

El Bambú (*Guadua Angustifolia*) como material estructural empleado en el diseño de Invernaderos tipo Almería

The Bamboo (Guadua Angustifolia) like structural material employee in the design of Greenhouses type Almeria

Óscar González¹ y Eduardo Garzón^{1*}

Palabras clave

bambú;
material;
invernadero;
diseño;
estructura;

Sumario

En el conjunto de invernaderos mediterráneos la madera es el elemento estructural más extendido, aunque no es menos cierto que ésta empieza a ser sustituida en la actualidad por el acero galvanizado. Esta sustitución no es compatible con el cambio de modelo productivo-constructivo, en el que se busca dejar a las futuras generaciones un medio ambiente viable, no excediendo la capacidad de carga, convirtiéndose esta premisa en una de las principales preocupaciones de la humanidad. En ese sentido, el trabajo que se presenta surge como búsqueda de las posibilidades de la especie de bambú *Guadua (Guadua angustifolia)*, como una alternativa viable y sostenible del material para el diseño de invernaderos.

En este sentido, esta iniciativa ha consistido en el estudio de las posibilidades de la *Guadua* como material estructural para los invernaderos tipo parral o Almería. Para lo cual ha sido necesario realizar una revisión de los trabajos relacionados con dicha especie de bambú para su caracterización como material.

Keywords

bamboo;
material;
greenhouse;
design;
structure;;

Abstract

In the set of Mediterranean greenhouses the wood is the most widespread structural element, though it is not less true than this one starts being replaced at present with the galvanized steel. This substitution is not compatible with the change of productive - constructive model, in which one seeks to leave a viable environment the future generations, not exceeding the capacity of load, turning this premise into one of the principal worries of the humanity. In this sense, the work that one presents arises as search of the possibilities of the species of bamboo Guadua (Guadua angustifolia), as a viable and sustainable alternative of the material for the design of greenhouses.

In this respect, this initiative has consisted of the study of the possibilities of the Guadua as structural material for the greenhouses type vine arbor or Almeria. For which it has been necessary to realize a review of the works related to the above mentioned species of bamboo for his characterization as material.

1. ANTECEDENTES

El invernadero tipo “parral” es originario de la provincia de Almería (España) y consta, de rollizos de madera y alambres, denominado parral por ser una versión modificada de las estructuras o tendidos de alambre (figura 1).

La estructura básica está hecha de postes de madera apoyados verticalmente en zapatas de cemento individuales y unidos unos a otros por medio de alambres de tensión que corren a lo largo de su parte superior. En el perímetro se sitúan pilares inclinados hacia afuera que dan estabilidad al conjunto. Los alambres de tensión también sirven como soportes de las dos redes de alambre entre las que se sitúa el film a manera de un sandwich. La red inferior es de alambre (de 30 por 30 o de 20 por 40 cm. de separación) y la red superior puede ser de cuerda plástica (40 por 40 cm. de separación). Una vez se ha instalado el film se sujetan las dos redes

de alambre a los cables de tensión por medio de alambres pequeños que perforan la lámina y que es preciso cortarlos cuando se tiene que cambiar la película plástica (FAO, 2002).

En el conjunto de invernaderos mediterráneos la madera es el elemento estructural más extendido, y la película de polietileno de distintas propiedades ópticas y mecánicas es el material de cubierta por excelencia. El invernadero parral y sus versiones derivadas del diseño original plano es el ejemplo más extendido de invernadero autóctono. Sólo en Almería hay aproximadamente 27.000 del tipo parral y de su variante de “raspa y amagado” (EFSA, 2009). Sus características constructivas pueden consultarse en diversas fuentes bibliográficas (Pérez, 1998). Desde que en 1961 se cubrieran con plástico los primeros parrales, este invernadero ha tenido un impacto enorme en el desarrollo socio-económico de Almería, así como también en muchos otros países del mundo. El parral ha alcanzado un balance positivo en términos de coste beneficio y ha permitido la creación de pequeñas empresas familiares (que poco a poco han ido creciendo) debido a la baja inversión inicial (Montero, 2012).

* Corresponding author: egarzon@ual.es

¹ Departamento de Ingeniería, Universidad de Almería, Almería, España.

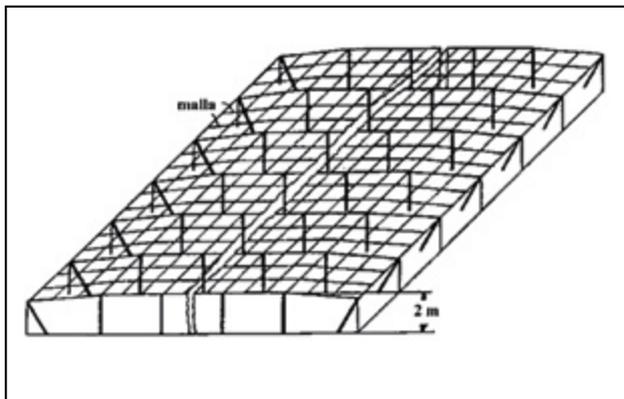


Figura 1. Invernadero tipo "parral" o Almería.

Comúnmente su estructura ha sido construida con madera, aunque con el paso del tiempo cada vez más ésta se construye con tubos galvanizados. Con esta propuesta se pretende hacer un estudio experimental-comparativo de construir dicha estructura invernada con bambú, en concreto con la especie *Guadua Angustifolia Kunth* (figura 2). Al no existir una institucionalización de la Guadua como material a nivel internacional, en tanto no hay condiciones óptimas y adecuadas que contribuyan a la producción, legislación, comercialización e industrialización de esta materia prima, con este trabajo se busca estudiar el empleo de cañas de Guadua como material estructural en una construcción específica de un invernadero tipo parral.



Figura 2. Cañas Guadua Angustifolia Kunth.

Aunque a día de hoy, todavía no existe ningún código ni normalización que permita la estandarización a nivel internacional del material; ya se hicieron durante más de 30 años numerosos ensayos que nos permiten determinar las propiedades físicas y mecánicas del bambú "*Guadua Angustifolia*". Para la caracterización del presente material es de primordial importancia evaluar los esfuerzos que es capaz de resistir; ya que de ello depende en gran medida los diseños de invernaderos que se puedan proyectar con el mismo.

La mayor parte de las principales investigaciones publicadas, se realizaron en Colombia al ser esta especie autóctona de allí, estos estudios datan desde la década de 1970 con los trabajos de Merino *et al* (1972), Hidalgo (1978), Carvajal *et al.* (1981), Trujillo y Peláez (1983), entre otros, pero los valores obtenidos por ellos no pueden ser comparados y analizados estadísticamente debido a que en esa época no existían procedimientos normalizados para la ejecución de los ensayos. Más tarde INBAR (1999), publicó un manual para la determinación de las propiedades físicas y mecánicas del bambú que sirvió de base para la realización de investigaciones posteriores con el objeto de determinar la resistencia a la compresión paralela a la fibra

(Uribe y Durán, 2002; Prada y Zambrano, 2003), la resistencia al corte paralelo a la fibra (Acuña y Pantoja, 2005), y el módulo de elasticidad a compresión (González, 2006).

Las propiedades físico-mecánicas de la Guadua son la expresión de su comportamiento bajo la acción de fuerzas externas; este comportamiento depende de la clase de fuerza aplicada y de la estructura de la misma. En general, estas propiedades son las que determinan la aptitud de la madera para su uso en construcción y en innumerables aplicaciones, como artesanías, entre otros (Giraldo y Sabodal, 1999).

Como punto de partida para el conocimiento de las propiedades físico-mecánicas de esta especie vegetal, se realizan pruebas en las que se toman las condiciones de ensayo de las normas colombianas sobre maderas establecidas por el Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación ICONTEC, y las normas de la American Society for Testing and Materials ASTM.

1.1. Resultados de los ensayos analizados

Para la caracterización técnico-mecánica de la Guadua se han recogido los resultados de los ensayos realizados por: Arboleda *et al.* (1997), Aricapa *et al.* (1999), González (2005) como son: ensayo de compresión axial, ensayo de compresión perpendicular a la fibra, ensayo de tracción paralela a la fibra, ensayo de flexión, y ensayo de cizallamiento paralelo a la fibra. En las figuras 3, 4, 5, 6, 7 se pueden observar las disposiciones y dimensiones de las probetas para la realización de los distintos ensayos mencionados.

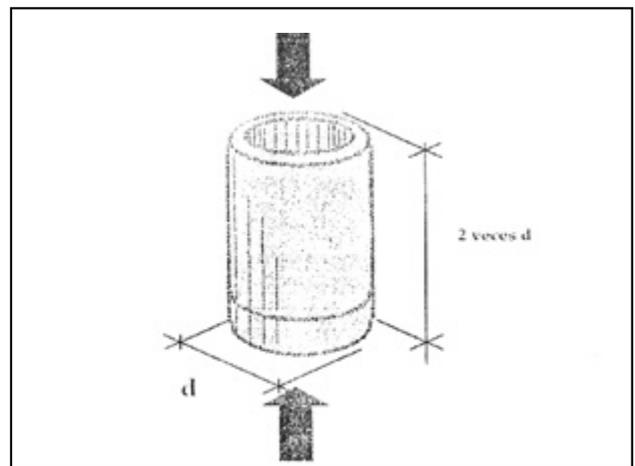


Figura 3. Ensayo de compresión axial (González, 2005).

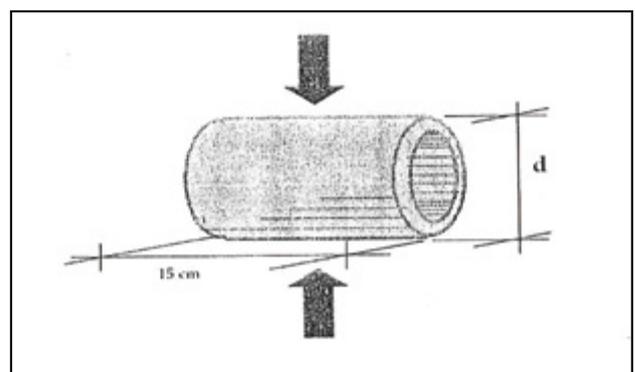


Figura 4. Ensayo compresión perpendicular (González, 2005).

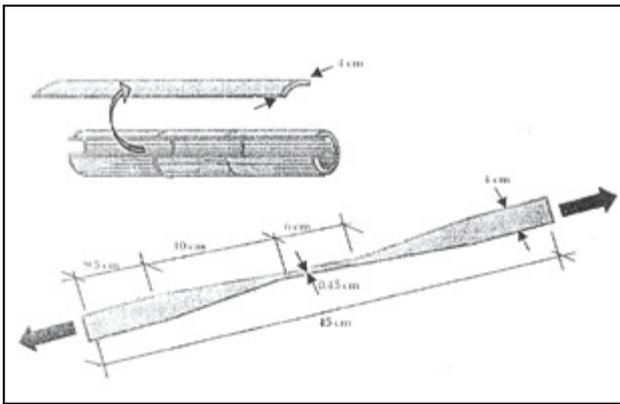


Figura 5. Ensayo de tracción paralela a la fibra (González, 2005).

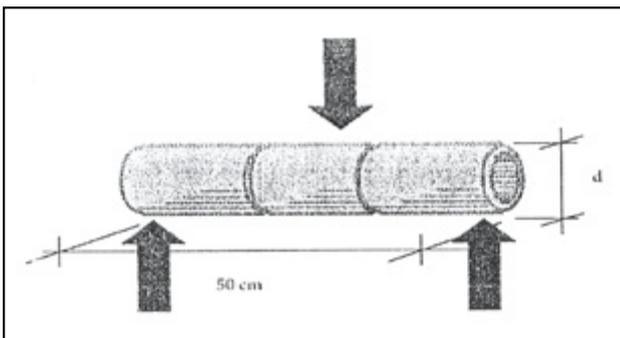


Figura 6. Configuración de las probetas del ensayo a flexión (González, 2005).

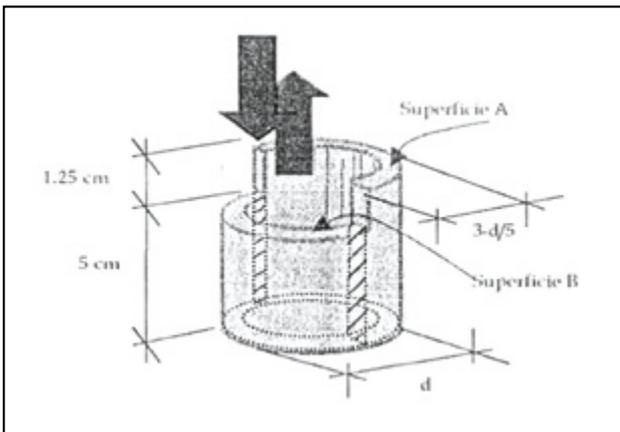


Figura 7. Ensayo de cizallamiento (González, 2005).

Se recomienda evaluar los métodos de tratamiento de la Guadua (secado, impermeabilización, preservación), de tal forma que se puedan determinar si estos métodos conducen a una alteración de las propiedades mecánicas. En este sentido Viitaniemi (1997), Gohar y Guyonnet (1998), Jämsä y Viitaniemi (2000), Rapp y Sailer, (2000) afirmaron que los cambios en las propiedades mecánicas son las más importantes desventajas causadas por los procesos de tratamiento con calor.

Además Moreno *et al.* (2006) determinaron con un estudio de las propiedades de los haces de fibra de la Guadua *Angustifolia* (mediante ensayos de tensión), que los valores obtenidos presentaban una apreciable variabilidad, especialmente en la resistencia a la tensión, debido a que se trata de un material orgánico cuya resistencia se puede ver afectada por: condiciones de crecimiento, proceso de extracción y aspectos climatológicos. González

(2005); planteo la realización de un diseño conservador, considerando los menores valores obtenidos en los últimos cincuenta y cinco años, como valores de resistencia última mínima. Se proponen los valores mostrados en la tabla 1.

Tabla 1. Resultados de resistencia última mínima. Unidades en Mpa (Tomada y adaptada de González, 2005)

Esfuerzo	Esfuerzo último mínimo (MPa)
Compresión perpendicular (Fp)	0.23
Compresión paralela (Fc)	17
Flexión (Fb)	7
Cortante paralela (Fv)	1.8
Tensión perpendicular (Ftp)	0.18
Tensión paralela (Ft)	50
Módulo de elasticidad a tensión (MPa)	1500

Estos valores de la tabla 1 habría que aplicarle los siguientes factores de reducción (tabla 2); de acuerdo con Arboleda *et al.* (1997), y Aricapa *et al.* (1999). Ya que al utilizar la Guadua como material estructural, se debe trabajar con los valores de esfuerzos últimos modificados por factores de seguridad, porque a pesar de ser un material homogéneo colapsa sin alcanzar su punto de fluencia. La junta del acuerdo de Cartagena (JUNAC) (1984), estableció los valores que se muestran en la tabla 2, como factores de reducción.

Tabla 2. Factores de reducción de la resistencia última mínima. Unidades en Mpa (Tomada y adaptada de González, 2005)

Esfuerzo	FC	FT	FS	FDC	CM
Compresión perpendicular (Fp)	1.0	1.00	1.60	1.00	1.00
Compresión paralela (Fc)	1.00	1.00	1.60	1.25	1.00
Flexión (Fb)	0.80	0.90	2.00	1.25	1.00
Cortante paralela (Fv)	1.00	1.00	4.00	1.00	1.00

Finalmente se obtendrá el esfuerzo admisible mediante la siguiente expresión:

$$\sigma_{adm} = [(FC \times FT \times CM) / (FS \times FDC)] \times \sigma_i \quad [1]$$

Donde: σ_{adm} = Esfuerzo admisible (Mpa) / σ_i = Esfuerzo último (Mpa), FC: Factor de reducción por calidad (adimensional), FS: Factor de servicio y seguridad (adimensional), FT: Factor de reducción por tamaño (adimensional), FDC: Factor de duración de la carga (adimensional), CM: Factor de corrección por humedad (adimensional).

Laude y Obermann (2003), en base a los trabajos de Martin *et al.* (1981), García y Martínez (1992), González y Díaz (1992), López y Trujillo (2000), Lindemman y Steffens (2000) y teniendo en cuentas las diferentes especificaciones y valores en las muestras tomadas, (ya que una caña de guadua presenta distintas características físico-mecánicas según la zona de donde se haya extraído) finalizaron su investigación con un promedio de resistencias mínimas de todos los resultados consultados.

En relación a ese promedio, y para tener una idea de cómo se comporta la Guadua en comparación con la madera o el acero, realizaron un estudio con barras de los 3

materiales, cada una de 2.5 m de longitud, de secciones comunes y con un peso aproximado de 8.7 Kg, y estando sometidas todas ellas a compresión, llegaron a los siguientes resultados que se muestran en la tabla 3.

En la tabla 3 se puede observar que a un elemento de Guadua (D=12cm; d=9cm) con una longitud de 2.5 m; se le puede aplicar una carga máxima de compresión de 25 KN, lo que nos hace pensar que a tracción podría aplicarse aproximadamente una carga hasta 100 KN. Observando además que la Guadua resiste mucho más que la madera, y en cuanto a la relación entre fuerza máxima y peso

presenta un valor interesante, ya que se aproxima al acero. Se podría aumentar la sección del acero, pero se aumentaría igualmente el peso y el precio.

Lo interesante de esta comparativa es observar que con un módulo de elasticidad de 600 KN/cm² para la Guadua, unas treinta veces inferior al del acero, este material ofrece una fuerza máxima admisible de 25,6 KN, muy próxima a los 27,6 KN para el acero.

Asimismo el bambú ofrece una gran esbeltez gracias a su forma tubular y un óptimo rendimiento dado por esa sección, idónea para esfuerzos de compresión que evitan

Tabla 3. Comparación Madera - Guadua – Acero (Tomada y adaptada de Laude y Obermann, 2003)

compresión a una barra de 2.5 m y 8.7 kg de materiales distintos	Madera tipo B EC5 S10/MS10	Guadua EC5	Acero, A36 EC3 S235
Densidad g/cm ³	0.55	0.7	7.8
E-Modul KN/cm ²	740	600	21000
Fuerza adm. KN/cm ² a compresión	1.1	1.5	23.5
Sección	 D=9cm	 D=12cm d=9cm	 D=5.1cm d=4.5cm
Area A cm ²	63.6	49.5	4.4
Inertia I cm ⁴	322.1	695.8	12.7
Esbeltez λ	111.1	66.7	147.2
Peso kg	8.7	8.7	8.7
Fuerza max adm. KN	15.1	25.6	27.6
Precio / metro € Colombia/Alemania	2 5	1 3	4 8

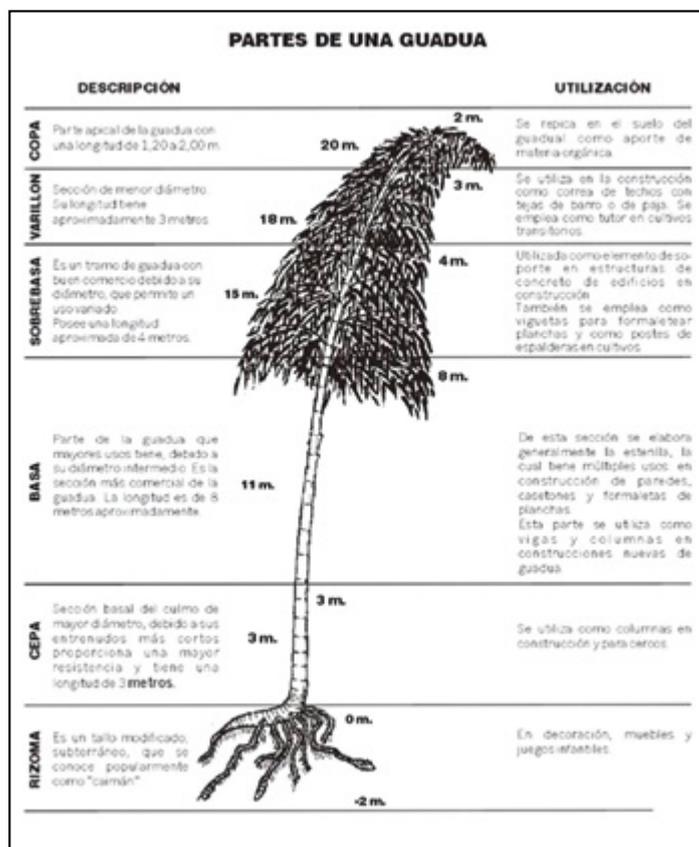


Figura 8. Partes de la Guadua y usos potenciales (UTP (Proyecto UTP-GTZ).

Tabla 4. Esfuerzos admisibles de la Guadua. Unidades en MPa (Tomada y adaptada de Luna *et al.*, 2011)

	Flexión Fb	Tensión II Ft	Compresión II FC	Tensión ⊥ Fp	Corte II Fv
A	8.3	9.0	4.5	0.4	0.8
B	10.4	11.3	5.6	0.5	1.0
C	12.5	13.6	6.8	0.6	1.2

Nota: A = Carga muerta, B = Carga muerta + viva, C = Carga muerta + viva + viento o sismo), Fb = Esfuerzo admisible a flexión, Ft = Esfuerzo admisible a tensión paralela a la fibra, Fc = Esfuerzo admisible de compresión paralela a la fibra, Fp = Esfuerzo admisible a compresión perpendicular a la fibra, Fv = Corte paralelo a la fibra

el pandeo de los elementos, respecto a las secciones de los otros materiales, a la vez que es la que mejor coste económico-ecológico ofrece.

Finalmente la investigación más reciente en materia de caracterización de la Guadua, y que se utilizó como material base para del Capítulo G.12 del nuevo Reglamento de Diseño NSR-10, es la llevada a cabo por Luna *et al.* (2011). Para la determinación de los esfuerzos admisibles fueron realizados ensayos a compresión, tracción, corte, flexión y compresión perpendicular en probetas de la cepa, basa y sobrebasa (figura 8), provenientes de guaduas de tres zonas diferentes de Colombia.

Es decir en la mencionada publicación se describe la metodología de diseño por el método de los esfuerzos admisibles; que está basada en la mecánica estructural, en la norma ISO 22156 Bamboo Structural Design, y en diferentes investigaciones realizadas a nivel nacional e internacional. Describe el procedimiento desde la codificación y marcación de cada culmo de bambú Guadua de edades entre los 3 y 5 años, pasando por el proceso de medida y corte de ellos, la digitalización de datos y el ensayo de las probetas. Como resultado de esta investigación se recomendaron los esfuerzos admisibles de la Guadua para tres casos de cargas diferentes (tabla 4).

En la tabla 5 se muestran los valores del módulo de elasticidad. El valor usado para el análisis de los elementos estructurales debe ser E0.5; en el caso de tener condiciones de servicio críticas o que requieran un nivel de seguridad superior, las deflexiones deben ser calculadas usando el E0.05. En todo caso, según Luna *et al.* (2011), la elección del módulo de elasticidad adecuado dependerá del criterio del ingeniero calculista, y deberá corresponder a alguno de los valores mostrados en la tabla 5.

Tabla 5. Módulo de elasticidad de la Guadua. Unidades en MPa (Tomada y adaptada de Luna *et al.*, 2011)

Módulo promedio E _{0.5}	Módulo percentil 5 E _{0.05}	Módulo mínimo E _{min}
13900	7800	3000

1.2. Normativa existente

Desde el 26 de Enero de 2010 está en vigor la actualización de la NSR-98. Recibe el nombre de NRS-10, y en ella, además de la corrección y ampliación de alguno de los capítulos, se introduce un nuevo capítulo en el que la Guadua es considerada como material de construcción, (aunque solamente tenga vigencia en Colombia). Este nuevo capítulo recibe el nombre de Capítulo G12: Estructuras de Guadua.

El capítulo G12 está basado en una serie de investigaciones realizadas por el grupo de ingeniería civil

liderado por la Ing. Caori Takeuchi en la Universidad Nacional de Colombia con sede en Bogotá. Estas investigaciones fueron cedidas para tal efecto y complementadas por las investigaciones y ensayos realizados por Luis Felipe López en la Universidad de los Andes. Y tutorado por AIS (asociación colombiana de ingeniería sísmica). Lo más destacable de este capítulo es la creación de unos valores de referencia de la resistencia de la Guadua. Hasta este momento la Guadua se utilizaba en la construcción pero sin unos valores de resistencia estandarizados. Se utilizaba más la experiencia adquirida con el tiempo que cálculos que corroborasen la estabilidad y resistencia de la estructura por el cumplimiento de una normativa inexistente.

Este ha sido uno de los primeros pasos para conseguir convertir (a corto plazo) a la Guadua en un material válido para el diseño a nivel mundial como lo es la madera.

Normativa existente actualmente en Colombia, NTC (Norma Técnica Colombiana):

- NTC 5300. Cosecha y Postcosecha del culmo de Guadua Angustifolia Kunth.
- NTC 5301. Preservación y secado del culmo de Guadua Angustifolia Kunth.
- NTC 5405. Propagación vegetativa de Guadua Angustifolia Kunth.
- NTC 5407. Uniones de estructura de Guadua Angustifolia Kunt.
- NTC 5458. Elaboración de artesanías y muebles con culmos maduros de Guadua Angustifolia Kunth.
- NTC 5525. Métodos de ensayo para determinar las propiedades físicas y mecánicas de la Guadua Angustifolia Kunth.
- NSR-10. Reglamento Colombiano de construcción sismorresistente.

Hasta que se consiga implantar una norma que sea internacional, (iniciativa en la que se encuentra trabajando la AIS con el apoyo institucional del INBAR) cualquier diseño en el que se quiera utilizar la Guadua Angustifolia Kunth como material, es aconsejable que se sigan las directrices de las normas colombianas NTC y NSR10.

Como ejemplo representativo del potencial de la Guadua, se muestra en la figura 9 el diseño más relevante que se ha realizado en Europa con este material, catalogado como una gran estructura de ingeniería por su importancia y complejidad.

La fotografía de la figura 9 muestra el pabellón que se construyó como réplica en Manizales a escala natural del pabellón ZERIA (un decágono de 2000 m² en dos pisos, 40 m de diámetro y aleros en voladizos de 7.5 m)

que posteriormente se construiría en Hannover (Alemania) por el arquitecto Simón Vélez; que es el máximo exponente en la utilización de la *Guadua* como material de construcción. En dicha replica se realizaron las rigurosas pruebas de esfuerzos dirigidas por profesores alemanes, al no existir ingeniería del bambú en ninguna parte del mundo se tuvo que invertir cerca de 200.000 dólares en tres estudios. El primero con el profesor Klaus Steffens, Director del Instituto de Estática experimental de la Universidad de Bremen. El segundo estudio con la Universidad de Stuttgart dirigido por el profesor Simón Aicher del Otto Graiff Institut y al mismo tiempo un tercer estudio del ingeniero Joseph Lindeman de Hannover, especialista en cálculo de estructuras de madera.



Figura 9. Vista exterior del Pabellón ZERI Construido en Manizales-Colombia (Salas, 2006).

Estas pruebas fueron finalmente exitosas; el pabellón resistió las mismas pruebas de carga que se hacen para las construcciones de hormigón. Esto hizo que la *Guadua* quedara homologada como material de construcción en uno de los países más estrictos en cuanto a normas de construcción, confirmando así a la *Guadua* como un material apto para la edificación a nivel mundial.

2. CONCLUSIONES

La consecución de los objetivos específicos planteados en este trabajo de investigación está dentro de los temas que, en estos últimos años, están suscitando más interés científico-técnico dentro de la comunidad internacional y en específico en el campo de los materiales y el diseño sostenible. Se pretende concebir un diseño-técnico completamente adaptado a los paradigmas del presente, para los que se exigen diseños cada vez más ligeros, con más eficiencia energética, y respetuosos con el medio ambiente.

Se confirma que este material natural es a la vez; resistente, duradero, flexible, ecológico, renovable y sostenible, apto para la construcción eficiente de invernaderos tipo “parral”. Ya que la *Guadua* ofrece una gran esbeltez gracias a su forma tubular y un óptimo rendimiento dado por esa sección, idónea para esfuerzos de compresión que evitan el pandeo, lo cual lo hacen un material muy apto para construcciones sismorresistentes.

El desarrollo del trabajo, con la aportación de una metodología y el desarrollado de un diseño estructural a

partir de un material natural, supondrá un nuevo clúster en la industria de construcción de invernaderos de la zona mediterránea, y en particular en Almería, mediante la aplicación directa en el desarrollo de nuevas estructuras.

3. REFERENCIAS

Acuña, F. y Pantoja, N. (2005). *Resistencia al corte paralelo a la fibra de la guadua angustifolia*. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.

Arboleda, M.C., Arboleda, M.C., Dávila, P. y García, J.A. (1997). *Manual de diseño para construcción en guadua macana*. Universidad del Valle, Facultad de Ingenierías. Santiago de Cali, pp. 127.

Aricapa, F.L., Quijano, A. y Vergara, I.M. (1999). *Manual para el diseño en guadua cebolla, basado en el aprovechamiento de las propiedades físico - mecánicas*. Universidad del Valle, Facultad de Ingenierías. Santiago de Cali, pp. 210.

Carvajal, W., Ortigón, W. y Romero C. (1981). *Elementos estructurales en bambú*. Bogotá. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.

EFSA (2009). EFSA-PPR project on “Data-collection of existing data on protected crop systems (greenhouses and crops grown under cover) in Southern European EU Member States”. Ed. N. Sigrimis. Agricultural University of Athens.

FAO (2002). *El cultivo protegido en clima mediterráneo*. Organización de las naciones unidas para la agricultura y la alimentación. ISBN 92-5-302719-3.

García, O. y Martínez, C. (1992). *Memorias del Evento: I Congreso Mundial de Bambu / Guadua*. Pereira, Colombia.

Giraldo, E. y Sabogal, A., (1999). *La Guadua una alternativa sostenible*. Publicación de la corporación autónoma regional del Quindío, CRQ. Quindío.

Gohar, P. y Guyonnet, R. (1998). Development of Wood retification process at the industrial stage. In: Intern. Res. Group on Wood Pres. Proceedings of the 4th International Symposium “The Challenge Safety and Environment in Wood Preservation”. 2-3 Feb. Cannes Mandelieu / France, Doc. No.: IRG/WP 98 50101, 173-183.

González, C. (2006). *Resistencia a la compresión paralela a la fibra y determinación del módulo de elasticidad*. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.

González, E. y Díaz, J.F. (1992). *Propiedades físicas y mecánicas de la guadua angustifolia kunth*. Universidad Nacional.

González, L.O. (2005). *Elementos para la caracterización mecánica de la Guadua*. *Angustifolia Kunth*.

Hidalgo, O. (1978). *Nuevas técnicas de construcción con bambú y concreto reforzado con cables de bambú*. CIBAM. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.

INBAR (1999). *Laboratory manual on testing methods for determination of physical and mechanical properties of bamboo*. International Network on Bamboo And Rattan.

Jämsä, Viitaniemi, P. (2000). *Heat treatment of wood Better durability without chemicals*. Nordic Wood, Nordic Wood Seminar om varmebehandlet tre, Scandic Hotel Triaden, Lorenskog 59-63.

JUNAC (1984). *Manual de diseño para maderas del grupo Andino*. Lima, Perú. Junta del acuerdo de Cartagena.

Laude, R. y Obermann T.M. (2003). *Bambú: recurso sostenible para estructuras espaciales*. Universidad nacional de Colombia, sede Medellín.

Lindemann, J. y Steffens, K. (2000). Test results of Forschungs und Materialprüfungsanstalt Stuttgart (FMPA) published in "Der Bambus Pavillion zur EXPO 2000 in Hannover". Germany.

López, L.F. y Trujillo, D. (2000). *Diseño de uniones y elementos en estructuras de guadua*. Universidad nacional de Colombia.

Luna, P., Takeuchi, C., Granados, G., Lamus, F. y Lozano, J. (2011). *Metodología de diseño de estructuras en guadua angustifolia como material estructural por el método de esfuerzos admisibles*. Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.

Martín, B., Lelio, R. y Mateus, T. (1981). *Determinación de la resistencia a la compresión paralela a la fibra de la Guada Castilla*. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ingeniería, Bogotá.

Merino, F., Rodríguez, G. y Vallejo, J. (1972). *Elementos de concreto reforzado con guadua*. Bogotá. Trabajo de grado. Escuela de ingeniería de Antioquia, Medellín.

Montero, J.I. (2012). *Desarrollo de estructuras para invernaderos*. Cuadernos de Estudios Agroalimentarios. CEA. Vol. 3. ISSN 2173-7568.

Moreno, L.E., Osorio, L.R. y Trujillo, E. (2006). *Estudio de las propiedades mecánicas de haces de fibra de Guadua angustifolia*. Ingeniería y desarrollo, n° 20.

Pérez, J. (1998). *Invernadero Parral Almería y su evolución*. Tecnología de Invernaderos II. FIAPA, Caja Rural de Almería. ISBN: 84-88246-10-2.

Prada, J. y Zambrano, J. (2003). *Estudio de elementos en guadua, solicitados a compresión, con perforación para el relleno de mortero*. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.

Proyecto UTP-GTZ. *Guía para la construcción de puentes*. Universidad Tecnológica de Pereira, Facultad de Ciencias Ambientales.

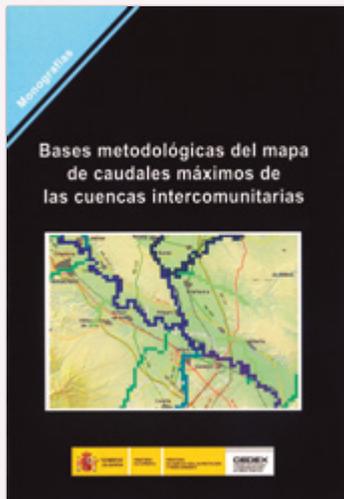
Rapp, A. O. y Sailer, M. (2000). *Heat treatment in Germany state of the art*. Nordic Wood, Nordic Wood Seminar om varmebehandlet tre, Scandic Hotel Triaden, Lorenskog 81- 95.

Salas, E. (2006). *Actualidad y futuro de la arquitectura de bambú en Colombia*. Simón Velez: "Símbolo y búsqueda de lo primitivo". Tesis doctoral dirigida por: Avellaneda Díaz, J. Universidad Politécnica de Cataluña. (Inédita). Barcelona, noviembre.

Trujillo, M. y Peláez, J. (1983). *Construcción con guadua*. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ingeniería, Medellín.

Uribe, M. y Durán, A. (2002). *Estudio de elementos solicitados a compresión armados con dos o más guaduas*. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.

Viitaniemi, P. (1997). *Thermowood Modified wood for improved performance*. In: Trätekt Rapport No. 9709084. Proceedings of the 4th Eurowood Symposium "Wood The ecological material", 22-23. September, Stockholm / Sweden; ISSN 1102-1071, 67-69.



Bases metodológicas del mapa de caudales máximos de las cuencas intercomunitaria

Autores: Antonio Jiménez Álvarez, Celia García Montañés, Luis Mediero Orduña, Lara Incio Caballero y Julio Garrote Revilla

Serie Monografías: M-120

Año: 2013

ISBN: 978-84-7790-541-7

P.V.P.: 20€

La caracterización estadística de los caudales máximos que pueden circular por los ríos como consecuencia de la ocurrencia de episodios de crecida es imprescindible para poder llevar a cabo una adecuada gestión de las zonas inundables y del dominio público hidráulico. Con esta finalidad, la Dirección General del Agua encargó al CEDEX la elaboración de un mapa de caudales máximos para las cuencas intercomunitarias, trabajo que se finalizó en el año 2011. En esta Monografía se exponen las metodologías aplicadas en la elaboración de dicho mapa atendiendo a aspectos como la información hidrológica utilizada y su revisión y tratamiento, las técnicas estadísticas

empleadas para la obtención de las leyes de frecuencia a partir de los registros foronómicos, y los modelos hidrometeorológicos y estadísticos utilizados para estimar los caudales en los puntos de la red fluvial no aforados. Se acompaña la Monografía con un CD conteniendo los resultados del trabajo, así como la aplicación informática desarrollada para facilitar la visualización y consulta de los mismos.



Guía técnica para la implantación de biorreactores de membrana

Autores: Raquel Iglesias Esteban, Enrique Ortega de Miguel, María Adela Martínez Tarifa, Pedro Simón Andreu, Lucas Moragas Bouyat, Emilia García Fernández, Jordi Robusté Cartró, Ignasi Rodríguez-Roda Layret

Serie Manuales y Recomendaciones: R-22

ISBN: 978-84-7790-548-6

Año: 2014

P.V.P.: 25€

Esta Guía recoge de forma ordenada la experiencia y el conocimiento generado en España sobre los MBR, consiguiendo así una herramienta útil que permite a todos los actores implicados (planificadores, gestores, ingenierías, operadores, etc.) tomar decisiones sobre su implantación, avanzar en la mejora del diseño y conocer las singularidades de la operación de esta tecnología. La Guía está estructurada en seis capítulos, comenzando con una introducción sobre la evolución de los MBR y un segundo capítulo con la descripción de la tecnología, donde se detallan los fundamentos del proceso, su funcionamiento, las peculiaridades de las instalaciones y la calidad

del efluente obtenido. El tercer capítulo se dedica a la operación donde se recoge la experiencia, problemas, soluciones y recomendaciones al respecto y el cuarto capítulo, dedicado al diseño, recoge recomendaciones basadas en la experiencia de esta operación. El quinto trata sobre los costes de implantación y explotación, y en el último capítulo se establecen algunos criterios de implantación de esta tecnología.