

Tecnología del bambú

Roberto Carlos GÓMEZ CASTRO
Napoleón Vladimir ACHA DAZA

ECORFAN®

Derechos de Autor.

ECORFAN-Bolivia

Tecnología del bambú.

Roberto Carlos Gómez Castro Napoleón Vladimir Acha Daza
--

**Diseñado
ra de**

Edición

Alejandra Ramos Arancibia

Producción Tipográfica

Ricardo Daza Cortez

Producción WEB

Imelda Escamilla Bouchan
Vladimir Luna Soto

Editora

María Ramos Escamilla
Javier Serrudo Gonzales

Ninguna parte de este escrito amparado por la Ley Federal de Derechos de Autor ,podrá ser reproducida, transmitida o utilizada en cualquier forma o medio, ya sea gráfico, electrónico o mecánico, incluyendo, pero sin limitarse a lo siguiente: Citas en artículos y comentarios bibliográficos ,de compilación de datos periodísticos radiofónicos o electrónicos. Visite nuestro sitio WEB en: www.ecorfan.org

® Registro de Autor.

Para los efectos de los artículos 13, 162,163 fracción I, 164 fracción I, 168, 169,209 fracción III y demás relativos de la Ley Federal de Derechos de Autor.

Prologo.

Los impactos ambientales, económicos y socioculturales de la deforestación han motivado la toma de importantes decisiones, no son pocos países que se ven afectados por el déficit de madera aserrada y materiales maderables, en este sentido Gómez y Acha han realizado esfuerzos significativos en la reforestación y en la forestación con bambú, este último como materia prima alternativa, que por sus cualidades puede ser convertido en tableros de diferentes tipos con un uso potencial en la fabricación de muebles, construcciones de viviendas y en otros tipos de construcciones, además de otros usos múltiples que se le pueden aplicar, los autores hacen hincapie en la existencia de políticas y leyes que favorecen la reforestación, lo que ha permitido que año por año crezca la superficie boscosa a nivel mundial, no obstante, la dimensión del problema creado y la escasez, obligando a pensar en acciones a corto o mediano plazo, el uso del bambu es un medio económico, ambiental y no afecta la economía porque se utiliza material endemico propio de Bolivia.

Existen experiencias internacionalmente que prueban que a partir del bambú es posible generar un sinnúmero de actividades productivas de carácter local, ya que su cultivo y uso no conlleva el empleo de equipos sofisticados ni costosos, con el bambú además de su enorme importancia económica, social y cultural, juega un papel determinante desde el punto de vista medio ambiental, por la cobertura que brinda al medio en donde crece y la sujeción del suelo que realiza mediante las raíces y rizomas, ahora bien se evita la erosión y elimina las cárcavas que se forman en los cauces de los ríos a causa del mal uso de los suelos y la deforestación.

Gómez y Acha, el bambú figura entre las especies no forestales que sustituye la mayor cantidad de aplicaciones de la madera, la gran variedad de especies de bambú existentes, la descripción tecnológica general de una propuesta y posible uso del bambú en forma de tableros logrados mediante tejidos prensados permitiendo su uso en elementos necesarios para la construcción y sustituyendo la tradicional madera y se hace el estudio para la caracterización de los tableros de bambú prensados de esta especie en Bolivia.

Cristian Ibarra
Instituto Tecnológico Latinoamericano

Estructura del libro.

El libro está compuesto de cuatro capítulos que teorizan la evidencia fractal en los sectores del mercado español.

En el capítulo I planteamos el desequilibrio ecológico, la deforestación, la explotación de la madera ilegal

objetivos, operacionalización de variables y se da a conocer la importancia de la presente investigación.

En el capítulo II se desarrolla el marco teórico de la investigación, partiendo de la ubicación geográfica del bambú en Bolivia, se describe el uso artesanal e industrial del bambú y sus propiedades naturales.

En el capítulo III se da a conocer el desarrollo metodológico, donde se da a conocer la metodología adoptada por la investigación y asimismo se muestra los ensayos de resistencia mecánica del bambú.

En el capítulo IV se presenta los resultados obtenidos, a partir de los objetivos operativos de la investigación.

Contenido	Pág.
Capítulo I	1
1 Introducción	1
1.1 Planteamiento del problema	1
1.2 Objetivo de la investigación	2
1.3 Oporacionalización de variables	4
1.4 Importancia o justificación de la investigación	4
Capítulo II	5
2 Marco Teórico	5
2.1 El bambú en Monteagudo	5
2.2 Ubicación geográfica	6
2.3 Agrupaciones vegetales	7
2.4 El bambú en Bolivia	12
2.5 Uso del bambú en Monteagudo	16
2.6 Experiencias en Bolivia	26
2.7 Experiencias en el mundo	33
2.8 Descripción del uso artesanal	36
2.9 Descripción de las propiedades naturales del bambú	39
Capítulo III	42
3 Desarrollo metodológico	42
3.1 Metodología adoptada	42
3.2 Caracterización del sistema construido del bambú	70
3.3 Ensayos de resistencia mecánico del bambú	72
Capítulo IV	86
4 Resultados	86
Conclusiones	88

Recomendaciones	89
Referencias	90

Capítulo I

1 Introducción

La Tecnología del bambú, es un proyecto de investigación cuya finalidad es establecer de forma clara y concisa las formas de aprovechamiento de un recurso natural de amplia utilidad y que es desaprovechado en nuestro país, por lo que se hace necesario tener un mayor conocimiento al respecto para poder plantear a futuro estrategias de desarrollo sostenible basadas en la utilización del Bambú.

Se plantea la investigación de los potenciales usos del bambú con fines aplicativos a la construcción, prevención de riesgos naturales, medidas de descontaminación y potenciales artesanales e industriales, esto a fin de aprovechar la diversidad de usos de este material en beneficio de comunidades que podrían desarrollarse de forma eficiente aprovechando un material ahora en desuso.

1.1 Planteamiento del problema

Se define una problemática general cuyo alcance es la resolución del mismo a través del potencial uso del bambú en su aplicación estratégica de forma integral y cuyo objetivo de investigación está inmerso en el estudio de la problemática específica.

Posteriormente se defina una problemática específica que es el tema de estudio en si del presente proyecto de investigación, y está definida por los parámetros de los objetivos planteados, estos a su vez de forma intrínseca ayudan a plantear opciones de solución a la problemática general y de conforman un plan integral de mayor alcance.

Problemática general, se establece una problemática cuyo objetivo es puntualizar los problemas macro a ser resueltos de forma indirecta a través de la investigación de la problemática específica.

Desequilibrio ecológico, la deforestación para la agricultura insostenible, la explotación ilegal de madera y la quema de bosques a nivel nacional y mundial ha traído una problemática general de contaminación y desperdicio de territorios que un futuro va a tener serias consecuencias ecológicas.

¿Qué se va a Investigar? Medidas de mitigación en base al cultivo de Bambú.

Economía de subsistencia, economía insostenible en el tiempo, problemática común en los países en vías de desarrollo como el nuestro, debido a la ausencia de políticas integrales de desarrollo sostenible que marquen un lineamiento estratégico económico sin descuidar la sociedad y la ecología.

¿Qué se va a Investigar? El Aprovechamiento Industrial del bambú. (Construcción, Artesanía e Industria).

La Ausencia de Tecnología apropiada, el conocimiento heredado por los pobladores de la región de estudio está basado en técnicas que no han aprovechado el potencial de los recursos naturales como el bambú.

¿Qué se va a Investigar? La aplicación de la tecnología del bambú en diversos usos para conformar un plan de intervención de alcances integrales.

Problemática Específica, insertada como el motivo principal de estudio y basada en los objetivos específicos del proyecto de investigación y especificados como respuesta a la pregunta: ¿Qué se va a investigar?:

- El potencial arquitectónico y constructivo de la utilización del bambú.
- El potencial artesanal e industrial del bambú como alternativa social-económica.
- La forma de integrar diversos usos del bambú en un plan macro, que pueda posibilitar la transferencia tecnológica de la presente investigación.

1.2 Objetivos de la investigación

Objetivo general

El conocimiento del potencial aplicativo de la tecnología del bambú con fines diversificados que puedan contribuir al desarrollo sostenible de la región de intervención.

“La solución siempre está en el medio y sus recursos”.

Objetivos específicos

- Determinar el potencial arquitectónico y constructivo de la utilización del bambú.
- Establecer el potencial uso artesanal e industrial del bambú como alternativa social y económica de aprovechamiento de esta tecnología.
- Establecer pautas de intervención integral y sustentable en la aplicación de la tecnología del bambú.

Estos objetivos se operativizan en la recopilación y estudio de tres áreas de estudio conformadas por las aplicaciones de la tecnología del bambú:

Objetivos operativos

Insertados como objetivos realizables de la investigación a través de los cuales se da cumplimiento a los objetivos específicos y general de la misma.

Arquitectura y construcción

- Descripción de la tecnología constructiva del bambú.
- Caracterización de sistemas estructurales admisibles del bambú en sus características: físicas, mecánicas y de comportamiento estructural.

Elaboración y validación de Ensayos Mecánicos de Resistencia del Material (Bambú).

Elaboración de una propuesta experimental de diseño arquitectónico aplicando los conocimientos adquiridos.

- Usos industriales, el conocimiento general de las aplicaciones industriales del bambú.
- Usos artesanales, el conocimiento general de las aplicaciones artesanales del bambú.

Propiedades naturales del bambú, el estudio de sus cualidades vegetativas y alternativas de uso ecológico.

Hipótesis investigativa, la hipótesis planteada responde a solucionar la problemática general y los objetivos de la investigación y ha sido programada a partir de la siguiente pregunta:

La Tecnología del bambú puede fomentar el Desarrollo Regional Sostenible? solo si puede adaptarse a las tres condicionantes: preservación ecológica, desarrollo económico y desarrollo social.

La tecnología del bambú, cumple con las condicionantes mencionadas al ser:

Ambientalmente responsable, los “guadales” (áreas de cultivo de bambú.) son comunidades dinámicas altamente especializadas de las cuencas hidrográficas, donde actúan como agentes protectores y de recuperación de los suelos y del agua.

El bambú crece rápidamente en terrenos erosionados, y en algunos casos en tierras contaminadas, ayudando a recuperar y mejorar el suelo en tan solo una década, además de proveer más oxígeno que cualquier otra especie vegetativa.

Su importancia ecológica como recurso natural rápidamente renovable y su capacidad de captar CO₂ (Dióxido de Carbono.), además de su capacidad para soportar altos esfuerzos mecánicos, y sus demás cualidades físicas, la definen como un material óptimo para construir estructuras arquitectónicas.

Económicamente viable, el bambú como materia prima, es la especie forestal con mayores posibilidades de suplir la demanda de especies maderables a menores costos. Así mismo en el campo de la construcción, la caña guadua, debido a sus propiedades físico mecánicas le confieren una extraordinaria resistencia, durabilidad y funcionalidad, es un material sobresaliente para la construcción habitacional y otros.

El bambú ha sido a menudo considerado como una planta sin valor, ahora gracias a las experiencias realizadas en el mundo, quedo demostrado que puede ser de gran utilidad para el desarrollo de las economías locales, esto ratifica el argumento que las soluciones para los países en vías de desarrollo estén disponibles exactamente en el lugar donde son requeridas y no es necesario importarlas de ningún lado.

Socialmente benéfico, la multiplicidad de usos del bambú se revierte en beneficio de las economías locales de los lugares donde se desarrollan sus bosques, contribuyendo a mitigar la problemática socioeconómica del campo.

Cuando se siembra y cultiva técnicamente, el guadua es capaz de producir magnificas ganancias por unidad de superficie en un tiempo relativamente corto.

Todas estas cualidades del bambú hacen que sea una solución alternativa para promover el desarrollo sostenible en la región fomentando su utilización como material de construcción, artesanía, industria, difusión del potencial eco turístico, recuperación de suelos, y otros; todo en el marco de una propuesta integral que considere estos aspectos.

Además la existencia de bambú en las regiones tropicales y sub tropicales del Chaco (Cantones: Saucos, Pedernal, San Juan del Piraí y Fernández y principalmente en la Serranía del IÑAO) de manera esporádica o dispersa, a orillas de ríos y otros sectores le confieren un potencial para su cultivo de manera intensiva y en áreas no aptas para la agricultura.

1.3 Operacionalización de variables

Al margen de las variables establecidas por los objetivos del proyecto se plantean las variables de la hipótesis que sustentan la tecnología del bambú como alternativa de tipo sustentable:

Tabla 1 Operacionalización de variables de estudio

Tecnología del bambú		
¡Tecnología Sustentable!		
Ambientalmente Responsable	Económicamente Viable	Socialmente Benéfico
Estos aspectos de la tecnología del bambú, la convierten en una tecnología aplicable y sustentable en su aplicación por lo que es necesaria la interacción entre ramas del conocimiento para poder establecer planes viables de intervención.		
<ul style="list-style-type: none"> - Arquitectura y Construcción. - Usos Industriales. - Usos Artesanales. - Usos Ecológicos. 	Los objetivos de la investigación procuran dar cumplimiento a la base fundamental de la tecnología del bambú: “La Sostenibilidad”	
Todos estos aspectos y objetivos de la investigación interactúan entre sí para apoyar o justificar la existencia de los demás por tanto el poder establecer planes de intervención integral dependerá del enfoque que se tome para determinado uso del bambú.		

1.4 Importancia o justificación de la investigación

El impacto de la presente investigación está definido por los resultados esperados y se expresan en los potenciales beneficios que conllevan los diferentes ámbitos u orden que desarrolla la investigación:

Orden	Impacto
Social	La amplitud de usos del bambú integrados conforma un sistema sustentable que deriva en una mejor calidad de vida.
Económico	Posibilita la diversificación económica basado en los potenciales usos (industriales, artesanales, construcción) por lo que genera impacto económico a corto, mediano y largo plazo.
Ambiental	Su utilización deriva de su multiplicidad de aplicaciones, todas estas conllevan de una u otra forma en beneficios ambientales.
Tecnológico	Posibilita el integrar diversas áreas de conocimiento y conformar planes integrales sustentables de diversos alcances como paso previo a una futura transferencia tecnológica.
Practico	Brinda una alternativa constructiva de confort y eficiencia altos a un bajo costo homologando la resistencia del material para una posible aplicación física en corto plazo.

Todos estos ámbitos de impacto de la investigación sitúan a la tecnología del bambú como un recurso de alto valor investigativo por la diversidad de aplicaciones q esta conlleva como alternativa aplicativa a corto plazo.

Tabla 1

	Vegetación Andina.
	Vegetación Yungueña.
	Subhúmedos Chiquitanos.
	Vegetación Chaqueña.
Fuente: IGM.	

El Municipio de Monteagudo y área de estudio se encuentra ubicada en la región del Sub andino Chuquisaqueño caracterizado por tener grandes áreas de bosque nublado poco intervenido.

Debido a las gestiones del municipio de Monteagudo y la prefectura departamental en agosto del año 2001, por Resolución Prefectural del Departamento de Chuquisaca se declara “Reserva Natural de Inmovilización”, al área de la Serranía del Iñao; ubicado en las provincias Belisario Boeto, Tomina, Hernando Siles y Luís Calvo, con una extensión de 2.685 Km² abarcando los sectores de las serranías de Khaska Orcko, Iñao y Yahuañanca.

El presente componente como parte del estudio de contextualización, busca identificar las zonas fisiográficas en las que se dan las condiciones adecuadas de crecimiento del Bambú en sus diferentes géneros y especies insertos en el área de estudio.

2.2 Ubicación geográfica

El municipio de Monteagudo presenta una diversidad de ecosistemas: considerando criterios bioclimáticos y de biodiversidad el área de la Serranía del Iñao se halla situada biogeográficamente en una zona de confluencia de la Región Andina, Región Brasileño - Paranaense y Región Chaqueña.

A nivel de ecosistemas presenta Bosques Relictuales de Yungas, Boliviano – Tucumana, Chiquitano y Chaco de Transición, en general tienden a predominar el ecosistema con elementos florísticos de la formación Boliviano –Tucumana que se extiende en la cordillera oriental de los Andes a lo largo de la unidad denominada Subandino.

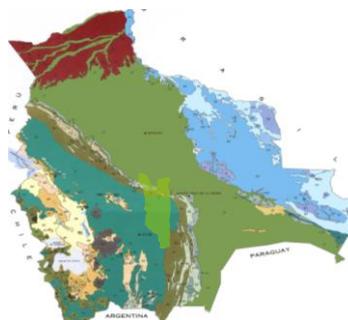
Gráfico 2

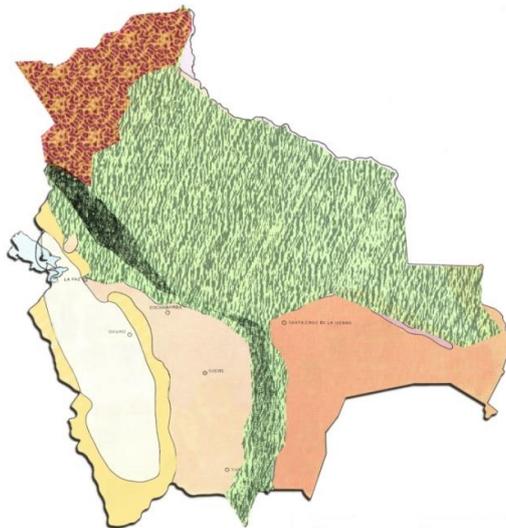
Tabla 2

	Alto Andino.
	Puna.
	Valles Secos.
	Yungas Húmedos.
	Faja Subandina.
	Llanura Chaqueña.
	Llanura Beniense.
	Escudo brasileño.

Como se puede observar en el gráfico las formaciones vegetativas se prolongan a través de la Cordillera Oriental en sus riberas reproduciendo las especies existentes principalmente por las características hidrológicas y su influencia climática.

Los bambudales concretamente en sus géneros (bambusa y guadua) se extienden desde la región Norte de Pando en la reserva de Tahuamano a través de los bosques yungueños que se conectan con el trópico del Chapare y la Chiquitanía prolongándose hacia el sur por las serranías del IÑAO en Chuquisaca y Agueragüe en Tarija; todo esto a través de la prolongación de la cordillera Oriental con sus bosques nublados y densamente poblados por diferentes especies forestales maderables y bosques con poca o ninguna intervención humana.

2.3 El bambú en Bolivia

Gráfico 3**Tabla 3**

	Zonas de producción de Bambú.
	Franja sub andina.
	Reserva de Tahuamano.
	Llanura chaqueña.
	Valles secos.

Fuente: Zonificación de bosques IGM Programa Bolbambú.

El bambú en sus géneros bambusa y guadua se encuentran distribuidos en las regiones tropicales y subtropicales de Bolivia comenzando por la región Norte de Pando en la reserva de Tahuamano y prolongándose a través de los bosques yungueños y el Chapare a través de la franja sub andina hacia el sur por las serranías del IÑAO en Chuquisaca y Agueragüe en Tarija, además de las llanuras chiquitanas y del Beni.

La reserva de Tahuamano asciende a 5 millones de Ha. De bambudales y se prolonga hacia el Brasil y Perú en una reserva natural que actualmente se constituye en un Parque Nacional e Internacional compartido.

Del resto del país no se tiene una cuantificación o estudio que precise la cantidad exacta de bambú existente en las diferentes regiones por lo que se considera una estimación aproximada de 558 000 Km.² de bosques en los cuales el bambú crece de manera esporádica y dispersa.

De igual manera en el departamento de Chuquisaca se estima una población de 3685 Km.² de bosques que poseen bambú en sus géneros bambusa y guadua en los diferentes ecosistemas que componen las serranías de la cordillera Oriental en la región Sub andina del departamento.

El bambú en Monteagudo

En el municipio de Monteagudo se han podido identificar dos variedades de bambú, la bambusa arundinaria haenkei y guadua paniculata existiendo además referencias bibliográficas y de similitud de ecosistemas que hacen referencia a la presencia de la variedad guadua angustifolia en la serranía del ñao donde se ha encontrado las otras variedades mencionadas.

Gráfico 4



Bambusa arundinaria

La presencia de esta variedad en el Municipio es evidente puesto que se la puede encontrar en el radio urbano de la ciudad de Monteagudo, en varios terrenos particulares, baldíos, y en las riberas de algunos ríos lo que demuestra que su crecimiento es espontáneo dadas las características fisiográficas de la región.

Gráfico 5



Gráfico 6



Asimismo se puede apreciar la utilización del bambú por parte de la población de manera muy reducida e improvisada no aprovechando el potencial que tiene este material como material apto para la construcción y otros usos.

Guadua paniculata

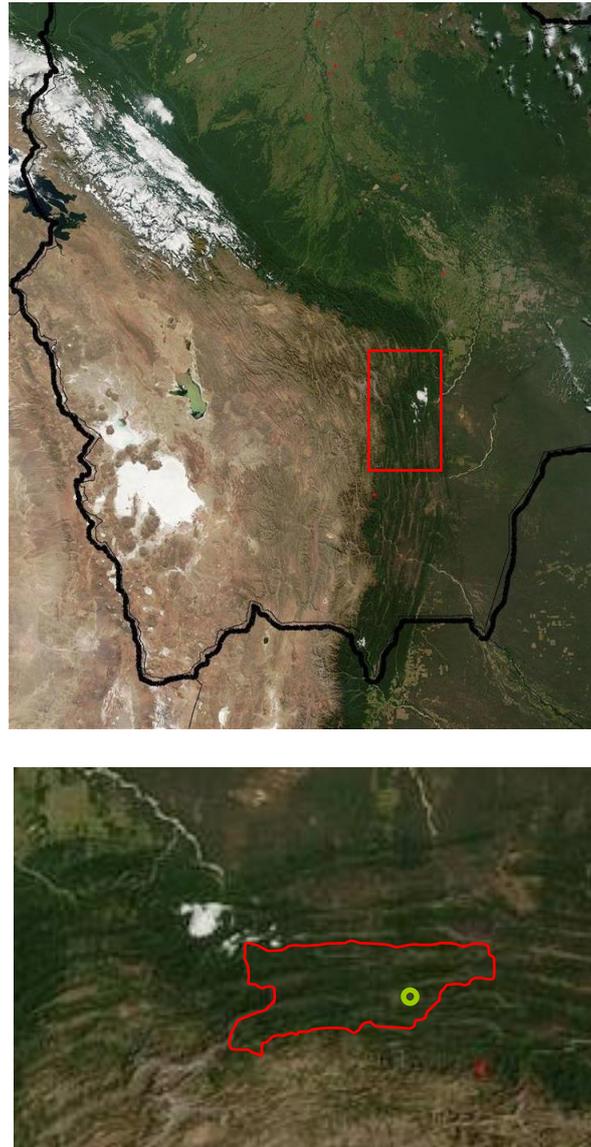
Además se tienen referencias de que el género guadua se extiende a través de los Cantones Pedernal, Fernández y San Juan del Pirai extendiéndose incluso hasta Rosario del Ingre donde la presencia del genero guadua y bambusa es mayor.

La presencia de este género y especie en el Municipio de Monteagudo está limitada a la serranía del IÑAO la cual por las características híbridas de sus ecosistemas albergan guaduales en diferentes zonas que están identificadas principalmente por el tipo de bosque, sin embargo estas zonas no están cuantificadas en su superficie

Gráfico 7**Gráfico 8**

La ubicación de estos bosques en la serranía del IÑAO se encuentra a una distancia aproximada de 12 Km. Desde la ciudad de Monteagudo por vía vehicular a través de la comunidad de Canadillas y en otras zonas de la serranía en la parte norte y sur de la misma a las cuales es más difícil acceder puesto que no existen vías vehiculares de penetración sino simplemente sendas de herradura de difícil acceso.

Gráfico 9 La serranía del Iñaño



El bambú en sus géneros bambusa y guadua se encuentran distribuidos en la confluencia de bosques y ecosistemas de la serranía del IÑAÑO en Chuquisaca ubicándose Monteagudo dentro del área de influencia y superficie de la misma.

En Bolivia se han identificado hasta 18 especies del género guadua de las cuales las más representativas son la angustifolia, Chaparensis y paniculata distribuidas en las distintas zonas fisiográficas del país, desde la región Norte de Yungas prolongándose por los bosques del Chapare y la Chiquitanía y hacia el sur a través de las serranías del IÑAÑO y Agueragüe, identificándose las condiciones ideales para su desarrollo y cultivo bajo los siguientes criterios.

Tabla 4

Condiciones óptimas de desarrollo del bambú guadua.		Condiciones hidrologicas de monteagudo (serrania ñao.)	
Altitud.	900-1600 msnm.	Altitud promedio.	1322 msnm.
Precipitación anual.	1000-1200mm.	Precipitación anual.	900-1200 mm.
Humedad relativa.	75% - 85%.	Humedad.	65% - 85%.
Temperatura óptima.	20°C y 26°C.	Temperaturas.	20°C - 41°C.

La temperatura es el aspecto más importante, puesto que determina la dimensión, diámetros y alturas de los tallos de bambú observándose una correspondencia de condiciones ideales entre las requeridas y las existentes en la zona, para el desarrollo y cultivo del mismo en su género más importante la guadua paniculada e inclusive la guadua angustifolia.

2.4 Uso del bambú en Monteagudo

La utilización del bambú en Monteagudo es muy reducida siendo considerado un material no útil y de baja duración, esto debido a su poco conocimiento del potencial utilitario y a su deficiente utilización.

Gráfico 10 Monteagudo**Gráfico 11 San Miguel de los Sauces**

Se construyen cabañas de recreación de fines de semana y recientemente cabañas de estadía temporal que cubren de manera deficiente las demandas y expectativas de los turistas. En Montegudo se puede observar el deficiente empleo del bambú, existiendo sin embargo algunos ejemplos de su empleo tanto en cabañas de ocio, vigas en viviendas, cercos y otros usos más improvisados desaprovechando las ventajas que ofrece el bambú como material de construcción.

Gráfico 12



En esta cabaña se observa la utilización de bambú para la construcción de la estructura portante, que es combinada con madera para completar el diseño.

Gráfico 13



En las periferias de Montegudo se pueden observar ejemplos improvisados y contruidos de manera artesanal donde el empleo del guadua paniculata y bambusa es empleado con un total desconocimiento del potencial material del bambú.

Gráfico 13



En el ejemplo se puede observar bardas improvisadas con bambú que muestra la utilización del bambú en la ciudad y poblaciones aledañas. Es evidente la combinación del bambú, madera y caña hueca para la construcción improvisada de espacios de uso doméstico y diversos.

Gráfico 20 Comunidad de Taperillas



Gráfico 21 Comunidad Canadillas



Gráfico 22



En las comunidades guaraníes Canadillas, Taperillas y otras se puede observar la utilización del bambú de manera más técnica y en forma de “paderes” muros tipo bahereque que están contruidos de manera combinada con troncos de madera y caña hueca, sistema constructivo heredado y completamente artesanal.

Gráfico 23**Gráfico 24**

En este ejemplo no se puede ver de manera completa la estructura de bambú por el revoque densamente aplicado en la superficie, que sin embargo ya muestra los efectos del desgaste por acción de las lluvias y falta de protección.

Se tiene referencias personales de los comunarios de Canadillas que afirman que la duración promedio de una vivienda de este tipo es de 20 años que se pueden extender si se realiza el mantenimiento adecuado como la reposición de revoques y vigas en algunos casos.

Estos elementos son amarrados con lias y juncos que son utilizados a manera de cuerdas para fijar todos los elementos.

Se puede observar en la figura el tejido estructural de troncos y caña hueca para posterior relleno con revoques de barro por ambas caras del muro.

Gráfico 25

Como se ha podido observar la utilización del bambú, la madera y la caña hueca como materiales de construcción por la cultura guaraní y la población de Monteagudo es parte de la herencia cultural que poseen, tradición que se está perdiendo por la utilización de materiales convencionales (ladrillo, hormigón, otros.) y la ausencia de evolución técnica para mejorar los resultados, controlar las debilidades, y aprovechar al máximo sus cualidades inclusive como estructuras sismo resistentes.

Este tipo de muros bahereque no son únicos a nivel nacional puesto que en otras culturas y lugares se tienen similares aplicaciones como por ejemplo los Guarayos, Wenayek, y otras etnias presentes en las llanuras de Chiquitos, el Beni y Pando.

2.5 Experiencias en Bolivia

Se realiza una compilación de experiencias constructivas en Bolivia haciendo énfasis en el aspecto tecnológico constructivo y su consecuencia estético formal de la utilización del bambú como material de construcción, en sus diferentes formas de aplicación como estructuras arquitectónicas.

Hotel cristal mayu

Datos generales

- Sitio.
- Localidad. Praedac.
- Área temática. Arq. José Luís Reque
- Año del proyecto. Programa Bolbambú.
- Año de construcción. 2003
- M² Construidos Diciembre 2004. 250 aprox
- Nombre del comitente. Cristal Mayu – Prov. Chapare – Cochabamba.
- Arquitecto / Obra. Laguna paraíso.
- Financiamiento. Recreación – Infraestructura Turística

Gráfico 24 Características espaciales



Gráfico 25



- La creación de elementos espaciales construidos pone a prueba diversos criterios de aplicación del bambú en distintas condiciones físicas y mecánicas.
- La articulación del espacio construido al espacio físico natural es evidente por los elementos de percepción visual de los materiales de construcción y los elementos auditivo táctil del medio.
- La imagen del conjunto está marcada por la articulación y transición del espacio exterior e interior constituyéndose en un equipamiento acondicionado al medio natural a través del empleo del bambú como material de construcción.

El equipamiento está condicionado por el aspecto físico natural del sitio y el empleo del bambú como material de construcción que le proporciona la plástica a sus estructuras e imagen general de conjunto. Estas estructuras se proyectan bajo principios estructurales que imitan a la naturaleza (s.e. árbol, s.e. pórtico, s.e. arriostre) por lo que la imagen del conjunto arquitectónico se adapta perfectamente al entorno natural y nos acerca más hacia la naturaleza puesto que sus complejos entramados nos recuerdan la complejidad fractal en la que se desenvuelve la misma, “es como estar en medio de una selva”.

Aspecto tecnologico

De vital importancia es la combinación del bambú, la madera, hojas de palma (jatata) y el hormigón armado que están presentes en las, fundaciones, estructuras, cerramientos y cubiertas respectivamente. Estos elementos han sido combinados y utilizados de acuerdo a la ubicación y función que cumplen de modo que se aprovechen al máximo las ventajas de los materiales sin descuidar el control de sus debilidades.

Gráfico 26



En el Hotel motivo de analisis se han empleado unicamente las fundaciones de tipo aislado que soportan las columnas de bambu, utilizando anclajes de fierro corrugado que se prolongan desde la fundacion en si hasta la columna de bambu que sera embutida de un mortero para unir ambos elementos.

Gráfico 27



En ambos tipos las fundaciones son de H° A° para proteger al bambu del contacto con el suelo, la humedad e insectos por ser propenso a deteriorarse con mayor facilidad si el material es expuesto a estos agentes.

Al margen de las fundaciones descritas se emplearon pilares aislados en forma T que soportan las estructuras portantes en madera de los pasillos. Estas fundaciones además de soportar el peso de la estructura a través de las columnas, sirve de asiento a las estructuras de arriostre en madera que soportaran los pisos de los diferentes espacios.

Gráfico 28**Gráfico 29**

Los entrepisos han sido construidos en su totalidad sobre estructuras portantes de madera que descansan sobre las fundaciones de H° A° protegiendolas de la humedad del suelo característico del sitio de intervención.

Gráfico 30

Para la union de los elementos se han utilizado pernos y planchetas de fierro (1/16"), asegurando de este modo el correcto anclaje de toda la estructura que esta suspendida del suelo salvando los desniveles del sitio de intervencion y protegiendo los materiales de los agentes naturales.

Gráfico 31

Los paneles bahereque son construidos utilizando el bambu charqueado (rallado) generando un tejido de distintas formas que sirve de estructura portante complementada por malla y hojas de paja o palma para completar el elemento con revoques de cemento y alternativamente revestimientos de bambu charqueado tejido o en forma de rollizos, consiguiendo muros livianos y altamente resistentes inclusive a movimientos sismicos por su flexibilidad.

Este tipo de muros bahereque es una abstracción y mejora de tecnologías heredadas en distintas culturas, donde se las realiza de manera artesanal y rustica.

Gráfico 32 Estructuras

Uniones, para el ensamble de los rollizos es necesario contar con un diseño definido para poder elaborar las piezas de corte y union que son ensambladas por simple amarre con cuerdas, alambre en incluso lias vegetales como medio provicional hasta fijar los elementos a traves de fijadores, platinas metalicas y pernos que son reforzados por el embutido de mortero de cemento para evitar el rasgado del material estructural (bambú).

Son las estructuras portantes del hotel donde se observa un mayor empleo del bambu como elemento de construccion en columnas, vigas, arriostres, tensores y otros, esto debido principalmente a las características físico mecánicas del mismo.

“Creemos que todos nuestros males tienen que estar solucionados con el hormigón armado y el ladrillo rindiendo un culto ciego a los materiales convencionales y en nuestras ciudades están los resultados”. - J.L.Reque.

Gráfico 33 Otras experiencias



- Sitio. Privado.
- Área temática. Arq. S/N
- Proyecto La Casa del Camba
- Año del proyecto. 2001.
- Año de construcción. Septiembre 2002.
- M² Construidos. 7000 aprox. – 15 Ha.
- Arquitecto / Obra. Recreación – Infraestructura Turística.
- Financiamiento. Santa cruz – Urubó.

Gráfico 34



Equipamiento Recreacional construido casi en su totalidad con Bambú Tacuara elemento constructivo natural que le confiere su imagen refinada en cuando a diseño e imagen Campestre.

Gráfico 35



Gráfico 36



Gráfico 37



Gráfico 38

En esta vivienda de uso particular se ha optado por un sistema constructivo combinado que además de incluir el Bambú Tacuara como elemento estructural utiliza también madera en forma de rollizos para rigidizar los elementos, aun así cabe hacer notar que esta forma de combinar materiales no se limita solamente a elementos naturales ya que se puede optimizar la duración y protección del bambú adoptando estructuras portantes de hormigón armado que le provean a la vivienda una forma de evolucionar de forma económica en el tiempo a través de cambios parciales o mayores en diferentes tipos de espacios que se acomoden a las necesidades temporales del usuario.

Gráfico 39

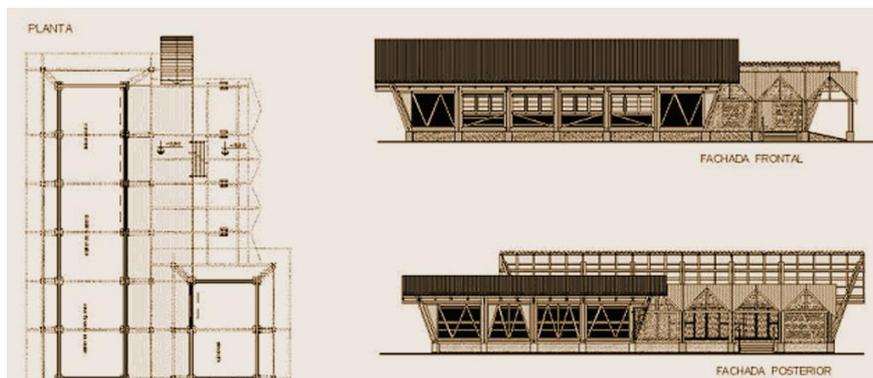
- Financiamiento. Santa cruz.
- Arquitecto / Obra. Recreación – Infraestructura Turística.
- M² Construidos. Hacienda en Gwarayos.
- Año de construcción. 2002.
- Año del proyecto Junio 2003.
- Proyecto Arq. S/N
- Área temática. Privado.
- Sitio. aprox. 750

Gráfico 40



Se observa una utilización del bambú tacuara muy tecnicada, razón por la cual sus espacios además de confortables resultan ser totalmente resistentes a las fuerzas naturales propias de la zona como fuertes lluvias y vientos.

Gráfico 41



- M² Construidos. 120 aprox.
- Año del proyecto. 2003.
- Proyecto Académico - U. Católica.
- Área temática. Vivienda Económica.
- Sitio. Santa cruz.

El proyecto académico responde a una modulación simple, conformada por pórticos en estructura de bambú tacuara y algunos arriostres rigidizan el conjunto completando la forma arquitectónica de las fachadas.

Gráfico 42



- Sitio. Santa cruz - Provincia Guarayos.
- Proyecto. Equipamiento Agropecuario-Vivienda tradicional.
- Año del proyecto. 2000.
- M² Construidos. 390 aprox.
- Financiamiento. Privado.

Construcciones de grandes luces o pequeñas el bambú representa un material constructivo de gran resistencia a bajo costo siempre y cuando se lo realice de forma tecnificada asegurando su máximo potencial.

2.6 Experiencias en el mundo

Gráfico 43



- País. Colombia
- Proyecto. Vivienda Unifamiliar.
- Financiamiento. Privado.

Gráfico 44



- País. Venezuela.
- Proyecto. Vivienda Unifamiliar.
- Financiamiento. Privado.

Gráfico 45



- País. Colombia.
- Proyecto. Vivienda Unifamiliar.
- Financiamiento. Privado.

Gráfico 46



Vivienda Unifamiliar de características constructivas mixtas, empleándose una estructura portante de Hormigón Armado para ser rellenado en secciones modulares por elementos en bambú como ser; muros, barandas, losas, cielos y cubiertas, definiendo muy ricamente el lenguaje arquitectónico y calidad de la vivienda.

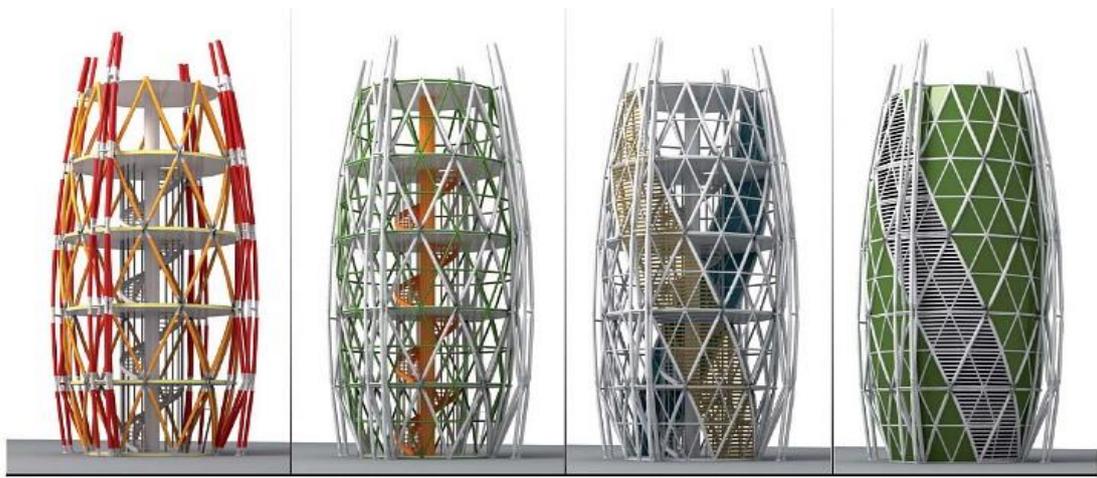
Gráfico 47

- País. Colombia.
- Proyecto. Puentes Peatonales.
- Financiamiento. Público.

Gráfico 48

- País. Colombia.
- Proyecto. Puentes Peatonales.
- Financiamiento. Público.

Las construcciones de tipo tradicional se transforman en entramados más complejos por el manejo estructural del bambú, dotándole al elemento arquitectónico de un renovado lenguaje contemporáneo pero rústico a la vez.

Gráfico 51

- Proyecto. Edificio en Nicolás San Juan.
- Arquitectos. Taller 13 – Elias Cattan , Patricio Guerrero.
- Ubicación. Ciudad de México – México.
- Fecha de Construcción. Septiembre 2010.

Gráfico 51**Gráfico 52**

- Proyecto. Restaurante en Greenville.
- Arquitectos. DSA + s.
- Ubicación. Ichivanya Japanese.
- Fecha de Construcción. Agosto 2010.
- Superficie. 148 m2.

Gráfico 53



- Proyecto. The Green School.
- Arquitectos. PT Bambú.
- Ubicación. Badung - Balí / Indonesia.
- Fecha de Construcción. 2007
- Superficie. 270 m2.

Gráfico 54



- Proyecto. Un bosque para una admiradora de la luna.
- Arquitectos. Benjamin Garcia Saxe.
- Ubicación. Playa avellanas, Guanacaste – Costa Rica.
- Fecha de Construcción. Enero 2010.
- Superficie. 80 m2.

Gráfico 55



- Proyecto. Housing en Carabanchel.
- Arquitectos. Foreign Office Architects.
- Ubicación. Madrid España.
- Fecha de Construcción. 2007
- Superficie. 11,384 m2.

Gráfico 56

Se observa una gran tecnificación e interés de los países desarrollados por el empleo del bambú como material de construcción, proyectándose equipamientos considerados de alta tecnología en su estilo. Estas construcciones por la naturaleza del material son construcciones ecológicas, livianas y de bajo coste lo que incide en la posibilidad de ahondar en diseños no convencionales y con un alto nivel de confort arquitectónico. Este es un potencial desaprovechado en nuestro medio por la falta de conocimiento de la tecnología del bambú y sus potenciales usos.

2.7 Descripción del uso artesanal de bambú

Podemos considerar que las artesanías se caracterizan por la manera en que son producidas o sea de una forma manual y en pequeñas cantidades; es la habilidad profesional de los productores, habilidad conseguida mediante un largo proceso de aprendizaje, la que determina la calidad del producto terminado.

Gráfico 57

Algunos objetos de bambú elaborados artesanalmente son producidos con fines utilitarios, como recipientes para agua o comida, cestos para contener alimentos o productos agrícolas, porta pinceles, muebles y muchos más, pero otros ejemplares son realizados como ornamentos, tanto para el hogar como para uso personal, podemos mencionar entre otros, collares, pulseras, biombos, cajas, figuras talladas, etc.

Gráfico 58

Los bambúes nativos proporcionan la materia prima para diversas artesanías; en los sitios y países donde crecen, los utilizan para elaborar productos que cubren algunas necesidades, como cestos y jaulas para animales, en otros lugares se realizan muebles, cortinas, lámparas de pie entre otros; en Jalisco, Colima y Nayarit elaboran muebles, recipientes pequeños, en Morelos palos de lluvia, collares pulsera y aretes, instrumentos musicales y sonajeros, en Guerrero jaulas para aves, lámparas colgantes, enrejados colgantes para contener macetas, collares, pulseras y aretes, en Puebla bastones y perchas, en el Estado de México cortinas y manteletas para mesa, mangos para plumeros y jaulas, en Quintana Roo collares y aretes pirograbados, en Chiapas portaplumas, ceniceros y cajitas.

Gracias a su forma tubular y a la resistencia de sus fibras, resulta muy útil en la fabricación de cucharas, tenedores, cuchillos y cualquier tipo de utensilio pequeño.

Gráfico 59

En muebles construidos con bambú, las patas de mesas y sillas son construidas con tallos completos (redondos) de diámetros menores; también para este propósito es común el uso de la parte superior del rizoma. Por otra parte para los respaldares y asientos, generalmente se utiliza tablilla obtenida de tallos de mayor diámetro.

Gráfico 60



Gráfico 61



2.8 Descripción del uso industrial del bambú

Medicinas, telas, carbón, papel, madera, son muchas las aplicaciones del bambú. El elegante rayón, tan de moda en los últimos tiempos para audaces vestidos de gran caída, está hecho con fibras de bambú. Durante la II Guerra Mundial, se experimentó con éxito el uso de paneles tejidos de bambú en la construcción aeronáutica. Del bambú se obtienen componentes que se utilizan en cosmética para mantener hermoso el cabello y la piel.

La industria farmacéutica ha comprobado que ciertas sustancias que se obtienen del bambú poseen efectos anticancerígenos. El carbón obtenido del bambú tiene mayores ventajas que cualquier otro carbón para la fabricación de baterías eléctricas. Y como dato curioso, hay que recordar que Edison utilizó filamentos carbonizados de bambú en sus experimentos para descubrir la lámpara incandescente.

Gráfico 62



Hay uno especialmente trascendental: la fabricación de papel. Cada año se sacrifican miles de hectáreas de bosque para utilizar los troncos de miles y miles de árboles en la producción de papel. Frecuentemente, esos bosques no se reponen jamás.

A veces, porque es imposible: el ser humano no logra imitar la complejidad y variedad de un bosque natural. Otras veces, los criterios cortoplacistas de las empresas explotadora-expoliadoras del bosque no incluyen la inversión en reforestación. En otras ocasiones, se prefiere destinar las tierras de bosque arrasado a fines teóricamente más rentables; ganadería extensiva o agricultura de frontera. Y así, el planeta se desertiza.

Gráfico 63



El bambú es una alternativa. Sobre el bosque, el bambuzal tiene la ventaja de que puede ser manejado durante períodos ilimitados de tiempo sin muchas dificultades. Y además, la fibra de bambú es mejor que la mejor fibra de madera para fabricar papel. La utilidad de una fibra se calcula en función de su relación largo-ancho.

Cuanto más larga y más estrecha sea la fibra, mejor papel produce. La fibra de bambú resulta ser mucho más apropiada que cualquier otra. Para saber cuánto bambú hace falta para producir papel, existen ya cálculos bastante precisos: una hectárea de bambuzal produce aproximadamente una tonelada de pulpa de papel.

El bambú como alimento, uno de los grandes desafíos en el cultivo del bambú es mantener al ganado a respetuosa distancia de sus hojas. Las vacas, cabras y ovejas tienen en las cortezas y ramas del bambú un muy apetecido pasto, con elevadas concentraciones de proteínas.

Pero la entrada descontrolada de animales en el bambuzal puede dañarlo. En los países con larga tradición de cultivo y aprovechamiento del bambú, los ganaderos podan las hojas sin dañar los tallos y las usan como forraje para el ganado.

También el ser humano puede alimentarse con el bambú. Los cogollos - tallos todavía pequeños pero que ya emergen del suelo - sirven para la alimentación. Como con los espárragos, es preciso cubrir los cogollos con tierra, porque si no, se ponen fibrosos y pierden calidad.

Cuando el cogollo asoma a la superficie, hay que esperar 10-15 días y al alcanzar una altura de unos 30 centímetros ya puede cortarse. Se hierven largo rato, como los frijoles. Saben tan sabrosos como las papas y son mucho más nutritivos.

La demanda internacional de cogollos de bambú en conserva está en alza, a la misma velocidad con que el Japón y los "tigres de Asia" se imponen en la economía mundial, lo que augura buen futuro a este producto no tradicional.

Gráfico 64



Laminados en bambú, el uso de laminados de bambú en forma de pisos y puertas es cada vez mayor, debido a los numerosos beneficios y ventajas que proporcionan, ya sea para el hogar o la aplicación comercial.

La Instalación de pisos de bambú laminado puede ser muy básica y a veces puede ser terminado con los mismos procedimientos de otros materiales, pero es más recomendable que mantenga el manual de instrucciones del producto adquirido.

Algunos de los problemas asociados con el bambú, pueden ser minimizados creando láminas de las tiras de bambú.

Estas se hacen por una simple división de la totalidad de la vara, en pequeñas tiras que luego son presionadas y laminadas para crear una gran variedad de productos.

En 1942, se encargó un estudio por parte del gobierno de Estados Unidos para ver el comportamiento del bambú en varas.

Actualmente, los productos que se fabrican con bambú laminado, incluyen láminas de piso que son particularmente apetecidos por sus resistencia al tráfico pesado. Realmente no hay límites para el uso de bambú laminado.

Éste puede ser usado para hacer sillas y otros artículos como muebles, platos y utensilios. De hecho puede ser usado como cualquier madera laminada, con las ventajas sobresalientes del bambú que es más liviano y de bajo costo.

Gráfico 65



El sinfín de aplicaciones de la madera laminada de bambú haría demasiado largo el presente informe por lo que se recomienda su estudio particularizado de forma individual al caso de interés.

2.9 Descripción de las propiedades naturales del bambú

Gráfico 66



A pesar de que, por su tamaño y aspecto, los bambúes parecen árboles, no lo son. Son hierbas. Son monte que crece de prisa y espontáneamente, sin cultivo, silvestre, como crece la hierba. Se diferencia de la mayoría de las hierbas por su tamaño y por su tiempo de vida.

Un bambú puede alcanzar 30 metros de altura y 45 y hasta 60 centímetros de diámetro. Y puede vivir muchos años, hasta más de un siglo. Por lo demás, su forma de nacer, de crecer y de vivir es igual a la de cualquier gramínea. Y, como las gramíneas, muere cuando florece y fructifica. Exactamente igual que el arroz, el trigo, la cebada o el maíz.

Existen variedades de bambú nativas de zonas tan frías que pueden permanecer varios meses al año bajo la nieve, como ocurre con los bambúes del norte de Japón o con los que crecen en los Andes, a 4 mil metros sobre el nivel del mar.

El bambú es una planta nativa de todos los continentes, excepto de Europa, donde no sólo no hay bambuzales, sino que algunos intentos realizados para aclimatar esta planta han terminado en éxitos muy dudosos o en fracasos.

En Asia fue donde empezó a utilizarse el bambú, hace más de 6 mil años. Desde entonces, los asiáticos experimentan usos y posibilidades, calculándose que han encontrado más de mil 500 aplicaciones: alimentación humana y animal, construcción, mobiliario, vestido, medicina, diferentes ramas de la industria y hasta aeronáutica.

Pese a que Oceanía es un continente que ha tenido su propia evolución, con características diferentes a las de las otras masas continentales, cuenta con extensos bosques de bambú. África también produce bambú nativo. En América, los bambuzales se extienden desde el sur de los Estados Unidos hasta el Norte de la Argentina.

Aunque el ser humano ha utilizado el bambú desde hace milenios, ignora aún mucho sobre esta planta, que ha logrado esconder mucho de su intimidad a las miradas de observadores y científicos.

Por ejemplo, no se sabe con certeza cuántos son los géneros y especies de bambú que existen en el mundo, calculándose que hay más de 50 géneros y entre 600 y mil 200 especies. Y es que para definir con precisión el género y la especie de un vegetal, son datos imprescindibles las características de la flor y del fruto. Y el bambú puede estar hasta más de un siglo sin florecer y por lo tanto, sin dar fruto.

Son muchos los que viven toda una larga vida en un paisaje de bambúes y mueren sin verle una floración. El bambú no se reproduce ni fácil ni frecuentemente por semillas, pues raramente las produce, sino por rizomas subterráneos.

Gráfico 67



Las raíces del bambú se extienden ampliamente bajo tierra, llenas de yemas que, a su debido tiempo, desarrollan una nueva vara de bambú. Dependiendo de las especies, las raíces son gruesas y cortas - lo que obliga a que las varas crezcan agrupadas, en formaciones muy comprimidas, en "macolla" - o son largas y delgadas y avanzan bajo tierra a grandes distancias. Esto es importante a la hora de definir qué tipo de bambú es el más adecuado para cada uso.

En toda la Naturaleza, el bambú es la planta que más rápidamente crece. Un brote crece un promedio de entre 8-15 centímetros diarios en su ambiente natural. En cultivos experimentales y en condiciones óptimas puede crecer más de un metro en un día. Ninguna otra especie - aun otras hierbas - es capaz de batir ese récord.

A esa velocidad, el brote alcanza su máxima altura en unos 3 meses como promedio. A partir de ese momento, el tallo comienza su prolongado proceso de maduración, que dura entre 3 y 6 años, dependiendo de las especies y del uso que se le quiera dar.

Durante ese tiempo, el tallo - que inicialmente es relativamente blando - sufre una transformación en su estructura, que se conoce como lignificación: la hierba se transforma en leña, en madera.

El bambú es un importante agente de recuperación de suelos contaminados puesto que su estructura vegetativa propicia la regulación de aguas contaminadas absorbiendo las sustancias tóxicas para depurarlas y devolverlas hacia su entorno de forma purificada además su absorción de dióxido de Carbono.

No es comparable con ninguna otra especie vegetativa árbol o hierba ya que es mayor a todas estas, por lo tanto de muchas formas el bambú es una planta gramínea que depura el medio ambiente y puede ser utilizada como medida de mitigación ante entornos contaminados o erosionados por sus características propias ya descritas.

Gráfico 68



Capítulo III

3 Desarrollo metodológico

3.1 Metodología Adoptada

La presente investigación integra al marco teórico como parte del procedimiento investigativo por lo que el resultado de la misma, se expresara bajo esta estructura organizativa que parte de los aspectos previstos en los objetivos planteados:

Se establecen los procesos, elementos, soluciones y alternativas de la tecnología del bambú que están desarrolladas en los diferentes aspectos que se detallan:

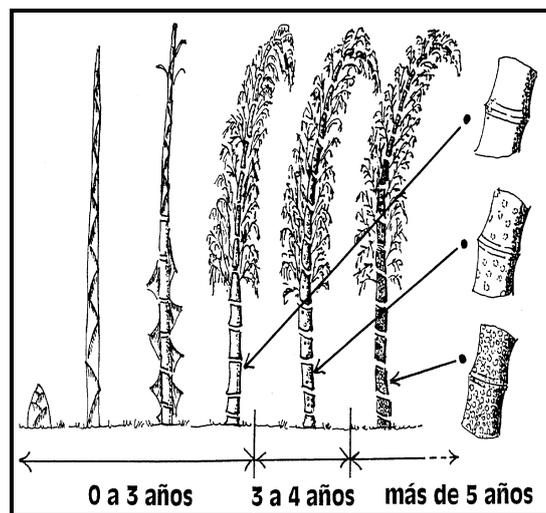
Taxomia del bambú

En Bolivia se han podido identificar 9 géneros, 24 especies y una sub especie de bambusaceas de las cuales el género guadua en sus especies paniculata, angustifolia y bambusa bulgaris son consideradas las más representativas, por la incidencia en el desarrollo económico que está generando el bambú como materia prima para las artesanías y recientemente en la construcción.

Son estas especies (paniculata, angustifolia y bambusa) pertenecientes al género guadua las que poseen las características necesarias de resistencia para la utilización en la construcción puesto que su bajo nivel de almidón y humedad las hacen más resistentes a los agentes físico naturales y a los insectos xilófagos.

En nuestro país los géneros guadua son conocidos con el nombre genérico tacuara o tacuarembó dependiendo de las zonas de producción del bambú.

Gráfico 69



Edad del bambú. El crecimiento del bambú está marcado por las siguientes etapas:

Tabla 5

Tiempo.	Estado.
0 – 3 años.	Brote, renuevo, verde.
3 – 4 años.	Madura o hecha.
> - 5 años.	Vieja, seca o pasada.

Es a los 3 a 4 años cuando el bambú alcanza el tamaño, diámetro y resistencia óptimas para la construcción

Existe una controversia respecto al corte que aseguran debe hacerse en cuarto menguante en las horas de la madrugada, así se obtienen guaduas mas resistentes al ataque de insectos xilófagos y con mejores propiedades mecánicas.

Se han realizado experimentos en EE.UU. y Colombia, que no han arrojado resultados concluyentes al respecto por lo que se considera una práctica de carácter empírico.

Gráfico 70 Tratamiento del material

Curado en la mata. Después de cortadas las guaduas se dejan en el guadual con ramas y hojas recostadas y aisladas del suelo por piedras. Se deja en esta posición durante un mes, para luego retirar las ramas y dejar secar en un lugar ventilado.



Curado por inmersión en agua. Consiste en sumergir las guadúas después de cortadas en un estanque o en un río por menos de un mes, es el menos recomendable ya que las guaduas se manchan y se vuelven quebradizas.

Curado al calor. Este sistema de curado es muy eficiente ya que se obtienen guaduas secas en corto tiempo. Consiste en poner las guaduas de forma horizontal sobre brasas a una distancia prudente para que no se quemen.

El problema más grande que presentan las estructuras que tienen tacuara o guadua es el de la preservación, pues son muy susceptibles al ataque de insectos, la humedad y el sol. Para estos problemas hay varios tipos de solución dependiendo de la utilización de la guadua o los agentes a los que se va a ver expuesta.

Gráfico 71 Prevención



Método Baucherie. Que consiste en aplicar una solución química a presión a los tallos recién cortados (8 horas de corte) para reemplazar la sabia de estos, quedando impregnados y protegidos contra los insectos. Este sistema también sirve para proteger contra el fuego si se utilizan los químicos adecuados.

Inmunización con humo. En el cual las guaduas son metidas en una cámara de humo donde se dejan hasta que alcancen una humedad del 10%. Se afirma que el humo produce la cristalización de la lignina, trayendo como consecuencia una mayor resistencia al ataque de insectos, impermeabilidad y resistencia mecánica.

Gráfico 72



Tratamiento por inmersión. Es el sistema de tratamiento más utilizado por su bajo costo económico y operativo, que consiste en sumergir las guaduas en un estanque o fosa lleno de químicos donde se deja por un día para luego hacerlas secar en la intemperie, al igual que el método Baucherie sirve contra insectos y fuego. Este es el método más utilizado en Bolivia por su bajo costo y facilidad operativa que consiste en preparar una solución química para sumergir los rollizos.

Tabla 5

Químicos Empleados.		Dosificación.	
Nombre químico.	Octaborato de sodio tetrahidratado.	Bórax.	1 Kg.
Familia química.	Boratos inorgánicos.	Ácido Bórico.	1 Kg.
Formula química:	$\text{Na}_2\text{B}_8\text{O}_{13}4\text{H}_2\text{O}$	Agua.	100 Lt.
Tiempo de Inmersión: 48 a 72 Horas.			

Gráfico 73



- Para mejores resultados se recomienda la perforación del centro de las cañas a fin de que los químicos penetren en las células del bambú de mejor manera.
- Una vez sumergidos los rollizos en la solución química es necesario proteger la misma de las lluvias que podrían alterar la proporción de los elementos químicos.

Consideraciones

Para proteger las guaduas contra el sol es muy común aplicarles pinturas de colores, barnices transparentes o asegurarse de que los aleros protejan la exposición de los elementos.

Los efectos que tiene el sol sobre las guaduas son la pérdida de color y agrietamientos por tensiones internas debidas al cambio adiabático de temperatura.

Contra la humedad también se recomienda pintura al aceite, pero si son guaduas que van a permanecer expuestas a la intemperie o enterradas es recomendable hacerles un recubrimiento con asfalto líquido.

Herramientas

Para utilizar el bambú en la construcción, el hombre requiere herramientas e instrumentos que faciliten el manejo y la transformación adecuada del bambú para su utilización en las edificaciones.

Este documento, recoge variedad de herramientas manuales y eléctricas, que son de uso común en la construcción con bambú.

Gráfico 74 Machete**Función**

Es la herramienta más importante para trabajar el bambú, tanto en las plantaciones como en la construcción, con gran variedad de usos.

Gráfico 75 Serrucho**Función**

Herramienta que se utiliza para cortar transversalmente al bambú, de manera similar a la que se realiza con la madera.

Gráfico 76 Sierra de banco**Función**

Se utiliza para cortar transversalmente los bambúes. La sierra es intercambiable y de diferente número de dientes, en función del trabajo requerido.

Gráfico 77 Motosierra**Función**

Se utiliza para el corte transversal de bambúes enteros o para cortar la esterilla o caña abierta sobrante en los bordes de los paneles de bambú.

Gráfico 78 Hacha**Función**

Permite la abertura longitudinal de las secciones cilíndricas del bambú a fin de poder obtener bambú charqueado.

Gráfico 79 Palín**Función**

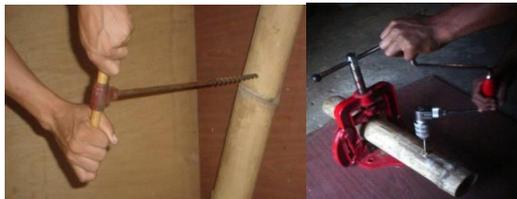
Herramienta que se utiliza para podar ramas de bambú, abrir bambúes enteros o limpiar la parte interna de los bambúes abiertos o esterillas.

Gráfico 80 Azuela o zuela**Función**

Se utiliza para limpiar la parte interior de los bambúes abiertos (o esterilla) desprendiendo los tabiques interiores y los tejidos blandos existentes.

Gráfico 81 Limpiador de cañas**Función**

Herramienta que se utiliza para limpiar la parte interior y cóncava de secciones longitudinales de los bambúes.

Gráfico 82 Barreno, berbiquí**Función**

Herramienta que se utiliza para taladrar transversalmente el bambú y obtener orificios de diámetros variables para el empernaje.

Gráfico 83 Taladro eléctrico

Función

Permite la ejecución de perforaciones de forma circular en los bambúes para las distintas formas de sujeción principalmente empernaje.

Gráfico 84 Brocas de extensión



Función

Herramienta que permite la perforación simultánea y total de 2 o más bambúes.

Gráfico 85 Brocas con sierra



Función

Para realizar perforaciones de mayor diámetro y de poca profundidad y en donde se vaya a inyectar concreto.

Gráfico 86 Cuerdas y alambres



Función

Se utilizan cuerdas para asegurar temporal o definitivamente, los puntos o uniones donde concurren dos o más bambúes.

Gráfico 87 Alambres**Función**

Se utilizan para sujetar los bambúes abiertos a las estructuras de madera o bambú de manera previa a su recubrimiento con morteros.

Gráfico 88 Bancos de soporte**Función**

Son tableros o mesas con dispositivos móviles que permiten asegurar los bambúes para facilitar la acción de corte o perforación.

Gráfico 89 Prensa de tornillo y cadena**Función**

Herramienta que permite sujetar los bambúes en los cuales se prevé realizar una operación de corte, perforación o tallado de sus embocaduras.

Gráfico 90 Formón**Función**

Herramienta que se utiliza para hacer muescas o rebajes en los cortes de uniones tradicionales de los bambúes.

Gráfico 91 Gubias**Función**

Herramientas para efectuar los rebajes cóncavos, así como los labrados y acanalado en bambúes rollizos o enteros.

Gráfico 92 Embudo**Función**

Se utiliza para introducir concreto simple en los bambúes y asegurar los elementos metálicos contenidos en el interior de aquellos.

Gráfico 93 Tarrajas

Función

Se utilizan para realizar hilos o helicoides en varillas de acero de diferente longitud y diámetro, que serán usadas como pernos de sujeción.

Gráfico 94 Martillos, mazos



Función

Se utiliza para golpear clavos de corta longitud en latillas de bambú y para golpear los extremos de los formones, bordes de machetes, etc. sin dañarlos.

Gráfico 95 Soplete



Función

Se utiliza para quemar superficialmente los bambúes, para curarlos otorgándoles además un color más oscuro y evitando así que se haga blanco con el tiempo.

Gráfico 96 Cepillos metálicos



Función

Para limpiar superficialmente los bambúes especialmente en los nudos, y desprender las pelusas o astillas que dificultan el manejo del bambú.

Gráfico 97 Cortadoras de estrella**Función**

Se utilizan para cortar longitudinalmente los bambúes enteros en esterillas para diversas aplicaciones constructivas o decorativas.

Otros. Planchas, badilejos, reglas y otros son utilizados para recubrimientos de mortero de cemento sobre estructuras de bambú o paneles bahereque según se requiera.

Gráfico 98 Transformaciones

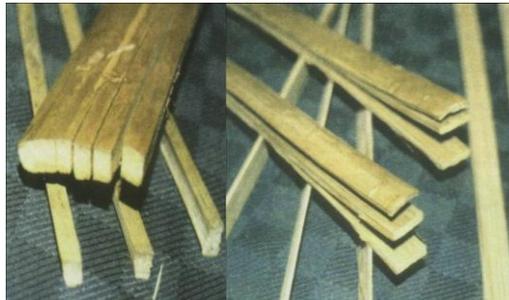
Uso natural o rollizo. Es la forma más difundida de utilización del bambú como elementos estructurales que por las características físicas de sus nudos y fibras le otorgan mayor cantidad de resistencia a los esfuerzos mecánicos a los cuales fuere sometido un rollizo de bambú.

Gráfico 99

Abierta, picada, esterilla o charqueada. Es el procedimiento por el cual los rollizos de bambú son abiertos con las herramientas necesarias a fin de obtener elementos flexibles que pueden ser manipulados según el uso que se le pretenda dar, a estos elementos también se los conoce como medio latón, latones, y latillas respectivamente y son utilizados en su mayoría para realizar entramados de soporte para muros bahereque.

Gráfico 100

Este procedimiento es completado por la limpieza que se debe realizar a los latones de los restos de nudo que entorpecerían la manipulación y le quitarían flexibilidad a los elementos. Esta es otra forma de mayor aprovechamiento del material en otra diferente al rollizo de bambú.

Gráfico 101

Palillos y cintas. Es una variación del procedimiento de esterillado diferenciado por las dimensiones y acabado que son utilizadas para entramados y tejidos vistos que son complementarios en muros bahereque incrementando sus cualidades estéticas.

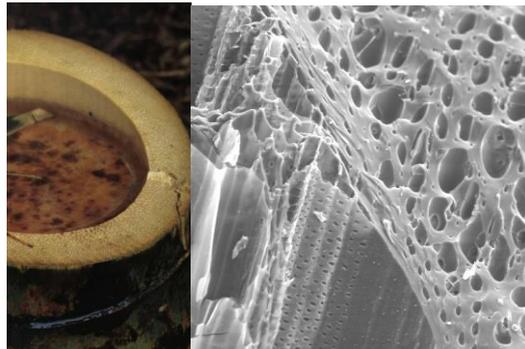
Gráfico 102

Tejidos. Estos están compuestos de entramados de diferentes diseños que son de uso visto en muros bahereque en la construcción y como bases materiales para los laminados en la industria.

Gráfico 103

Las pruebas mecánicas están siendo recientemente aplicadas de forma científica puesto que las resistencias eran asumidas de una forma empírica.

El mayor problema al tiempo de realizar ensayos mecánicos radica en la forma de sujeción a los aparatos de prueba por lo que se ha recurrido a diferentes muestreos y resultados.

Gráfico 104

Se sabe que es la estructura física de sus fibras y nudos los factores condicionantes de la alta resistencia del bambú a los diferentes tipos de esfuerzos mecánicos que presenta la construcción.

Bambú acero vegetal. Se lo llama así por la alta resistencia a los esfuerzos mecánicos a los que es sometido en la construcción de estructuras habitables, para lo cual se tiene valores obtenidos en diferentes pruebas en EE.UU. y Colombia respectivamente, datos que recientemente están siendo adoptados como normativas.

La razón de un material es expresado como el valor del peso unitario de un elemento sobre la resistencia que otorga el mismo, valor que del bambú se ha calculado por encima de la razón del acero, afirmación la que ha conducido a llamar acero vegetal al bambú guadua o tacuara.

Los siguientes valores son los recomendados (menores) para cálculos estructurales con guaduas como valores de diseño absoluto y asumido por INBAR.

Esta prueba no ha resultado tan común para el bambú, pues quienes se han interesado por estudiarla siempre indagaron acerca del comportamiento del tallo completo y encontraban dificultad al tratar de sujetarlo para hallar de él sin que los efectos locales de mecanismo de sujeción lo dañaran.

Se considera como valor de diseño 26.4 Mpa.

Al margen de las pruebas mecánicas se sabe que la resistencia a la tracción disminuye con el paso de los años.

Compresión

Inicialmente el estudio de ensayos de compresión en busca de relaciones aparentes y comportamiento de probetas de varias longitudes, lleva a introducirse un poco en el estudio de la teoría del pandeo y estabilidad.

Se considera como valor de diseño 14.0 Mpa.

La resistencia a la compresión aumenta con el paso del tiempo al comprimirse la estructura celulosa de sus paredes

Son las vigas como miembros estructurales los que se someten a cargas que actual transversalmente al eje longitudinal. Las cargas originan acciones internas, o resultantes del esfuerzo en forma de cortantes y momentos flexionantes. Se considera como valor de diseño 15.0 – 19.4 Mpa.

Cuando el esfuerzo cortante es generado por acción de fuerzas directas que tratan de cortar el material, se trata de cortante directo o simple, el esfuerzo cortante se presenta también de manera indirecta en miembros que trabajan a tracción, torsión, y flexión.

Se considera como valor de diseño 1.1 Mpa.

Tabla 7 Esfuerzos mecánicos

Esfuerzo.	Unidad.	Guadua.	Acero.	Madera – abeto
Tensión.	KN/cm ² .	15	16	8.9
Compresión.	KN/cm ² .	3.9	14	4.3
Flexión.	KN/cm ² .	7.6	14	6.8
Cortante.	KN/cm ² .	2	9.2	0.7
Impacto.	KN/cm ² .	0.9		
Elasticidad M.	KN/cm ² .	1800	21000	1100

Sistema constructivo

El sistema constructivo está condicionado por el acceso y desarrollo tecnológico del lugar de intervención que se ve reflejado en las dimensiones, acabados, combinaciones y principalmente en el tipo de uniones que posee una determinada obra arquitectónica.

A continuación se describen los pasos o usos generales que se le puede dar al bambú como elemento estructural y tecnológico constructivo del mismo.

Gráfico 105**Gráfico 106**

Las fundaciones pueden ser de geometría y diseño variable cumpliendo la función de absorber todos los esfuerzos puntuales de las estructuras de bambú y distribuirlos sobre el terreno sitio de intervención.

También se realizan fundaciones de tipo corrido y en H°C° a fin de soportar las cargas de muros portantes bahereque.

Gráfico 107 Estructuras

La complejidad de las estructuras de tacuara están condicionadas por los elementos que las componen: barras, uniones y diseño.

Están conformadas por los elementos rollizos de bambú que según su ubicación y tipo de esfuerzo al que es sometido varía en sus dimensiones longitudinales y secciones transversales, que pueden ser debidamente deformadas en su proceso de crecimiento para obtener formas mas convenientes de diseño (sunchos de metal en forma rectangular o cuadrada).

El diseño de las estructuras está condicionado por el diseño y el tipo de uniones que se emplea siendo este último aspecto el que permite el reemplazo de piezas (barras) en sitio con mucha o regular facilidad.

La unión de los elementos estructurales en bambú son conformados por cortes y sistemas de fijación que permiten el empleo y trabajo de las estructuras.

Gráfico 108 Barras



Los cortes son realizados según el requerimiento del diseño estructural y la forma que requieran las uniones para poder ensamblar los diferentes componentes de las estructuras.

Son muchas las formas de corte de las piezas en tacuara sin embargo se detallan algunas conocidas con los nombres: pico de flauta, dos orejas, boca de pescado, a bisel, boca de caballo y media boca de caballo respectivamente (de Izq. A Der. y de Arr. Ab.).

Gráfico 109



De similares nombres las uniones como tal pueden ser variadas en su combinación siendo adecuadas todas al diseño estructural que se proponga.

Sin embargo las más utilizadas son las de pico de flauta y de boca de pescado detalladas en la parte superior de la figura.

Gráfico 110

Fijación por simple amarre, es el sistema más rudimentario pero aún vigente en las etnias que utilizan el bambú en la construcción, utilizando para ello cuerdas, alambres, sunchos metálicos, plásticos e inclusive lias vegetales para poder amarrar la unión de elementos y construir estructuras simples como bardas y otras utilidades domésticas.

Gráfico 111

Complementos metálicos, es un sistema de reciente difusión a través del empleo de abrazaderas metálicas de diferentes tamaños a fin de poder sujetar los elementos sin perforar los rollizos y debilitarlos.

Gráfico 112 Sistema de empernaje

Es el sistema de mayor difusión y utilización por su versatilidad de aplicación y la facilidad de encontrar los insumos necesarios para unir las piezas de estructuras en tacuara.

Gráfico 113

Se procede a armar la estructura en función del diseño y tipo de corte que permita el maclaje de las piezas, utilizando para esto cuerdas o alambres como fijación provisional o andamiajes hasta establecer las definitivas.

Gráfico 114

Se debe fijar los elementos a través de varillas de acero utilizándolos como fijadores metálicos para las distintas combinaciones que puede requerir la estructura atravesando las secciones y tensionando las juntas por acción directa del empernaje.

Gráfico 115

El último paso es el relleno o embutido de concreto en forma de morteros de cemento que son introducidos a las juntas donde existe empernaje a fin de reforzar las mismas y poder ajustar los pernos sin dañar o quebrar los rollizos de bambú tacuara.

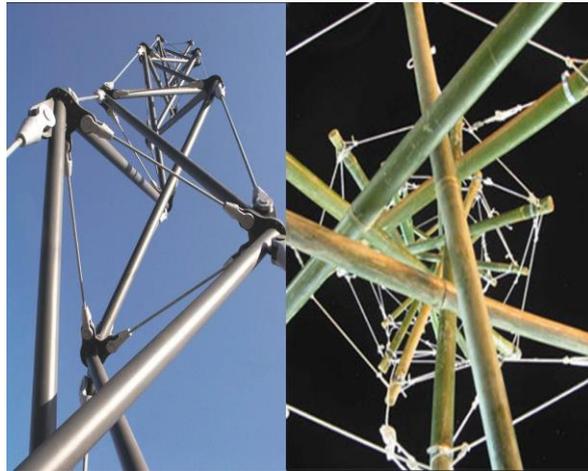
Este sistema es utilizado en diferentes tipos de construcciones como ser: viviendas, equipamientos eco turísticos, puentes peatonales y otros, además también es empleado en la artesanía de muebles utilizando pernos y tornillos para poder fijar los elementos.

Estructuras espaciales

Las estructuras espaciales son consideradas como un sistema constructivo de alta tecnología que ha visto su desarrollo en la utilización de bambú como elemento en barras para completar las mallas espaciales dadas las características de resistencia y peso de este material (el bambú guadua o tacuara.)

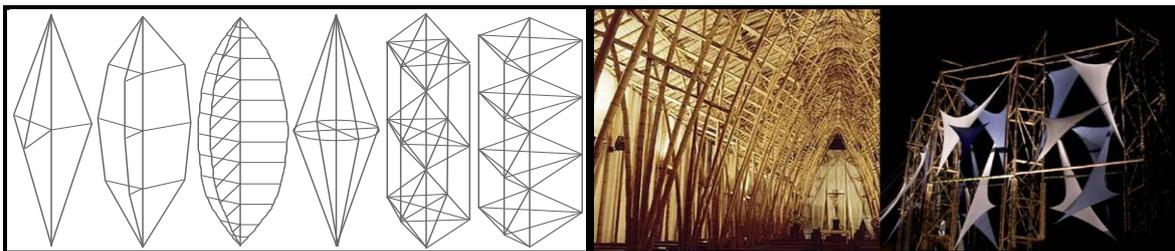
Las estructuras espaciales pueden ser bidimensionales o tridimensionales según se requiera y en su mayoría están conformadas por el sistema estructural vector activo en la cual los elementos lineales cortos, vacíos y rectos (barras de guadua) transmiten las fuerzas mediante descomposición vectorial, es decir a través de fuerzas unidireccionales que trabajan a compresión o tracción.

Gráfico 117



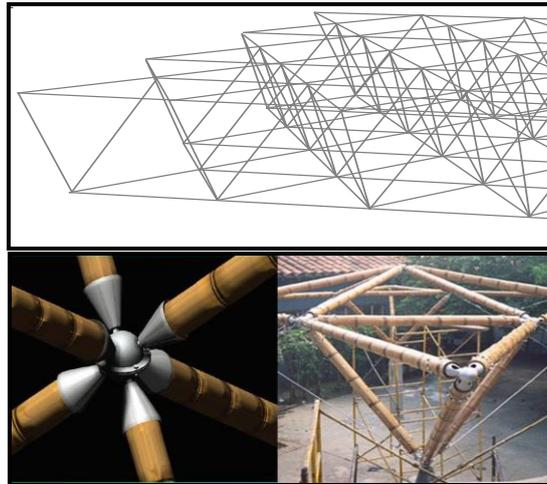
Dentro de este tipo de estructuras se diferencian dos formas de aplicación: la forma activa y el vector activo.

Gráfica 118 La forma activa



Estas estructuras están condicionadas por el diseño de su forma que les proporciona el equilibrio perfecto entre los diferentes esfuerzos y sollicitaciones de sus elementos principalmente las barras.

Gráfico 119 El vector activo



Se caracteriza por la estabilización de sus elementos a través de la transmisión e intercambio de fuerzas de compresión y tracción entre las barras a través de sus uniones.

Características

Este sistema estructural está basado en las siguientes propiedades:

Se emplean herramientas eléctricas que proporcionan mayor precisión a las piezas componentes.

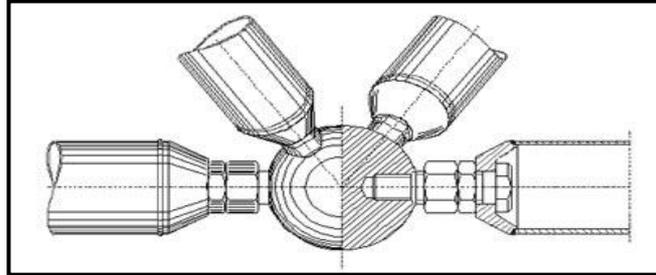
- El disponer de secciones cortas y huecas, no rellenas con H^o , convierte a la Guadua en un material liviano y muy apto, cuyas dimensiones longitudinales además se pueden estandarizar, por cuanto sus cambios dimensionales en este eje son mínimos, por lo que la coordinación modular se muy favorecida.
- En su cara las fibras compuestas pro sílice, brindan resistencia a fuerzas axiales y debido a su forma tubular tiene una esbeltez y un radio de giro muy favorable respecto a otros materiales con igual peso.
- En este sistema estructural, las barras de Guadua al no soportar cargas perpendiculares en sus ejes longitudinales, no sufren aplastamiento.
- Se produce sobre bancos de trabajo y bajo techo en condiciones óptimas de trabajabilidad para luego ensamblar en el sitio, lo que certifica precisión en las uniones y el conjunto que induce a una favorable continuidad estructural, capaz de ser estable, sustentarse convenientemente y soportar cargas variables.
- Las propuestas deben asegurar condiciones secas, buena ventilación de todos los elementos, accesibilidad para realizar mantenimiento y el eventual reemplazo de piezas dañadas.

Uniones espaciales

Las uniones espaciales están condicionadas por los nudos maclaje de las estructuras relegando el corte de las piezas de bambú a una forma definida y estándar para todos los elementos componentes de la estructura.

Pernos que presentan dos cuerpos roscados con sentidos inversos de rosca. Este doble sentido de rosca permite que con un sólo sentido de accionamiento sobre el perno, se consigan dos aprietes, el de la esfera con el perno y el de éste con la barra por medio de las tuercas alojadas en el cuerpo de mayor diámetro del perno.

Gráfico 120



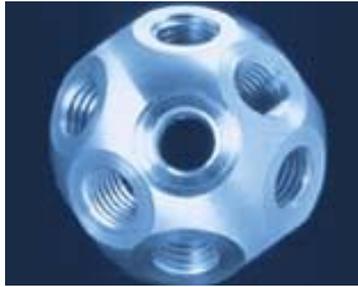
El objetivo principal de estas dos tuercas es el de servir para el accionamiento del perno mediante un sistema de bloqueo por efecto de tuerca y contratuerca. El sistema permite además la retracción del perno hacia el interior de la barra de modo que ésta pueda ensamblarse y desensamblarse sin modificar las posiciones relativas de las dos esferas que une.

Gráfico 121



Como se puede observar las uniones o nodos son realizados de diferentes formas usándose de preferencia complementos metálicos que articulan las barras de las mallas espaciales y poder transmitir de esta forma los esfuerzos de una estructura.

El sistema constructivo de mayor aceptación es el del nodo MERO que posee mayor tecnificación y precisión estructural.

Gráfico 122 Sistema estructural mero

Este sistema estructural ha sido patentado en Bolivia y desarrollado bajo el ingenio de sus proyectistas.

Gráfico 123 Sistema estructural evo

Estos elementos son los componentes principales de unión juntamente con las barras de tacuara que conforman los distintos sistemas constructivos a fin de estabilizar las estructuras espaciales.

En estructuras espaciales es muy importante la relación entre las barras y los nodos puesto que dan como resultado las siguientes ventajas:

- La utilización de uniones aptas, soportan cargas tan altas como las de la Guadua de lo contrario serian el eslabón más débil.
- Las uniones deben ser diseñadas para lograr continuidad estructural que incluye:
- La transmisión de cargas de acuerdo a lo requerido.
- Las deformaciones son predecibles y controlables.

Paneles bahereque

La palabra bahereque significa textualmente construcción de cañas y tierra, pero por un conjunto de hechos sucesivos su dominio se ha multiplicado y llegado a significar mas que solo eso, lo que comúnmente se asocia con bahereque es la reinención de una tecnología que se remonta a los orígenes de la civilización.

Tipos de bahereque

Es muy común que se asocie el bahereque con “casas de guadua”, concepción que esta del todo errada de acuerdo con la definición, lo que si no se puede perder de vista es que la madera aserrada o rolliza en el peor de los casos, constituyó el sistema estructural de las edificaciones, característica que aun hoy en día se pueden constatar en diferentes etnias del acervo latinoamericano, la tecnología de uniones, traslapos y demás, para madera, estaba desarrollada ampliamente en aquella época, mientras que esos mismos trabajos en guadua siguen siendo su talón de Aquiles.

Gráfico 124



El más popular de todos, quizá por su accesibilidad y por ser el primero. Este tipo de bahereque terminado con revoque de mortero de tierra sobre esterilla o latas de guadua, tuvo como alternativas los muros macizos y los muros huecos, ambos con la misma estructura.

Gráfico 125 Caserón en Manizales – Colombia



Este tipo de bahereque aún es evidente en culturas como la guaraní que ha mantenido este sistema constructivo por tradición y herencia, que sin embargo no ha alcanzado el nivel de tecnificación y refinamiento en sus acabados como el caso es el caso de Colombia que ha alcanzado una notable mejora.

Gráfico 126 Canadillas – Monteagudo



Bahereque Metálico

Técnica de forrar las estructuras con delgadas laminas metálicas, con tal alto grado de elaboración, que solo se ha visto en Manizales – Colombia, dotando de un valor incomparable para la historia de esta ciudad

Gráfico 127 Café Real Madrid, Manizale



Bahereque de tabla.

Contemporáneo de los otros tipos, combinándose sin problema, utilizado tanto en exteriores como en interiores con un trato mas refinado y artesanal. Se utilizan tablas rusticas en forma vertical formando paredes y el resto de los elementos estructurales.

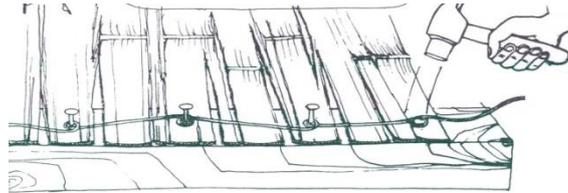
Gráfico 128



Bahereque encementado.

A la misma estructura de guadua se le aplica láminas metálicas perforadas, mallas metálicas o actualmente esterillas de guadua el mortero de cemento. Este sistema constructivo ha permitido la modernización de los edificios (Colombia) a bajo costo e imposibilitando la identificación a simple vista del bahereque constituyéndose en un sistema constructivo muy versátil y flexible.

Gráfico 129 Procedimiento



Se debe fijar la estructura de bambú esterillado o charqueado y entretejido a la estructura portante con clavos.

Seguidamente se debe fijar malla de gallinero a la estructura del panel bahereque (opcional.).

Gráfico 130



Posteriormente se debe aplicar el mortero de cemento o barro según las posibilidades económicas respectivas.

Este tipo de paneles deben ser cuidados de la exposición a las lluvias principalmente si se tienen revoques de barro.

Usos del bambú

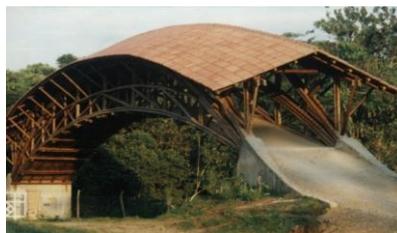
El bambú debe su tecnología al desarrollo de los tres grandes usos que se le atribuyen: la construcción, la artesanía y la industria estos dos últimos descritos en el marco teórico.

Gráfico 131

Equipamientos Eco turísticos. La construcción de equipamientos eco turísticos es uno de las temáticas del diseño arquitectónico que mejores resultados ha obtenido puesto que por la naturaleza de los equipamientos en si, se busca la preservación del medio ambiente a través del empleo del bambú como material de construcción rápidamente renovable, económicamente viable y socialmente benéfico.

Gráfico 132

Las estructuras espaciales bidimensionales y tridimensionales están siendo utilizadas con mayor fuerza a fin de crear nuevos espacios, tecnológicamente avanzados y visualmente no agresivos por la expresión del BAMBU.

Gráfico 133

Puentes peatonales. Que son construidos con fines comunales o muchas veces como complemento de equipamientos eco turísticos.

Gráfico 134

Basados en la misma tecnología de aplicación arquitectónica se han conseguido la construcción de puentes peatonales que van desde los 5 a 70 metros de luz, tal es el caso del puente que se muestra en la figura que alcanza esta longitud con apoyos a tracción y compresión completando la estructura.

Gráfico 134

Viviendas de interés social. Estas viviendas son desarrolladas bajo financiamiento de organismos internacionales como el BID e iniciativas estatales (Colombia) como es el caso que ha dado excelentes resultados económicos productivos y de condiciones de vida.

Gráfico 135

Equipamientos Agroindustriales. De distintos usos estos equipamientos han resultado económicamente benéficos por las luces que se pueden cubrir con bajas inversiones y facilidades técnicas puesto que no precisan de tecnología para construirlos.

Gráfico 136



Recreación Urbana. Son las estructuras espaciales las que brindan mayores posibilidades para desarrollar este tipo de construcciones.

3.2 Caracterización del sistema constructivo del bambú

Para la Caracterización del sistema constructivo del bambú se consideran los siguientes aspectos:

- Propiedades constructivas del bambú.
- Partes Utilitarias del bambú.
- Sistemas Estructurales del bambú.
 - Sistemas reticulares.
 - Ejes Curvos.
 - Pórticos Cruzados no empotrados.
 - Sistema Árbol.
 - Cerramientos y Fundaciones.

Propiedades constructivas del bambú tacura

Propiedades generales.		
Forma.		Apariencia.
Natural.	Rollizos.	Natural vista.
Transformada.	Charqueada.	Natural transformada.
Peso. Peso específico 0.6 g/cm^3 .		
Disponibilidad y uso. Se recomienda el cultivo del bambú tacuara a fin de garantizar su explotación racional y utilización con fines diversos.		
Propiedades estructurales esenciales.		
Resistencia de diseño.		$R = 102 \text{ Kg/cm}^2$.
Resistencia a la deformación. Relación entre rigidez y elasticidad condicionada por la forma de aplicación de las solicitudes mecánicas en los elementos de bambú.		

Dureza. La superficie cubierta de lignina y la disposición mono direccional de sus fibras incrementan la resistencia a raspaduras, abrasión y desgaste del bambú.	
El tratamiento por inmersión química cristaliza la lignina incrementando esta cualidad.	
Durabilidad. Se estima en un mínimo de 30 años controlando sus debilidades.	
Debilidades	El tratamiento con químicos inorgánicos (boratos) reduce el ataque de los insectos, exposición a la humedad y el sol al mínimo a través del reemplazo de la sabia orgánica y la cristalización de la lignina en su superficie.
Insectos.	
Humedad.	Recubrimientos con barnices, pinturas al aceite, o asfalto líquido.
Sol.	Recubrimientos con barnices, pinturas al aceite, o asfalto líquido, recomendándose para ambos casos la protección a la exposición de estos elementos a través de aleros.
Resistencia al fuego.	Tratamiento químico.
Resistencia a la fatiga.	Tracción. Se mantiene con el tiempo. Compresión. Se incrementa con el tiempo.
Uniformidad de la estructura física.	- Nudos transversales en la superficie longitudinal. - Reducción de su diámetro y grosor de paredes en su longitud.

Tabla 8

Material.	R Kg/cm ² .	M Kg/cm ² .	R/M Kg/cm ² .	E Kg/cm ² .	E/M Kg/cm ² .
Concreto.	82	2400	0.032	127400	53
Acero.	1630	7800	0.209	214000	274
Madera.	76	600	0.127	112000	187
BAMBÚ.	102	600	0.170	203900	340
R	Resistencia de diseño.	Propiedades mecánicas.			
M	Masa por volumen.	Resistencia	Compresión	825 Kg/cm ² .	
R/M	Relación de resistencia.	Resistencia	Flexión	856 Kg/cm ² .	
E	Módulo de elasticidad.	Resistencia	Cortante	23 Kg/cm ² .	
E/M	Relación de rigidez.	Resistencia	Tensión	3058 Kg/cm ²	

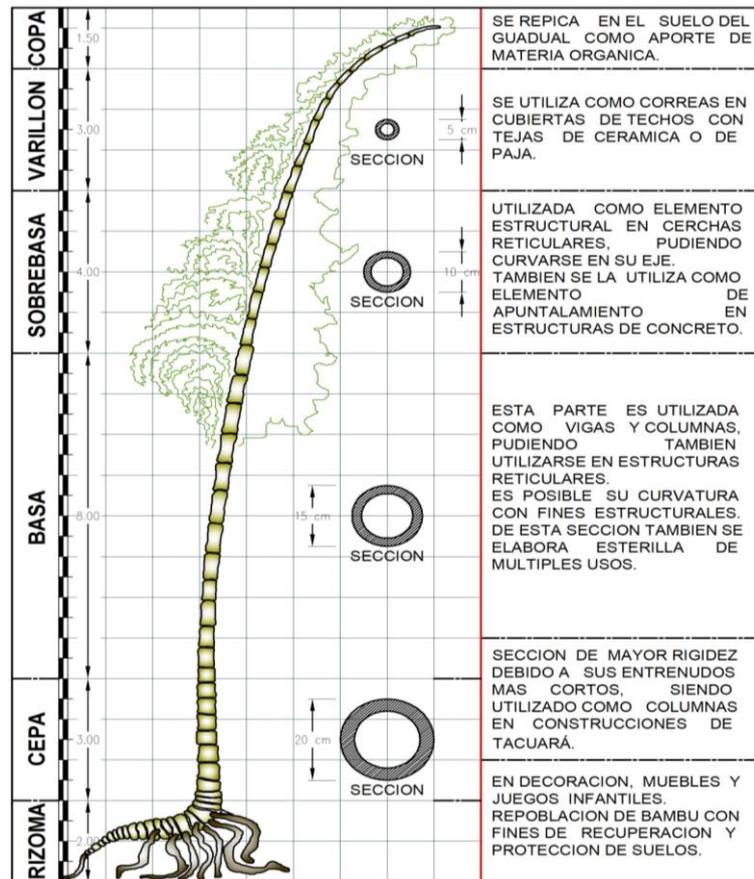
Partes utilizadas del bambú

Partes utilitarias del bambú (guadua)

Características

La tacuara como material de construcción es utilizada en diferentes aplicaciones a través del aprovechamiento de sus diámetros y longitudes que le otorgan diferentes cualidades y resistencias según el uso que se le quiera dar:

Gráfico 137



3.3 Ensayos de resistencia mecánica del bambú

Los ensayos de resistencia mecánica para el bambú se realizaron en dos géneros y especies respectivamente (*Guadua Angustifolia* y *Bambusa Arundinaria*) por lo que los valores arrojados deben ser adecuadamente interpretados para una comparación entre los mismos y de acuerdo a necesidad específica de utilización o valoración para el cálculo de estructuras Arquitectónicas.

Ensayo 1

El diseño de estructuras de guadua se ha visto limitado pues no ha existido un procedimiento de diseño, a pesar de que se ha realizado gran cantidad investigaciones sobre sus propiedades mecánicas. Este trabajo parte de los resultados de las propiedades mecánicas para luego poder determinar los esfuerzos admisibles.

Con base en esto se proponen procedimientos de diseño de elementos sometidos a compresión (columnas, pie-derechos y pie-de-amigos) y de elementos sometidos a flexión (vigas, viguetas y correas).

Propiedades mecánicas de la guadua angustifolia

La prueba de tracción es uno de los ensayos de materiales más comunes para determinar propiedades mecánicas; sin embargo, para la guadua no ha resultado tan común, pues quienes se habían interesado por estudiarla siempre indagaron acerca del comportamiento del tallo completo, y se encontraban con cierta dificultad al tratar de sujetarlo para hallar de él sin que los efectos locales del mecanismo de sujeción lo dañaran. Quizá sea esa la razón por la que casi no se cuenta con registros de datos de ensayos a tracción; en consecuencia se optó por hacer el ensayo con latas de guadua, y más recientemente con latas de guadua ahusadas para facilitar el agarre de las probetas según la recomendación del Inbar Standard for Determination of Physical And Mechanical Properties of Bamboo, que trata de homologar los ensayos de bambú en sus diferentes ensayos a partir de 1999.

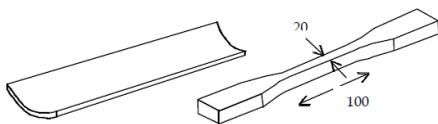


Figura 1. Latas de guadua , entera y ahusada

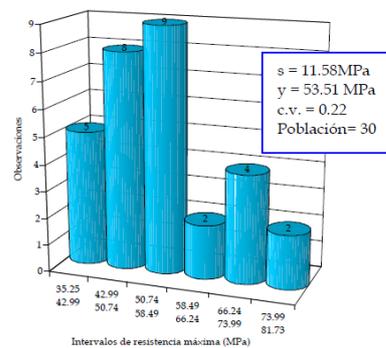
$$\sigma_x = \frac{My}{I}$$

Donde:

σ_x = Esfuerzo normal máximo.
 M = Momento máximo (PL/6).
 y = Radio exterior.
 I = Momento de inercia.

Gráfico 138

Gráfica 1. Histograma de resistencia máxima a la tracción



Con el uso de estas últimas probetas, se proporciona una buena zona de agarre y además se induce a que la falla ocurra hacia el centro de la probeta, donde las tensiones son más uniformes y fáciles de calcular.

Los resultados de los ensayos de tracción se muestran en la distribución de la gráfica 1, donde se observa que la tendencia es normal, los datos se agrupan alrededor de la media, 53.51 MPa, con una desviación estándar de 11.6 MPa. Con base en este gráfico se determinará un valor de diseño para tracción.

Valor de diseño por esfuerzos admisibles a tracción, utilizando un criterio según el cual, el esfuerzo resistente en condiciones últimas es el que corresponde al límite de exclusión del 5% (es decir, se espera que de toda la población de dicha especie, solo el 5% tenga una resistencia menor)¹, ordenando los resultados de los ensayos en forma creciente, el valor que define el límite de exclusión del 5% es el ensayo número $0.05 \cdot n$, siendo n por lo general un número pequeño de muestras, en este caso 30.

- Limite de exclusión = $0.05 * 30 = 1.5 \gg 1$
- El esfuerzo último corresponde al valor más bajo registrado en los ensayos.
 $u = 35.25 \text{ MPa}$
- Para determinar el esfuerzo admisible se debe reducir el esfuerzo último con varios factores de seguridad; en el caso de la tracción se utilizan dos:
- FS = 1.2 (Factor de servicio y seguridad, mediante el cual se busca exigir el material por debajo del límite de proporcionalidad).
- FDC = 1.11 (Factor de duración de carga).

$$\phi = \frac{1}{FS * FDC}$$

$$\sigma_{adm} = \phi * \sigma_u$$

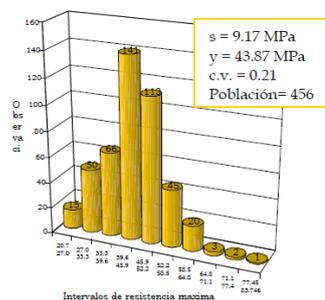
$$\sigma_{adm} = 0.75 * 35.25 = 26.4 \text{ MPa}$$

Este valor de esfuerzo admisible a tracción paralela, es aplicable solo a latas de guadua, para el caso en el que se tengan elementos de guadua rolliza sometidos a tracción el análisis se debe concentrar en la unión.

Comprensión paralela de la fibra, la propuesta de normas internacionales para ensayos de bambú "Inbar Standard for Determination of Physical and Mechanical Properties of Bamboo", especifican para el ensayo de compresión una altura de la probeta entre 1 y 2 veces el diámetro, precisamente para que el ensayo resulte evaluando las propiedades del material, sin que sea afectado por efectos secundarios como el pandeo.

Gráfico 139

Gráfica 2. Histograma de resistencias máximas a compresión



El gráfico 2 muestra la distribución de las resistencias máximas a compresión. Como se mostró al principio de este capítulo, el comportamiento de las columnas está condicionado por la longitud de las mismas, por lo que, para hacer esta distribución se trató de dejar a un lado el problema del pandeo, las columnas largas e intermedias fueron convertidas en cortas y sus resistencias máximas a compresión convertidas en resistencias máximas para columnas equivalentes de longitud 0.12 m, mediante un procedimiento aproximado.

Dentro del intervalo central, se localiza el 31% del total de la población y entre los dos más importantes suman el 56% de los ensayos, apenas un 29% está por debajo del intervalo más importante, mientras que por encima está el 40%.

Tabla 9

Cuadro 1. Resumen de resultados a compresión

Longitud (m)	Probeta	Promedio (MPa)	Desviación estandar (MPa)	C.V
0.12	30	47.7	10.23	0.21
0.5	61	42.46	11.66	0.27
1.0	42	36.28	6.39	0.18
2.0	44	26.36	4.82	0.18
3.0	41	16.77	4.91	0.29

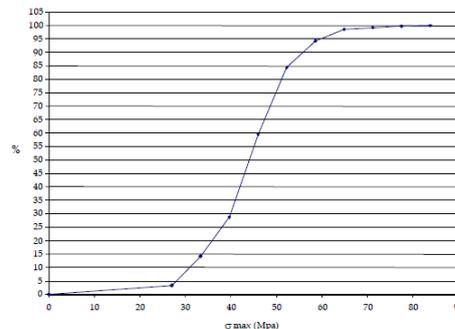
Valor de diseño por esfuerzos admisibles a compresión, de la gráfica 3. se obtiene el valor del esfuerzo último.

Para 5%, percentil correspondiente a una resistencia de 28 MPa. Se optó por utilizar este criterio por tratarse de una población considerable.

Para determinar el esfuerzo admisible se debe reducir el esfuerzo último con varios factores de seguridad; en el caso de la compresión se utilizan dos:

Gráfico 140

Gráfica 3. Frecuencias acumuladas de esfuerzos últimos a compresión



- FS = 1.6 (Factor de servicio y seguridad, mediante el cual se busca exigir el material por debajo del límite de proporcionalidad).
- FDC = 1.25 (Factor de duración de carga).

$$\phi = \frac{1}{FS * FDC}$$

$$\sigma_{adm} = \phi * \sigma_u$$

$$\sigma_{adm} = 0.5 * 28 = 14 MPa$$

Flexión, una viga constituye un miembro estructural que se somete a cargas que actúan transversalmente al eje longitudinal. Las cargas originan acciones internas, o resultantes de esfuerzo en forma de fuerzas cortantes y momentos flexionantes, éstos son función de la distancia x medida sobre el eje longitudinal.

Al realizar el análisis de la viga se debe tener en cuenta que los mayores esfuerzos son los normales (perpendiculares a la sección). Cada fibra de la viga está sometida a tracción o compresión (ésto es, las fibras están en un estado de esfuerzo uniaxial).

$$\sigma_x = \frac{My}{I}$$

Donde:
 σ_x = Esfuerzo normal máximo.
 M = Momento máximo ($PL/6$).
 y = Radio exterior.
 I = Momento de inercia.

Así, los esfuerzos normales que actúan sobre la sección transversal varían linealmente con la distancia " y " medida a partir de la superficie neutra. Se debe tener en cuenta que los esfuerzos máximos se presentan en los puntos más alejados del eje neutro.

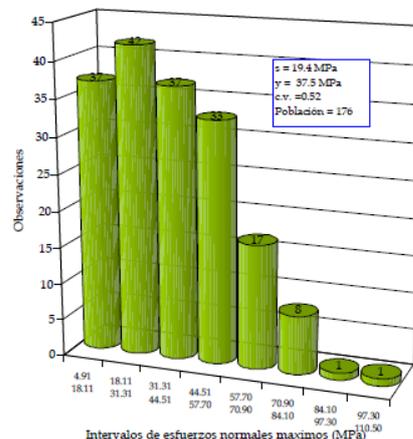
En el caso de laguadua ésto sería igual a un radio exterior. Para calcular los esfuerzos máximos de flexión en una viga de guadua se utiliza la siguiente ecuación:

Pruebas de laboratorio y procesamiento de bases de datos: Los ensayos realizados dentro del convenio AIS-FOREC en la Universidad Nacional sede Medellín se hicieron teniendo en cuenta la norma del INBAR para ensayos de flexión "Inbar Standard for Determination of Physical and Mechanical Properties of Bamboo".

Los parámetros de diseño para las probetas fueron el no utilizar probetas de menos de 0.7 m, para prevenir el aplastamiento (debido a que en probetas cortas, no se alcanza la flexión pura), ni mayores a 1.4 m y además debían tener 4 nudos (los dos de los extremos para los apoyos y dos centrales para la aplicación de las cargas).

Gráfico 141

Gráfica 4. Histograma general de resistencias a



Se muestra la distribución de las resistencias de todos los ensayos disponibles de flexión.

Se observa que los datos tienen una marcada tendencia hacia las resistencias más bajas, nuevamente se pone de manifiesto la gran dificultad que involucran los ensayos de flexión, que en la mayoría de los casos son dominados por fallas debidas a efectos locales como el aplastamiento.

De todas formas la resistencia media es 37.5 MPa, con una desviación estándar de 19.4 MPa y un coeficiente de variación de 0.52.

Puesto que los dos intervalos iniciales representan el 45% del total de la muestra, que la dispersión de la misma es excesivamente alta y que no presenta una distribución normal, no es aplicable el criterio utilizado anteriormente para obtener valores de diseño a flexión, pues como ha quedado demostrado, en estos ensayos no se pudo eliminar la influencia del aplastamiento y en contados casos se alcanzó la falla por flexión pura.

Para prevenir el efecto del aplastamiento de las probetas se rellenaron los cañutos con mortero de cemento en los apoyos y en los puntos de aplicación de las cargas.

Eliminado el problema del aplastamiento se presentan solo dos tipos de fallas; por cortante en probetas cortas y por flexo-compresión en probetas largas.

Los resultados de esta investigación son:

- Para elementos cortos (< 1.5m) el módulo de elasticidad mínimo es de 3000 MPa,
- El módulo de elasticidad promedio es de 6500 MPa.
- El esfuerzo admisible a flexión es 10.7 MPa.
- Para elementos largos (>1.5m) el módulo de elasticidad mínimo 6000 MPa.
- El módulo de elasticidad promedio es de 11500 MPa.
- El esfuerzo admisible a flexión es de 15 MPa.

Sin embargo para el diseño de elementos se recomienda utilizar los resultados para probetas largas, porque los elementos cortos tienden a fallar por cortante y/o aplastamiento.

Corte paralelo a la fibra, el esfuerzo cortante medio t_m , se define como :

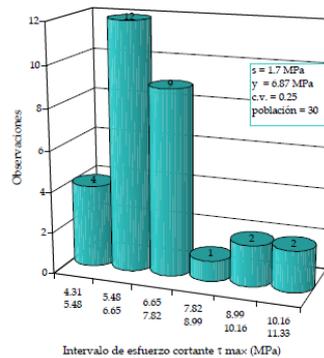
$$t_m = V/A$$

Cuando el esfuerzo cortante es generado por acción de fuerzas directas que tratan de cortar el material, se trata de cortante directo o simple; el esfuerzo cortante se presenta también de manera indirecta en miembros que trabajan a tracción, torsión y flexión. La distribución de esfuerzos cortantes sobre una sección, se sabe que es mayor en el centro y se hace nula en los extremos.

Pruebas de laboratorio, las pruebas de laboratorio que se detallan a continuación, se realizaron con el objeto de determinar la resistencia máxima de la guadua al esfuerzo cortante y con base en la propuesta de normativa para ensayos de bambúes, Inbar Standard Fordetermination of Physical and Mechanical Properties of Bamboo.

Gráfico 142

Gráfica 5. Histograma de resistencias máximas



Se muestra la distribución de las resistencias al corte de las 30 probetas. El comportamiento es dominado por dos intervalos donde se concentran el 70% del total de las muestras.

La media es 6.87 MPa y se localiza en el segundo intervalo más importante. La desviación estándar fue de 1.7 MPa que resulta pequeña comparada con los ensayos de tracción, compresión y flexión, lo que muestra una homogeneidad en la resistencia al corte de la guadua. El coeficiente de variación resultó 0.25 que por tratarse de un material natural es aceptable.

Valor de diseño por esfuerzos admisibles a esfuerzo cortante, utilizando el mismo criterio que para el valor de diseño a tracción, en el cual, el esfuerzo resistente en condiciones últimas es el que corresponde al límite de exclusión del 5%.

- Límite de exclusión = $0.05 * 30 = 1.5 = 1$
- Es decir, el esfuerzo último corresponde al valor más bajo registrado en los ensayos.
 $u = 4.31 \text{ MPa}$

Para determinar el esfuerzo admisible se debe reducir el esfuerzo último con varios factores de seguridad. En el caso del esfuerzo cortante se utiliza:

$$\phi = \frac{1}{FS}$$

$$\sigma_{adm} = \phi * \sigma_u$$

$$\sigma_{adm} = 0.25 * 4.31 = 1.1 \text{ MPa}$$

- $FS = 4$ * (Factor de servicio y seguridad, mediante el cual se busca exigir el material por debajo del límite de proporcionalidad).

- incluye factor por concentración de esfuerzos = 2

En los resultados obtenidos por Prieto y Sánchez el esfuerzo admisible a cortante fue de 1.2 MPa, lo que es llamativo dado que este resultado fue determinado de forma indirecta en los ensayos de flexión.

Para el diseño de elementos estructurales de guadua; se pueden utilizar los valores de esfuerzo admisible que se muestran en el cuadro 2 junto a sus respectivos esfuerzos máximos promedio obtenidos de los ensayos.

Tabla 10

Cuadro 2. Esfuerzos máximos promedio y admisibles para guadua			
Ensayo	ϕ	σ_{medio} (MPa)	σ_{adm} (MPa)
Tracción	0.75	53.5	26.4
Compresión	0.5	43.9	14.0
Flexión	0.48		15.0
Corte	0.25	6.9	1.1

Esfuerzos Admisibles (MPa)					
Grupo	Flexión f_m	Tracción Paralela f_t	Compresión Paralela $f_{c\parallel}$	Compresión Perpendicular $f_{c\perp}$	Corte Paralelo f_v
A	21	14.5	14.5	4	1.5
B	15	10.5	11	2.8	1.2
C	10	7.5	8	1.5	0.8
Guadua	15	26.4	14	(Mortero)	1.1

Ensayo 2

Habiendo establecido las pautas para el desarrollo de resistencias mecánicas en bambuseas se puede establecer las mismas en la especie *Bambusa Arundinaria Haenkei* existente en la región de estudio en grandes concentraciones por los alrededores de Monteagudo.

Selección del material

Gráfico 143



Para obtener mejores resultados se optó por cortar piezas de bambú mayores a los 3 años, estando estas ya maduras alcanzan su forma más resistente y el acabado morfológico definido en cuando a color y espesor de paredes.

El color es definido en un amarillo intenso con rayas verdes al momento de su madurez, color que con medida que se deshidrate tomara un color apagado y tenue de aspecto leñoso por lo que en caso de necesitar curvar el material se recomienda hacerlo antes de que culmine su secado puesto que por efecto natural sufre un efecto llamado lignificación que consiste en la cristalización de sus componentes químicos tomando esa consistencia leñosa, ya mencionada y además es cuando adopta su resistencia útil ante esfuerzos mecánicos solicitados por un diseño concreto en Bambú.

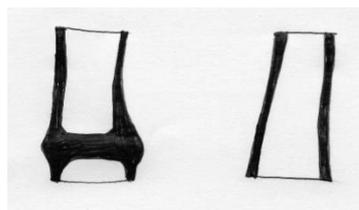
Es por estas razones que se utilizaron cortes de bambú Arundinaria de más de 3 años, para propiciar el ensayo en piezas leñosas de alta resistencia.

Preparación del material

Considerando el tipo de ensayo mecánico las piezas de bambú se cortan a longitudes necesarias para posibilitar la utilización del mismo en los aparatos de fatiga a usar durante los ensayos de determinación de esfuerzos admisibles.

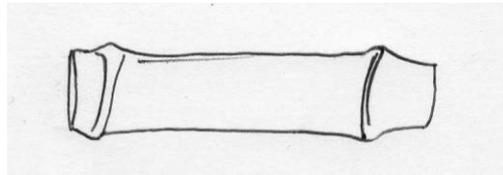
Tipo de ensayo

Gráfica 144 Tipología de corte (caña bambú).



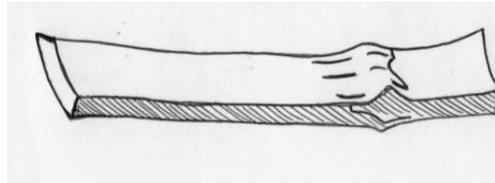
A: 1 nudo / B: Sin Nudos

Comprensión, seutiliza cortes de Long.= 2 Veces el Diámetro por lo que se empleara probetas de 20 cm de largo por 10 cm de Diámetro.



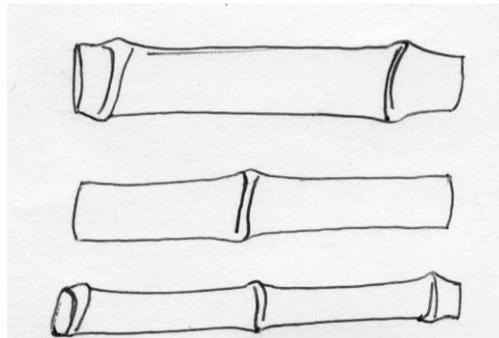
C: Nudos exteriores.

Corte, se utiliza cortes de Long.= 40 cm para posibilitar la sujeción al sistema de 3 cuchillas para poder aplicar la fuerza necesaria en la perpendicularidad de la superficie del rollizo de Bambú.



D: Latilla de Bambú.

Tracción, se utiliza latillas de Bambú de Long.= 45 cm para posibilitar la ujeción al sistema de mordazas que traccionarán a la probeta en su superficie longitudinal.



Flexión, se utiliza cortes de Long.= 60 cm para posibilitar la sujeción al sistema de 3 cuchillas para poder aplicar la fuerza necesaria en la perpendicularidad de la superficie del rollizo de Bambú.

E: Nudos Exteriores.

F: Nudos Interiores.

G: Nudos Compuestos.

Los diferentes cortes y situaciones de ensayo responden a la irregularidad propia del material en toda su longitud además de la dificultad de anclaje a las máquinas de ensayo y fatiga por lo que se prevé para cada situación su posible resultado anticipando las óptimas condiciones de ensayo definiendo de mejor manera los resultados de resistencia del material.

Inventariarían del material

Se establece un conteo y orden de acuerdo a las dimensiones requeridas para cada tipo de ensayo de resistencias, considerando además las dimensiones variables propias del material por su naturaleza, aspecto que más que hacer incidencia en los resultados decimales es un referente de la característica de la muestra que comprueba la aplicación de determinadas fuerzas.

Tabla 11

Compresión / Población 10 Probetas.						
Nro.	Descripción	Tipo	Longitud	Diámetro	Espesor	Ancho
1	Cmp-01	A	20	10	1	-
2	Cmp-02	A	20	10	1	-
3	Cmp-03	A	20	10	1.2	-
4	Cmp-04	F	18	9	1.2	-
5	Cmp-05	A	20	10	1.2	-
6	Cmp-06	F	20	10	1.2	-
7	Cmp-07	F	20	10	1.2	-
8	Cmp-08	B	20	10	1	-
9	Cmp-09	F	18	9	1	-
10	Cmp-10	B	20	10	1.2	-

En la prueba de compresión serán más resistentes los tipos de corte A y F por la presencia de nudos en su longitud por lo que el ensayo en tipo B no arrojará un valor real en cuando a su resistencia por flexo-compresión y falla a la expansión transversal (rajadura).

Tabla 12

Corte / Población 10 Probetas.						
Nro.	Descripción	Tipo	Longitud	Diámetro	Espesor	Ancho
1	Crt-01	E	40	10	1.1	-
2	Crt-02	E	40	10	1	-
3	Crt-03	F	40	10	1.2	-
4	Crt-04	F	40	9	1.2	-
5	Crt-05	A	40	10	1.1	-
6	Crt-06	F	40	10	1.1	-
7	Crt-07	F	40	10	1.2	-
8	Crt-08	B	40	10	1	-
9	Crt-09	B	40	9	1.1	-
10	Crt-10	B	40	10	1.2	-

En la prueba de Corte Transversal a la fibra los tipos E y F resultan más aptos para transmitir de forma uniforme el esfuerzo a través de 3 cuchillas mientras el tipo B por su asimetría hace fácil la ruptura por aplastamiento de un lado de la probeta.

Tabla 13

Tracción / Población 10 Probetas latilla.						
Nro.	Descripción	Tipo	Longitud	Diámetro	Espesor	Ancho
1	Trc-01	D	45	-	1.1	3.5
2	Trc-02	D	45	-	1.0	3.2
3	Trc-03	D	45	-	1.0	3.0
4	Trc-04	D	45	-	1.0	3.0
5	Trc-05	D	45	-	1.0	3.1
6	Trc-06	D	45	-	1.0	3.0
7	Trc-07	D	45	-	1.2	3.0
8	Trc-08	D	45	-	1.0	3.0
9	Trc-09	D	45	-	1.0	3.0
10	Trc-10	D	45	-	1.0	3.0

En tracción se utiliza únicamente las latillas más uniformes en su superficie, no habiéndose realizado el rebaje observado en la (Prueba N°1 Guadua Angustifolia), la falla prevista para el centro de la probeta se traslada hacia los extremos donde la mordaza de sujeción podría debilitar el punto de aplicación de fuerzas, sin embargo al tomar una superficie uniforme longitudinal se tiene un resultado predecible en toda su superficie.

Tabla 14

Flexión / Población 10 Probetas.						
Nro.	Descripción	Tipo	Longitud	Diámetro	Espesor	Ancho
1	Flx-01	E	60	10	1.2	-
2	Flx-02	G	60	9	1.1	-
3	Flx-03	G	60	10	1.0	-
4	Flx-04	E	60	10	1.0	-
5	Flx-05	G	60	10	1.0	-
6	Flx-06	F	60	10	1.1	-
7	Flx-07	G	60	10	1.1	-
8	Flx-08	F	60	9	1.0	-
9	Flx-09	E	60	9	1.2	-
10	Flx-10	E	60	9	1.0	-

Para el ensayo de flexión se utiliza los tipos E y G como ensayos óptimos por la distribución de las cargas bajo la influencia de los nudos de la probeta, por lo que el tipo F resulta deficiente ya que se aplasta en los extremos antes de determinar el valor real de fatiga del material.

Ensayos de rotura

Para el ensayo de rotura de las probetas de Bambú se recurrió al laboratorio de Resistencia de Materiales de Ingeniería Civil de la USFX con equipos descritos y certificados en los (Anexos 13.2). arrojando los siguientes resultados:

Tabla 15

Compresión / Población 10 Probetas.						
Nro.	Descripción	Tipo	Longitud	Diámetro	Espesor	Valor KN
1	Cmp-01	A	20	10	1	75.5
2	Cmp-02	A	20	10	1	84.2
3	Cmp-03	A	20	10	1.2	81.7
4	Cmp-04	F	18	9	1.2	62.9
5	Cmp-05	A	20	10	1.2	90.4
6	Cmp-06	F	20	10	1.2	75.6
7	Cmp-07	F	20	10	1.2	76.2
8	Cmp-08	B	20	10	1	45.3
9	Cmp-09	F	18	9	1	74.1
10	Cmp-10	B	20	10	1.2	31.8

Como se esperaba las probetas de tipo B presentan menor resistencia a la compresión paralela a la fibra por lo que los tipos A y F arrojan los valores reales a ser considerados y adoptados como valores de diseño. Es notable la influencia de los nudos en la superficie de aplicación de esfuerzos por lo que en tramos largos como ser el de una columna son esos elementos los que refuerzan y le dan rigidez al cuerpo flexible de las cañas de Bambú.

Tabla 16

Corte / Población 10 Probetas.						
Nro.	Descripción	Tipo	Longitud	Diámetro	Espesor	Valor KN
1	Crt-01	E	40	10	1.1	21.0
2	Crt-02	E	40	10	1	21.1
3	Crt-03	F	40	10	1.2	21.0
4	Crt-04	F	40	9	1.2	20.8
5	Crt-05	A	40	10	1.1	18.5
6	Crt-06	F	40	10	1.1	17.8
7	Crt-07	F	40	10	1.2	18.9
8	Crt-08	B	40	10	1	15.5
9	Crt-09	B	40	9	1.1	12.8
10	Crt-10	B	40	10	1.2	13.5

La resistencia a la compresión transversal o corte es baja por cuando la forma de las probetas de bambú son tubulares y las fibras actúan como el eslabón débil que se quiebra ante el aplastamiento de ejercer las fuerza de compresión es por ello que ante fuerzas ejercidas en este sentido se recomienda la utilización de mortero de cemento inyectado en las cavidades huecas del bambú a fin de contrarrestar esta debilidad de la estructura tubular del material de ensayo.

Tabla 17

Tracción / Población 10 Probetas latilla.						
Nro.	Descripción	Tipo	Longitud	Espesor	Ancho	Valor KN
1	Trc-01	D	45	1.1	3.5	27.35
2	Trc-02	D	45	1.0	3.2	38.80
3	Trc-03	D	45	1.0	3.0	30.15
4	Trc-04	D	45	1.0	3.0	26.50
5	Trc-05	D	45	1.0	3.1	35.50
6	Trc-06	D	45	1.0	3.0	35.70
7	Trc-07	D	45	1.2	3.0	38.80
8	Trc-08	D	45	1.0	3.0	31.20
9	Trc-09	D	45	1.0	3.0	30.50
10	Trc-10	D	45	1.0	3.0	32.28

Es difícil establecer a ciencia cierta la resistencia del bambú a la tracción puesto que no se cuenta con equipos adecuados para realizar la tensión de los elementos por sus dimensiones (Diámetro) además de la dificultad de sujeción que presenta la estructura fibrosa del bambú que hace rasgar su superficie ante la presencia de elementos de sujeción como pernos.

Por tanto se realizó la prueba en forma de latillas que asemejan a platinas de metal, usándose la superficie de aplicación como la superficie de 30x10mm aprox. como área de impacto, sin embargo al debilitar esta con las mordazas de sujeción con que cuentan los equipos de medición el ensayo se encuentra en desventaja real por lo que los valores son estimados por debajo de la verdadera resistencia del bambú a la tracción.

Tabla 18

Flexión / Población 10 Probetas.						
Nro.	Descripción	Tipo	Longitud	Diámetro	Espesor	Valor KN
1	Flx-01	E	60	10	1.2	29.10
2	Flx-02	G	60	9	1.1	30.10
3	Flx-03	G	60	10	1.0	29.20
4	Flx-04	E	60	10	1.0	28.70
5	Flx-05	G	60	10	1.0	29.50
6	Flx-06	F	60	10	1.1	3.10
7	Flx-07	G	60	10	1.1	28.40
8	Flx-08	F	60	9	1.0	3.60
9	Flx-09	E	60	9	1.2	29.00
10	Flx-10	E	60	9	1.0	-29.10

La flexión del material es una de sus mayores potenciales puesto que su resistencia está condicionada por la ubicación de sus nudos y la forma de aplicación de fuerzas en su superficie a si vemos que las probetas de tipo F se quebraron con facilidad por el aplastamiento de sus extremos, sin embargo las probetas de tipo E y G resistieron mas por el refuerzo que representa los nudos en los extremos, de esta forma los nudos propios del bambú constituyen en un refuerzo longitudinal de la estructura tubular del material.

Informe final de resistencia del material

Como valores de diseño se adopta los menores en cuanto a resistencia registra el equipo de sollicitación de esfuerzos.

Tabla 19

Esfuerzo.	Unidad.	Bambusa Arundinaria
Tracción.	N/mm ² .	85.50
Compresión.	Kg/cm ² .	272.70
Flexión.	Kg/cm ² .	236.70
Cortante.	Kg/cm ² .	1.13

Estos valores comparados y relacionados con el peso del material le otorgan al bambú un privilegiado lugar entre los materiales de construcción puesto que permite proyectar infraestructuras de calidad a un bajo costo.

Capítulo IV

4 Resultados obtenido

Los resultados obtenidos se encuentran descritos en detalle en el desarrollo metodológico por cuanto en esta etapa nos avocaremos a describir el resultado concluyente de cada uno de los puntos tocados a partir de la elaboración de objetivos operativos a partir del cual se ha estructurado el presente trabajo de investigación.

Tabla 20

Objetivos operativos	Marco teórico	Desarrollo metodológico
Generales	- El bambú en Monteagudo	Es importante la presencia de bambudales en la ciudad de Monteagudo como en sus alrededores y sobre todo en la serranía del Ñiau por lo cual es posible su cultivo extensivo con fines utilitarios que puedan contribuir al desarrollo regional.
	- Uso del bambú en Monteagudo.	El bambú en Monteagudo es desaprovechado en su verdadero potencial por ausencia de conocimiento por lo que se hacía necesario un estudio exhaustivo de sus potenciales usos a fin de propiciar una transferencia tecnológica que conlleve una mejor calidad de vida a través del uso de un recurso natural propio del lugar de intervención y estudio.
	- Experiencias en Bolivia.	En Bolivia en la región oriental se puede observar un creciente interés por la utilización del bambú en la construcción y sobre todo con fines industriales ya que representa un recurso de bajo costo y alto impacto económico.
	- Experiencias en el Mundo.	En el mundo sobre todo en regiones tropicales como China o Colombia se observa un amplio uso del bambú en la construcción, industria y artesanía sobresaliendo la construcción como una forma de “atreverse a mas con menos” a través de construcciones de alta tecnología que propicia la experimentación en arquitectura sostenible, evolutiva y de alto nivel de confort por su natural apariencia.
Arquitectura y Construcción		- Descripción de la tecnología constructiva del bambú: La transformación del bambú con fines constructivos, no es un proceso complicado aunque necesita de una particular atención en sus detalles para maximizar el potencial del material controlando sus debilidades. El presente trabajo de investigación incluye una completa descripción de los métodos, herramientas y procesos en cada una de sus fases.
		- Caracterización de los sistemas constructivos: El sistema constructivo del bambú incluye una descripción de las propiedades mecánicas, sus partes utilitarias y por sobre todo las formas estructurales aprovechables de este material por lo que se observa una flexibilidad aplicativa en estructuras arquitectónicas que posibilita ahondar en formas y espacios de grandes luces, alta calidad estética y de confort a un bajo costo.
		- Ensayos de resistencia mecánica: Se ha obtenido a través de la experimentación valores altos de resistencia de impacto para el diseño de estructuras arquitectónicas por lo cual se posibilita la homologación de dichos valores con el fin de poder propiciar una transferencia tecnológica de la construcción en las zonas de estudio a un bajo costo, además también se posibilita la exploración agresiva de formas y espacios arquitectónicos que hasta ahora estaban reservadas para la alta tecnología del primer mundo. Con este estudio se insta a los arquitectos e ingenieros a explotar en los potenciales estructurales limitados por materiales convencionales, y ahondar en la alta tecnología con recursos propios de nuestro medio y de bajo costo.

		<ul style="list-style-type: none"> - Propuesta experimental de diseño arquitectónico: Como propuesta experimental se han propuesto diversos equipamientos y muebles que nos muestran de forma grafica y en forma de un diseño consolidado la forma de aprovechar el bambú como material de construcción en estructuras. - Cerm: El Centro Eco turístico de Recreación Monteagudo es una infraestructura multimodular que incluye muchas formas de utilización del sistema constructivo del bambú razón por la cual es evidente su multiplicidad de formas y vistas. Es un prototipo que busca por sobre todo la calidad arquitectónica de alta tecnología a un bajo costo y dado que su presupuesto estimado es de 190 \$us / m2 es un objetivo completado que puede ser mejorado a través de la construcción intensiva que bajaría aun mas los costos de construcción con una alta calidad ambiental de los espacios. - Viviendas: El aprovechamiento de la tecnología del bambú en construcciones masivas como la vivienda de bajo costo (interés social) posibilitaría una mayor accesibilidad a las poblaciones rurales que cuenten con este recurso. - Equipamientos: Los equipamientos urbanos públicos y privados se podrían extender en cantidad y calidad puesto que el bajo costo del bambú posibilitaría su masificación y restitución en corto tiempo. Las intervenciones privadas para equipamientos turísticos tienen amplia posibilidad de explorar el atractivo propio del material en formas y espacios de gran envergadura. - Muebles: La artesanía como los muebles de bambú poseen la particular cualidad de ser atractivos y baratos además que generan alternativas económicas de sustento tan necesario en la región de estudio y nuestro país. - Prototipo Experimental Taller 13: Es un prototipo adoptado que muestra la combinación del bambú con elementos de alta tecnología que propician un desarrollo del diseño arquitectónico y estructural muy amplio.
Industria	Descripción general del potencial	La multiplicidad de usos del bambú en aplicaciones industriales puede generar un impacto social y económico de alto alcance.
Artesanía	Descripción general de alternativas	La artesanía generaría a corto plazo una forma viable de sustento económico y desarrollo mismo de la tecnología del bambú.
Propiedades naturales	Descripción vegetativa del bambú.	El cultivo del bambú puede ser aprovechado no solamente con fines utilitarios sino como medidas de mitigación y alternativa sostenible para la recuperación de suelos y control de cuencas, es a partir de esto que se puede plantear las siguientes pautas de intervención:
Pauta de intervención integral: tecnología del bambú.		
Propiedades naturales	La posibilidad de aplicaciones ecológicas como ser el manejo natural de cuencas, medidas de mitigación para la descontaminación de aguas y suelos erosionados nos da la primera pauta para el cultivo del bambú que crece sin problemas en áreas con suficiente humedad y en pendientes no utilizables por otras variedades de cultivo extensivo. Este cultivo del bambú nos daría la materia prima necesaria para su utilización con fines diversos:	
Arquitectura y construcción	La arquitectura sostenible y viable a bajo costo es posible ya que el bambú como material de construcción brinda una alternativa a corto plazo para poder experimentar con nuevas formas y espacios de grandes luces y un alto contenido estético, razón por la cual su masificación de esta forma constructiva traería consigo un alto impacto social en las zonas de estudio o aplicación de la tecnología del bambú. El desarrollar un mayor conocimiento en cuanto a estructuras arquitectónicas con un bajo costo nos prepara también para poder ponernos al día con infraestructuras del primer mundo a las cuales con la tecnología y materiales convencionales no podemos aspirar.	
Industria	El posibilitar el desarrollo industrial múltiple como ser: papel, alimentos, combustibles y otros, generaría un impacto social económico muy amplio ya que además de generar fuentes de trabajo reutilizaría el bambú como materia prima por lo que haría necesario su cultivo intensivo que desarrollaría su utilización en otras aplicaciones.	
Artesanía	El uso artesanal del bambú desarrollaría las habilidades necesarias para ahondar de forma mas técnica la construcción puesto que su intervención directa de la mano de obra es necesaria para grandes obras o pequeños detalles.	

Gráfico 145

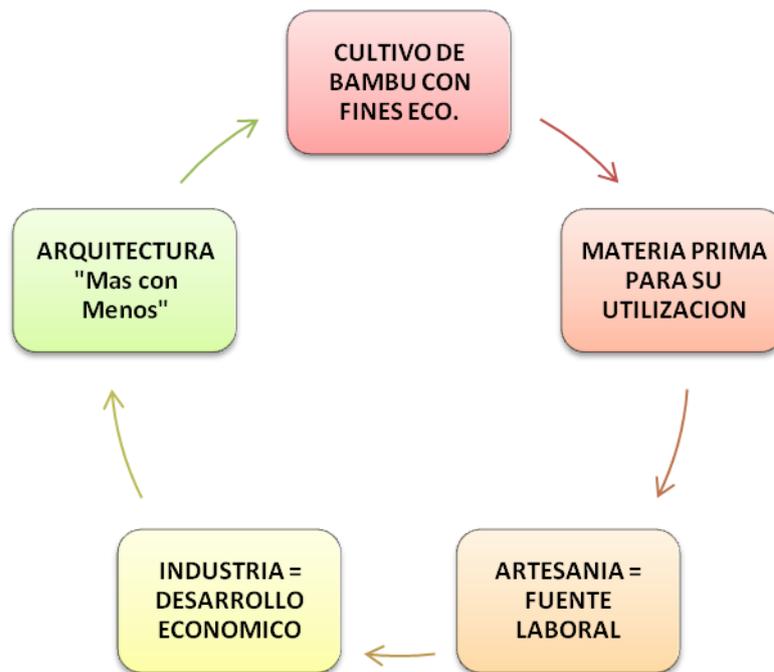


Gráfico 146



Conclusiones

La tecnología del bambú es un tema apasionante por su multiplicidad de aplicaciones y por tal motivo es también una respuesta sostenible a la utilización de recursos naturales para el medio de estudio y otras del país ya que es posible establecer pautas de intervención en múltiples frentes que conviertan su utilización en una forma económica y socialmente benéfica a corto plazo y largo alcance.

Recomendaciones

En el orden y alcance de la presente investigación se plantean recomendaciones de tipo proyectual, generales y académicas.

Recomendaciones del Proyecto, es necesario tomar en cuenta todas las fases del proceso de aplicación de la tecnología del bambu para aprovechar al máximo sus bondades y controlar sus debilidades, sin embargo es evidente que la multiplicidad de usos del bambu, lo convierte en un recurso natural de amplia aplicación utilitaria y por ende en un amplio campo de estudio por lo que se recomienda la investigación profunda del bambu con fines diversos.

El proyecto arquitectónico como tal es un prototipo experimental de aplicación tecnológica en la construcción del bambú, por tanto es el paso previo para propiciar a futuro una transferencia tecnológica tan necesaria en nuestro país para aprovechar recursos inutilizados por la falta de conocimiento.

Recomendaciones Académicas, se sugiere el estudio pormenorizado por las entidades, instituciones y/o carreras afines o pertinentes que puedan determinar la factibilidad técnica y económica de usos específicos del bambú en proyectos de grado y/o proyectos de investigación como ser:

Tabla 21

Estudio técnico y económico de las aplicaciones Artesanales del Bambú.
Estudio técnico y económico del Cultivo Intensivo y Extensivo del bambú.
Manejo de cuencas con instrumentos naturales (bambú).
Medidas de mitigación Ambiental con bambú.
Captación de CO ₂ y generación de oxígeno para su compensación (Acuerdo de Kioto).
Procedimientos para la Industrialización del bambú: laminados, alimentos, combustibles y otros.
Factibilidad Técnica y Económica de productos industriales del bambú: laminados, alimentos, combustibles y otros.

Como se puede observar la utilización del bambú es muy diversa por lo que se recomienda a los docentes y/o investigadores de la USFX ahondar en las temáticas que se puedan desarrollar a partir de este proyecto de investigación y los estudios que se puedan generar como los que se sugiere.

Referencias

American Bamboo Society.

Bending strength of Guadua Bamboo European Bamboo Society.

Colombian Earthquake.

Estudio de justificación para la Serranía del IÑAU - Prefectura de Chuquisaca – Alcaldía Municipal de Monteagudo / Bolivia -2004

GTZ Deutsche Geslichalf für Technische Zusammenarbeit - Cooperación técnica alemana Agencia GTZ La Paz. - Boletín de la cooperación técnica almena en Bolivia. Gtz. / Bolivia – 2004.

Programa BOLBAMBU. – Instituto de Investigaciones de Arquitectura de la Universidad Mayor de San Simón-Bolivia.

Programas para el medio ambiente en America Latina - Una apreciación de la experiencia del PNUD - Programa de naciones unidas para el desarrollo.

Proyecto de Grado USFX – Carrera de Arquitectura - “Tecnología en Bambú - Centro Recreativo Monteagudo” - Postulante: Roberto Carlos Gómez Castro / Sucre-Bolivia 2009.

Structural adequacy of traditional bamboo housing in Latin America.
TodoBambú – Caranavi-Bolivia.

Upstream fundamental research in bamboo possibilities and directions Bambusa Guadua.

<http://archivo.abc.com.py/suplementos/rural/articulos.php?pid=224174>

<http://www.bambooinbar.com>

http://www.cubasolidaridad.org/index.php?option=com_content&view=article&id=882:desarrollo-la-revolucion-del-bambu&catid=22:proyectos-en-cuba

<http://www.fao.org/docrep/x2450S/x2450s0a.htm>

<http://www.habiterra.com.bo> <http://www.bambumex.org/paginas/organizaciones.htm>
International Network for Bamboo and Rattan (INBAR)



ISBN 978 - 789 - 6540 - 80 - 3



www.ecorfan.org