceptual

Se elaboró un modelo conceptual siguiendo la metodología del protocolo propuesto por Grant (Grant & Swannack, 2008). El modelo se organizó en dos sectores, el primero explica la relación entre la dinámica de las variables edafoclimáticas y condición micorrizal con la variable de crecimiento, que para el caso de las mediciones experimentales fue el DAP. Por lo tanto, el modelo simula el efecto que tienen estas variables sobre la variable respuesta: Productividad 1 o crecimiento en DAP. El segundo sector muestra la dinámica de cambio de las Guaduas en sus cinco estados de desarrollo (Castaño & Moreno, 2004), utilizando como condición inicial el número de Guaduas en estado renuevo, juvenil, maduro, sobremaduro y seco y calculando una tasa de cambio de crecimiento de la especie. En su orden: 1 semestre paso de Renuevo-Juvenil, 1.8 semestres de Juvenil a Maduro, 2.8 semestres de Maduro a Sobremaduro y 1.5 semestres de Sobremaduro a Seco. Finalmente, el modelo selecciona las Guaduas que cumplen con el criterio de utilidad guiado por el sector 1 o Productividad 1, es decir, $DAP > 15$ y se propuso una ecuación para esta condicional. Luego las Guaduas que logran ser seleccionadas en este filtro del modelo, se acumularon en la segunda variable respuesta Productividad 2 (Figura 1).

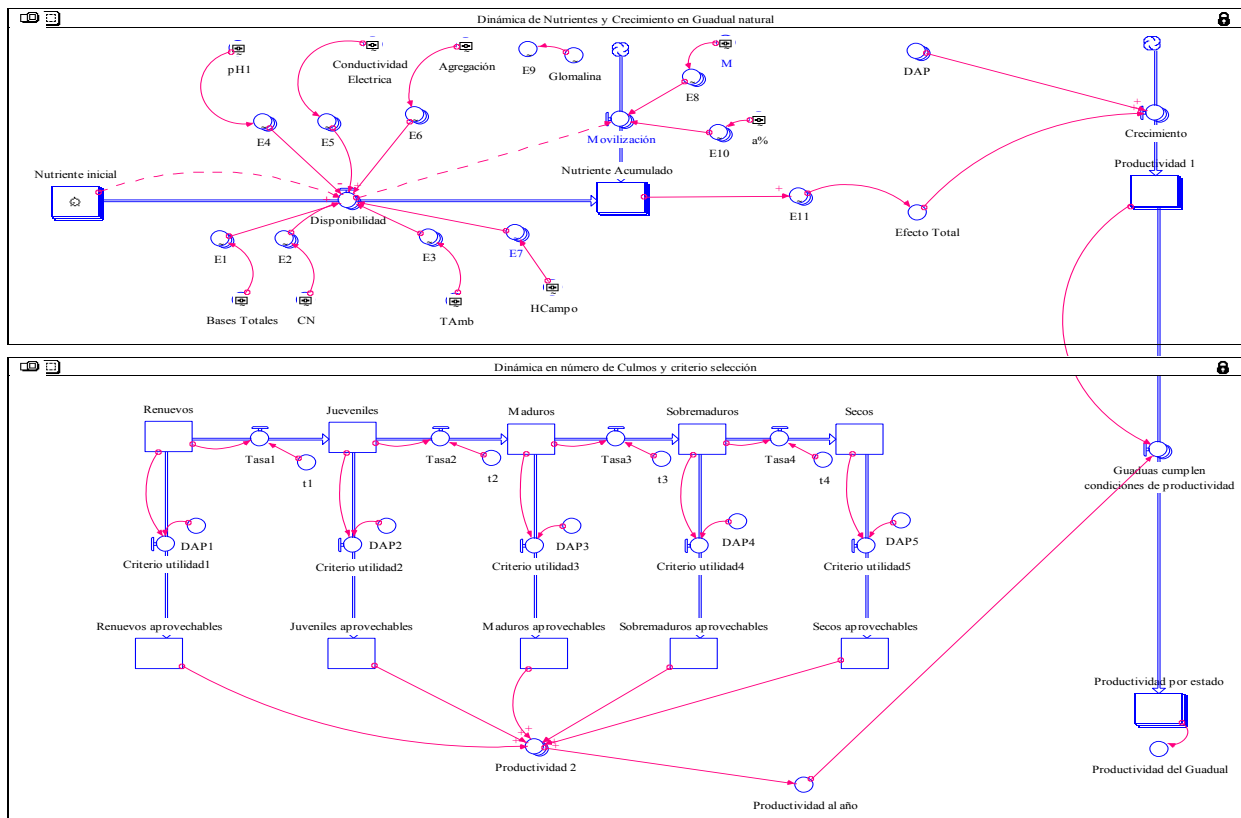


Figura 1. Modelo conceptual que relaciona los parámetros edafoclimáticos y la condición micorrizal con la productividad de Guaduales naturales¹³.

¹³ Para conocer la elaboración matemática del modelo, las asunciones que cumple y las simulaciones realizadas para llegar a los resultados de productividad, referirse a: (Avendaño-Urbe, Díaz & Castillo, 2012).

Evaluación del modelo

Se ejecutó una línea base de simulación con las variables seleccionadas, elegidos de manera que la salida cumpliera el valor esperado según los estudios experimentales previstos para otras regiones del país (Camargo, 2006; Castaño & Moreno, 2004). Luego se compararon las correspondencias del comportamiento del modelo con sus patrones esperados y la fiabilidad de las proyecciones del modelo con los datos del sistema real, evaluado en la fase experimental del proyecto (Sterman, 2000; Jørgensen & Bendoricchio, 2001). Se efectuaron 12 simulaciones de prueba al modelo para determinar la sensibilidad de las proyecciones

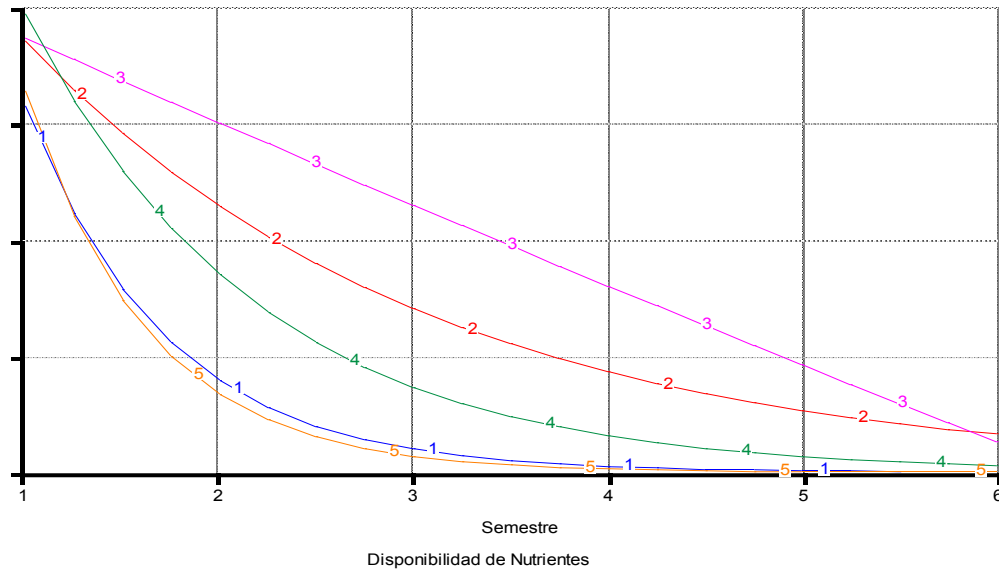
Resultados y Discusión

Análisis variables: Los análisis de depuración de las variables permitieron seleccionar algunas correspondientes a clima (temperatura ambiental, precipitación y humedad), edáficas (pH, agregación, relación carbono-nitrógeno C/N, contenidos de P, K, N, Mg, Ca y Na, y conductividad eléctrica) y condición micorrizal (intensidad de Micorrización en el sistema radical M% y abundancia de estructuras como ensortijados de micorriza en los fragmentos micorrizados (a%) según Trouvelot et al, 1986). De manera que seis factores aportan el 73,74% de la varianza (Alfa Cronbach 0,795).

Estructura del Modelo: En el modelo se logran apreciar las interacciones entre las variables edáficas y climáticas (Figura 1-Sector 1), que tienen un efecto calculado por la sumatoria de los efectos de cada variable en la disponibilidad de cada nutriente (Figura 2), dispuesto en un arreglo del stock inicial: P, N, K, Mg, Ca y Na, según la ecuación:

$$\text{Disponibilidad} = \text{Nutriente}_{\text{inicial}[\text{Nutriente}]} * E1[\text{Nutriente}] * E4[\text{Nutriente}] * E2[\text{Nutriente}] * E5[\text{Nutriente}] * E6[\text{Nutriente}] * E3[\text{Nutriente}] * E7[\text{Nutriente}]$$

1: Disponibilidad[Fósforo] 2: Disponibilidad[Nitrógeno] 3: Disponibilidad[Potasio] 4: Disponibilidad[Magnesio] 5: Disponibilidad[Calcio]



Page 1

?

Figura 2. Efecto de las variables edáficas y climáticas sobre la disponibilidad diferencial de cada nutriente.

La condición micorrizal tiene un efecto adicional en la Movilización de los nutrientes (Figura 3) y esta actividad junto con la disponibilidad, interactúa en la acumulación del nutriente en el suelo, dado que la simbiosis permite la movilización de elementos solubles hacia la raíz de la planta hospedera (Nesme et al., 2014).

El efecto que tiene la acumulación de nutrientes en el modelo sobre la producción de biomasa por parte de la planta, medida en crecimiento por el diámetro a la altura del pecho (Camargo, 2006), permite según las asunciones del modelo, encontrar una relación positiva en la cantidad de nutrientes con respecto a la producción de biomasa y productividad - DAP de la Guadua (Figura 4).

Dado los efectos de cada uno de los nutrientes (P, K, N, Ca, Mg y Na), se calcula el efecto en la productividad 1 y resulta la ecuación:

$$Efecto\ total = (E11[P] + E11[N] + E11[K] + E11[Mg] + E11[Ca] + E11[Na]) - Error \quad (4.4)$$

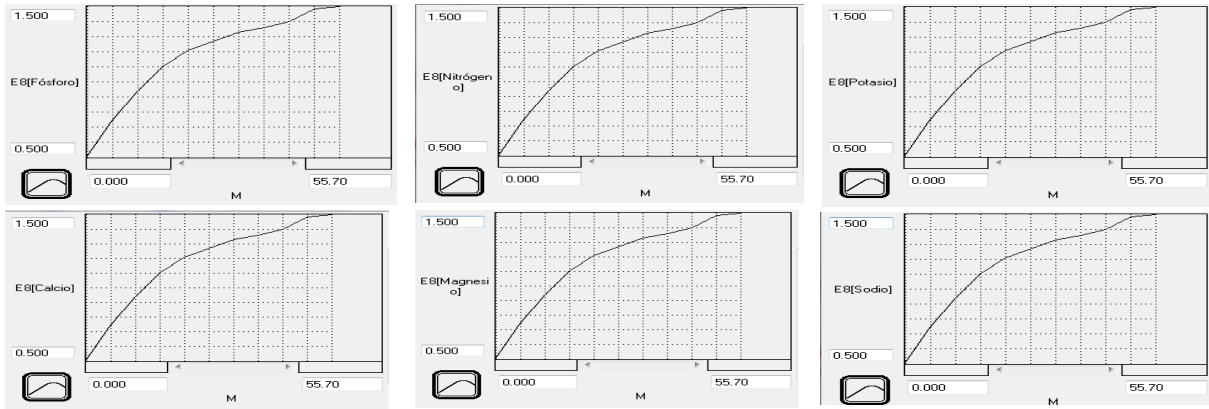


Figura 3. Efecto la intensidad de micorrización M% sobre la disponibilidad de P, K, N, Ca, Mg y Na, respectivamente.

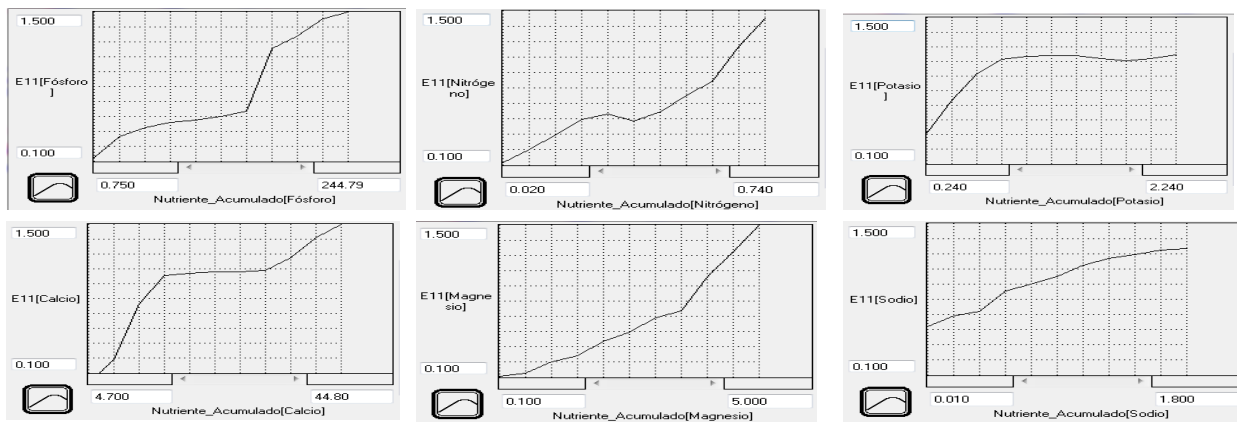


Figura 4. Efecto hipotético que tendría cada nutriente sobre la biomasa (DAP).

El segundo sector en la estructura del modelo (Figura 1-Sector 2) para simular la Productividad 2 en número de Guaduas por hectárea al año producidas en el ecosistema, inicia con el cálculo de las tasas de cambio desde Renuevo, Juvenil, Maduro, Sobremaduro hasta Seco. El cálculo proviene de los trabajos previos de Castaño & Moreno (2004;), estas tasas de referencia para calcular el paso de un estado de desarrollo a otro semestralmente con la fórmula general:

$$Tasa_{estado\ x\ a\ x+1} = \left(\frac{\text{Número guaduas en estado } x}{tasa\ referencia_{estado\ x\ a\ x+1}} \right)$$

Se aplicó un criterio de selección para cada Guadua por estado de desarrollo. Esta parte del modelo, sugiere ser la más innovadora respecto al resto de modelos sobre tasas de cambio y productividad en número de culmos en el tiempo y el espacio, dado que con el criterio de selección el modelo no solamente simula la situación del guadual en términos del número de Guaduas, sino que calcula aquellas que son útiles para hacer un aprovechamiento responsable del mismo (Camargo et al, 2007).

$$\text{Criterio utilidad} = \text{IF } [DAP] > 15 \text{ THEN } [Guadua\ aprovechable] \text{ ELSE } [0]$$

El número de Guaduas sumadas como aprovechables serán la Productividad 2 y ésta sumatoria a tres años, se divide en tres (3) para que la variable respuesta neta de Productividad 2 al año se exprese en unidades de número de Guaduas por hectárea al año:

$$\text{Productividad 2} = \text{ARRAYSUM}[\#Guaduas\ aprovechables_{(estado)}]$$

$$\text{Productividad 2 al año} = [\text{Productividad 2}/3]$$

Finalmente, la productividad del Guadual se calcula como:

$$\beta = \left[\sum_{e=1}^6 \frac{\text{Individuos}}{\text{Subparcela/Semestre}} * \frac{1\text{Subparcela}}{100\text{ m}^2} * \frac{100\text{m}^2}{\text{ha}} * \frac{2\text{ semestres}}{1\text{ año}} \right]$$

Se encontró que la agregación del suelo, el pH y la humedad del suelo son los parámetros que tienen una mayor influencia en estas diferencias numéricas y a su vez la micorriza tipo M%, presenta un efecto diferencial a la hora de comparar el efecto de los nutrientes sobre Productividad 1 (Figura 5). Esto concuerda con la literatura con lo que afirman Gliessman (2007) y Rilling & Mummey (2006).

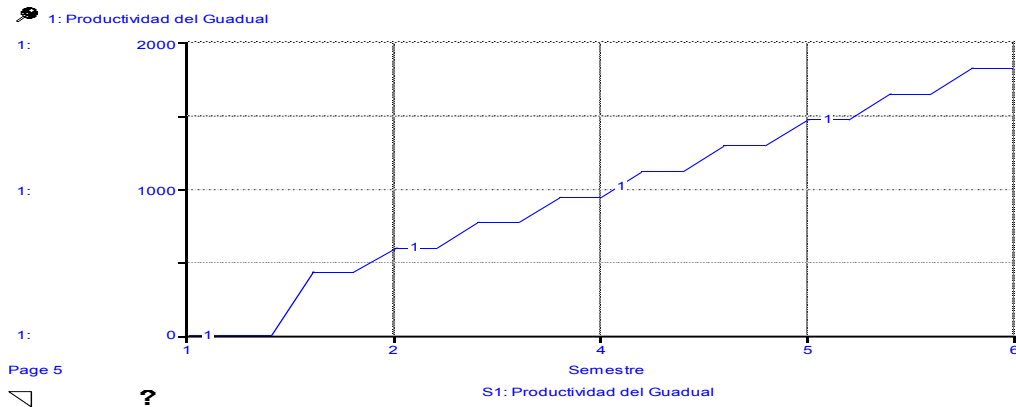


Figura 5. Productividad de Guadales naturales de Pacho, simulada bajo condiciones del modelo.

Bajo las condiciones estudiadas de las variables en Pacho, Cundinamarca la productividad alcanzó 2346 Guaduas por Hectárea al año, cantidad de guaduas que hasta ahora no ha sido encontrada en Cundinamarca, pero que el modelo sugiere con los datos experimentales de la parcela 11, predecir bajo los parámetros edafoclimáticos y de condición micorrizal de la región.

Conclusión

El modelo funcionó como herramienta predictiva sobre la productividad de los guaduales, en términos del número de culmos por hectárea al año, que cumplieran con las condiciones de diámetro exigidas para su aprovechamiento comercial. La variable micorrización resultó con alto poder explicativo sobre la productividad. Se sugiere alimentar el modelo con resultados experimentales de otros municipios de Cundinamarca y socializar los resultados con productores de la región.

Referencias bibliográficas

- Buendía, M. 1990. Identificación de micorrizas asociadas con guadua (*Guadua angustifolia* Kunth) presente en tres climas del Quindío. Trabajo de grado Ingeniería Forestal. Universidad del Tolima. Ibagué-Tolima, Colombia. 82 p.
- Camargo, J.C. 2006. Growth and productivity of the bamboo species *Guadua angustifolia* Kunth in the coffee region of Colombia. PhD Tesis. Göttingen, Alemania: Universidad de Göttingen.

- Camargo J.C., Morales T., García J.H. 2007. Bases para la planificación y manejo silvicultural de bosques de guadua: Una aplicación a nivel de finca en la zona cafetera de Colombia. Ed:Postergraph Sa ISBN: 978-958-8272-78-8 v. 1. 86 p.
- Castaño, F., Moreno, R. 2004. Guadua para Todos, Cultivo y Aprovechamiento. Bogotá. Colombia: Panamericana Formas e Impresos S.A.
- Diaz-Ariza L.A, García A, Fernández K, Suarez D, Sandoval W, López F, Herrera C, Murillo M. 2013. Mycorrhizae in the Colombian giant bamboo. 7th International Conference on Mycorrhiza ICOM 7 “Mycorrhiza for All: An Under-Earth Revolution. New Delhi, India. Enero 6-11
- Díaz, L. A., García, Á., Sandoval, W., Avendaño-Uribe, B. E. 2012. ¡A producir guadua en Cundinamarca! Bogotá, D.C, Colombia: Pontificia Universidad Javeriana.
- Gliessman, S. R. 2007. Agroecology: The ecology of sustainable Food Systems. California, USA: CRC Press Taylor & Francis Group.
- Grant, W., Swannack, T. 2008. Ecological Modeling: A common-sense approach to Theory and Practice. Malden, MA, USA. Blackwell Publishing .
- Jørgensen, S., Bendricchio, G. 2001. Fundamentals of Ecological Modelling .Third Edition ed.. Kidlington, Oxford. U.K: Elsevier.
- Londoño, X. 1990. Aspectos sobre la distribución y la ecología de los bambúes de Colombia (Poaceae: Bambusoideae). 77(16), 139-153.
- Londoño, X. 2011. El bambú en Colombia. (S. C. Bambú, Ed.) Biotecnología Vegetal, 11(3), 143- 154.
- Londoño, X., Muñoz, J., & Rugeles, P. 2011. Selección de materiales superiores de *Guadua angustifolia* Kunth en el Eje cafetero de Colombia. Cali, Colombia: FERIVA S.A.
- López, F., Díaz, L. 2008. Micorrización en *Guadua angustifolia* y *Cynodon* sp. En la zona cafetera de Colombia. En VI Congreso Latinoamericano de Micología. Libro de Resúmenes. (pág. 374). Buenos Aires, Argentina: Asociación Latinoamericana de Micología.
- Nesme, T, Colomb, B, Hinsinger, P., Watson C A.2014. Soil Phosphorus Management in Organic Cropping Systems: From Current Practices to Avenues for a More Efficient Use of P Resources. En Organic Farming, Prototype for Sustainable Agricultures. Bellon S., Penvern S ed. Spinger Link.
- Rilling, M., Mummey, D. 2006. Mycorrhizas and soil structure. New Phytologist (171), 41-53.
- Serman, J. 2000. Business Dynamics: Systems Thinking and Modeling for a Complex World. Massachussets, USA: Irwin/McGraw-Hill.
- Trouvelot, A., Kough, J., Gianinazzi-Pearson, V. 1986. Mesure du taux de mycorrhization VA dun système racinaire. Recherche de méthodes d'estimation ayant une signification fonctionelle. In: Gianinazzi-Pearson, V. y S. Gianinazzi (Eds), Physiological and genetical aspects of mycorrhizae, INRA presse .Paris. France. Pp 217-221.