

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL**



**UNIONES ESTRUCTURALES CON BAMBÚ (Guadua Angustifolia)**

**TESIS**

**Para optar el Título Profesional de:**

**INGENIERO CIVIL**

**SERGIO CLAVER GUTIERREZ ALIAGA**

**Lima- Perú**

**2010**

<b>INDICE</b>		Pg.
<b>RESUMEN</b>		5
<b>LISTA DE TABLAS</b>		6
<b>LISTA DE FOTOGRAFÍAS, FIGURAS Y GRÁFICAS</b>		7
<b>INTRODUCCIÓN</b>		11
<b>CAP. 1 CARACTERÍSTICAS, TECNOLOGÍAS Y PROPIEDADES DEL BAMBÚ</b>		11
1.1 IDENTIFICACIÓN Y NOMENCLATURA DEL BAMBÚ		11
1.2 ESTRUCTURA Y CARACTERÍSTICAS ANATÓMICAS DEL BAMBÚ		14
1.3 AGENTES QUE AFECTAN EL COMPORTAMIENTO DEL BAMBÚ		17
1.4 RECOLECCIÓN, SECADO Y PROTECCIÓN DEL BAMBÚ		18
1.4.1 Recolección, corte		18
1.4.2 Curado del bambú.		19
1.4.3 Tratamientos Químicos.		23
<b>CAP. 2 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL BAMBÚ GUADUA ANGUSTIFOLIA</b>		26
2.1 TAXONOMÍA DEL BAMBÚ GUADUA ANGUSTIFOLIA		26
2.2 MANEJO SILVICULTURAL DEL BAMBÚ GUADUA ANGUSTIFOLIA		28
2.2.1 Propagación		29
2.2.1.1 Por semilla sexual		29
2.2.1.2 Por cortes del rizoma.		30
2.2.1.3 Por cortes del culmo.		31
2.2.1.4 Acodo		32
2.2.1.5 Cultivo In Vitro		32
2.2.2 Las Plantaciones		34
2.2.2.1 Preparación del terreno		34

2.2.2.2 Distancia de siembra	35
2.2.3 La Fertilización	35
2.2.4 Control de malezas.	36
2.2.5 Poda	36
2.2.6 Cosecha	36
2.3 APLICACIÓN DE LA BIOTECNOLOGÍA EN EL ESTUDIO Y CONSERVACIÓN DEL BAMBÚ GUADUA ANGUSTIFOLIA	37
<b>CAP. 3 ENSAYOS PARA DETERMINAR LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS GENERALES DEL BAMBÚ.</b>	<b>40</b>
3.1 COLECCIÓN DE MUESTRAS	40
3.2 ENSAYO DE PROPIEDADES FÍSICAS	40
3.2.1 Contenido de humedad	40
3.2.2 Densidad	40
3.3 ENSAYO DE PROPIEDADES MECÁNICAS	43
3.3.1 Ensayo de compresión	43
3.3.2 Ensayo de tracción	46
3.3.3 Ensayo de corte	49
<b>CAP. 4 ENSAYOS EN UNIONES ESTRUCTURALES</b>	<b>53</b>
4.1 PREPARACIÓN DE PROBETAS DE ENSAYO	53
4.1.1 Preparación de probetas de ensayo colineales.	53
4.1.2 Preparación de probetas de ensayo perpendiculares	53
4.2 ENSAYO DE UNIONES EN TRACCIÓN	53
4.2.1 Ensayo en uniones colineales	54
4.2.1.1 Primera Alternativa: Uso de acero – templadores de 3/8"	54
4.2.1.2 Segunda Alternativa: Uso de madera tornillo – pernos de 1/2"	64
4.2.1.3 Tercera Alternativa: Uso de mortero y barra de 1/2.	72

4.3	ENSAYO DE UNIONES DE ELEMENTOS PERPENDICULARES	81
4.3.1	Primera Alternativa: Uso de mortero y barra de 1/2" longitudinal.	82
4.3.2	Segunda Alternativa: Uso de mortero y barra de 3/8" longitudinal mas perno de 1/2" transversal a la sección vertical.	85
<b>CAP. 5 ANÁLISIS DE RESULTADOS</b>		<b>91</b>
5.1	ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LOS ENSAYOS FÍSICOS	91
5.2	ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LOS ENSAYOS MECÁNICOS	91
5.2.1	Análisis ensayos en probetas	91
5.2.1	Análisis ensayos a uniones	93
5.3	TABLA DE RESUMEN FINAL DE DATOS OBTENIDOS EN EL LABORATORIO	95
<b>CONCLUSIONES</b>		<b>98</b>
<b>RECOMENDACIONES</b>		<b>99</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>		<b>100</b>
<b>ANEXOS</b>		<b>103</b>

## Resumen

En Sudamérica encontramos diversos métodos de construcción en las zonas rurales, en el Perú se ha construido esencialmente haciendo uso de concreto, adobe y madera.

El ser humano está siempre en búsqueda de nuevas soluciones a sus necesidades más básicas, soluciones prácticas y económicas. Es así que el bambú surge como alternativa, como material de construcción, esto gracias a sus propiedades de resistencia a la tracción, compresión y flexión.

En países como Colombia o Ecuador el uso del bambú se ha diversificado mayormente debido a la abundancia del mismo y a las propiedades del clima tropical. En el Perú contamos con presencia de bambú guadua a nivel nacional localizado en diversos departamentos.

Aunque el bambú ha sido considerado el acero de la naturaleza por sus propiedades, en el país aun no se encuentra normada su utilización ni se cuentan con experiencias previas documentadas académicamente sobre las posibles soluciones a la que es una de las mayores dificultades a la hora de construir con bambú, las uniones estructurales.

En este estudio se busca determinar de manera práctica, con ensayos realizados usando métodos de aplicación sencilla en el campo, las características de las uniones realizadas con bambú, en especial las uniones perpendiculares y colineales.

Es el afán del autor poder colaborar por medio de esta investigación con futuras experiencias en edificación con bambú y en parte de los estudios realizados con el fin de formalizar la nueva norma peruana del bambú.

## Introducción

En el país se busca implementar nuevas metodologías de construcción y el bambú es una muy buena opción teniendo en cuenta las experiencias de países como Colombia o Ecuador.

Con tal fin es necesario conocer las propiedades del bambú y de las uniones estructurales, en esta investigación pondremos énfasis en las uniones colineales y perpendiculares.

Comenzaremos dando un enfoque global sobre el bambú, su nomenclatura, silvicultura, manejo y aprovechamiento. Luego se hará un análisis de las propiedades físico – mecánicas del bambú en su forma natural, es decir sin el uso de aditamentos, aditivos u morteros. Una vez conocidas las propiedades del material presentaremos las características de las uniones estructurales aquí propuestas con diversos materiales y formas y se usarán accesorios de acero, madera y mortero, buscando encontrar soluciones prácticas y económicas.

## **CAPÍTULO 1. CARACTERÍSTICAS, TECNOLOGÍAS Y PROPIEDADES DEL BAMBÚ**

### **1.1 Identificación y nomenclatura del bambú**

Bajo un enfoque botánico, la especie Bambú, se encuentra clasificada dentro de la familia Bambuseaceae, perteneciente a las Gramíneas (posee entre 800 y 1000 especies dentro de 80 a 90 géneros).

La guadua constituye el género de bambú nativo más importante de América tropical, es endémica de este continente, con aproximadamente 30 especies distribuidas desde México hasta Argentina, las cuales se pueden encontrar en un rango de altitud que va desde el nivel del mar hasta los 2.200 m.s.n.m.

Es considerada el tercer bambú más grande del mundo, superada únicamente por dos especies asiáticas. La guadua es una gramínea gigante que puede alcanzar 30 metros de altura o más y cuyo diámetro puede variar de uno a 22 centímetros.

La *Guadua angustifolia* fue identificada primero por los botánicos Humboldt y Bonpland como *Bambusa guadua*, posteriormente en 1822 el botánico alemán Karl S. Kunth identifica el género *Guadua*, haciendo uso del vocablo indígena "guadua", con el que lo identificaban las comunidades indígenas de Colombia y Ecuador. Kunth rebautiza la especie con el nombre de *Guadua angustifolia*, que significa "hoja angosta".



Fotografía N°1.1: Uso ancestral del bambú en el Perú: El Señor de Sipán y la cultura Moche (Año 250 DC). (Josefina Takahashi, III Simposio Latinoamericano del Bambu)

Morfológicamente, en una *Guadua Angustifolia* se pueden distinguir las siguientes partes: raíz, tallo, hojas, flores y frutos, sin embargo, es el tallo, y particularmente el culmo, el que tradicionalmente se ha aprovechado para diferentes aplicaciones. El culmo se origina en la parte superior del rizoma, y una vez brota del suelo lo hace cubierto de hojas con el diámetro máximo que tendrá de por vida. Dependiendo de las condiciones climáticas y de la época de brotamiento, demora entre 4 a 6 meses para desarrollar su altura definitiva. El culmo de esta especie es un cilindro hueco y adelgazado dividido en segmentos o internodos separados por diafragmas (nodos), que en conjunto con una pared maciza dan al tallo una increíble resistencia mecánica.

Los internodos pueden alcanzar diámetros entre 10 y 14 cm y alturas entre 17 y 23 m.





Fotografía N°1.2: El bambú en su hábitat natural

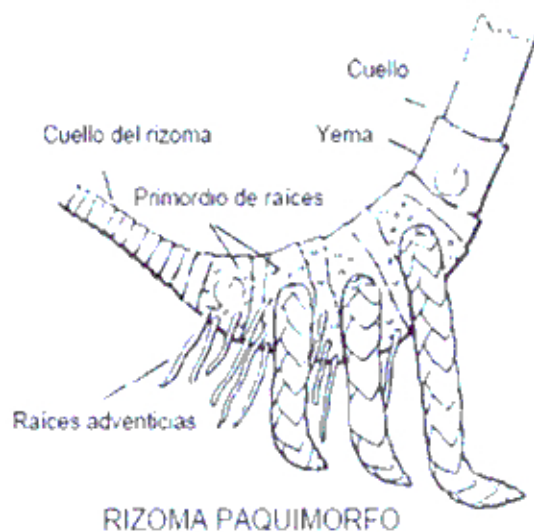


Figura N°1.1: El Rizoma y sus partes

En el culmo se distinguen tres tercios: basal, medio y apical, cuyos diámetros promedios son respectivamente: 11.5, 11.05 y 5.84 cm.

Las fibras constituyen el tejido que soporta todo el esfuerzo mecánico al que está sometido el tallo debido al viento y otros factores externos, además de su propio peso. Las fibras del bambú en general se caracterizan por su forma delgada, fina en ambos lados y en algunos casos bifurcada en los extremos. Se encuentran en

los internodos y constituyen entre el 40 y el 50% del tejido total y entre el 60 - 70% del peso total del culmo.

Según el investigador McClure, entre los bambúes nativos del hemisferio occidental, la *Guadua angustifolia*, es la más sobresaliente en altura, propiedades mecánicas (resistencia y trabajabilidad), durabilidad de sus tallos e importancia que ha dado a la economía local de los lugares en donde se desarrolla.

## 1.2 Estructura y características anatómicas del bambú

Partes principales, anatomía del bambu:

**Rizoma:** Es un tallo modificado, subterráneo, que conforma el soporte de la planta. Popularmente se conoce como "caimán". Las raíces o rizomas se pueden encontrar hasta 2.0 metros de profundidad. Además se puede utilizar como artículo de decoración.

**Cepa:** Es la sección basal del culmo con mayor diámetro, la distancia de sus entrenudos es corta, lo cual le proporciona una mayor resistencia. Su longitud es aproximadamente de 3.0 metros. Además se utiliza para columnas en construcción, cercos y entibados; para estabilidad de taludes tiene gran uso, dada su sección. En cuanto al comportamiento frente a esfuerzos de flexión, esta parte de la *Guadua* se comporta muy bien, gracias a la corta distancia entre nudos.

GUADUA			
Nombre Común		Guadua	
Nombre Científico		Guadua Angustifolia Kunth	
Familia		Gramíneas	
Tribu		Bambuseae Verae	
Subgénero		Bambusa	
Hábitat		0 msnm – 2200 msnm	
Precipitación		Superior a 1200 mm/año	
Humedad Relativa		75 % - 85 %	
Desarrollo Optimo	Altitud	900 msnm – 1600 msnm	Estas Propiedades son factores determinantes en la dimensión del Diámetro y la Altura de la Guadua Angustifolia Kunth.
	Precipitación	2000 mm/año – 2500 mm/año	
	Temperatura	20 °C – 26 °C	
Formas		Guadua Castilla	
		Guadua Macana	
		Guadua Cebolla	
Variedades		Guadua Bicolor	Verde rayada y amarilla
		Guadua Negra	El gen determinante no se ha adquirido totalmente

Tabla N°1: Nomenclatura del bambú

**Basa:** Parte de la guadua que posee mayores usos, debido a que su diámetro es intermedio y la distancia entre nudos es mayor que en la cepa; es la parte del culmo de la guadua que más se utiliza; tiene una longitud aproximada de 8.0 metros. Sobre la utilización, si el tallo es de buen diámetro se utilizan también para columnas.

**Sobrebasa:** El diámetro es menor y la distancia entre nudos es un poco mayor comparada con la basa. Es un tramo de guadua con buen comercio, debido a su diámetro que permite buenos usos. La longitud es de aproximadamente 4.0 metros.

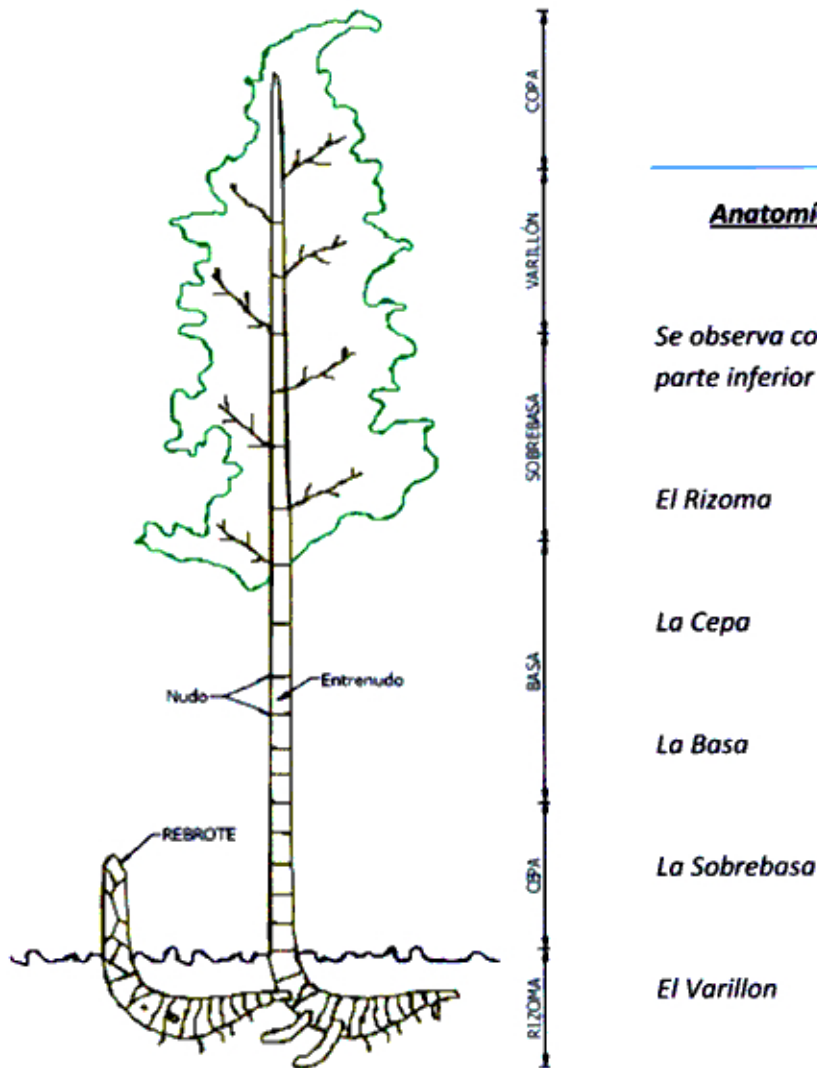


Figura N° 1.2: Partes del Bambú

**Varillón:** Sección de menor diámetro. Su longitud tiene aproximadamente 3.0 metros. Generalmente se utiliza en la construcción como apuntalamientos y como soporte (correa) para disponer tejas de barro o paja.

**Copa:** Es la parte apical de la guadua, con una longitud entre 1.20 a 2.0 metros. Se puede introducir, pica en el suelo del guadua como aporte de materia orgánica.

### 1.3 Agentes que afectan el comportamiento del bambú

El bambú en su hábitat natural se puede ver afectado por coleópteros, saltamontes, termitas y afidos, estos insectos perforan los culmos, además se conoce que los roedores, micos, ardillas y cabras roen los rizomas o se alimentan de los renuevos. El ganado también come y destruye con el pisoteo los brotes nuevos. En su adultez los culmos son atacados con menor incidencia por los coleópteros, sin embargo, cuando están sobre maduros, son atacados por una de las plagas más serias en el bambú, el *Dinoderus Minutus*, que es también la mayor amenaza del bambú una vez cortado.



Fotografía N°1.3: Agente que afecta al bambú – Coleópteros



Fotografía N°1.4: Ataque del *Dinoderus minutus*



Fotografía N°1.5: Agente que afecta al bambú - El *Dinoderus minutus*

Los hongos afectan sobre todo el follaje cuando atacan a los culmos en su etapa juvenil, bajo condiciones excesivas de humedad los hongos pueden afectar mortalmente el rizoma.

Otra forma de deterioro de los guadales es cuando se realiza la quema de cañadulzales exponiendo al fuego a estos.

## 1.4 Recolección, secado y protección del bambú

### 1.4.1 Recolección, corte

Al recolectar el bambú se recomienda cortarlo en horas de la madrugada o temprano en la mañana, esto se debe a que en estas horas es cuando los fluidos internos de la planta se encuentran en niveles mínimos o asentados en la parte baja o base de la planta, lo cual permitirá que estos líquidos ricos en azúcares disminuyan en alto grado la presencia de agentes patógenos que degradan la Guadua en corto tiempo. La edad más adecuada para cortarla es entre 3 y 5 años. Si es muy joven, la resistencia es menor. Para cortar la Guadua se utiliza un machete o sierra. El corte debe hacerse en lo posible a ras y por encima del primero y segundo nudo localizado sobre el nivel del suelo.



Fotografía N° 1.6: Corte del  
Bambú



Fotografía N° 1.7: Corte del bambú, sección transversal.

#### 1.4.2 Curado del bambú

La Guadua una vez cortada y en particular el tallo joven o menor de 3 años, es atacado posteriormente por insectos xilófagos como el *Dinoderus minutus*, que atraído por el almidón que se deposita en su pared, construye largas galerías a lo largo de la misma dejándolo inservible.

Para hacerlo más duradero y menos propenso al ataque de insectos y hongo, la Guadua después de cortada, debe someterse ya sea a un tratamiento de curado, que tiene como fin reducir o descomponer el contenido de almidón, o a un tratamiento con preservativos químicos contra los insectos y hongos.

El curado no es tan eficiente como el tratamiento con preservativos, pero debido a su bajo o ningún costo, es el más utilizado en las zonas rurales. Existen varias formas de hacer el curado como son: en la mata, por inmersión en agua, al calor y al humo.

**El curado en la mata:** Después de cortado el tallo, se deja con ramas y hojas recostado lo más vertical posible, sobre otras Guaduas y aislado del suelo por medio de una piedra. En esta posición se deja por un tiempo no menor de 4 semanas, después de lo cual se cortan sus ramas y hojas y se deja secar dentro de un área cubierta bien ventilada. Este método ha sido hasta ahora el más recomendable, pues los tallos no se manchan y conservan su color.



Fotografía N° 1.8: Curado del bambú en la mata.

**Curado por inmersión:** Este método consiste básicamente en sumergir los tallos recién cortados en agua, ya sea en un tanque o en un río y se dejan allí por un periodo no superior a cuatro semanas, posteriormente se sacan y se dejan secar por algún tiempo. Este método a pesar de ser muy utilizado es poco efectivo, además los tallos se manchan y si permanecen mayor tiempo del requerido en el agua pierden resistencia y se vuelven quebradizos.

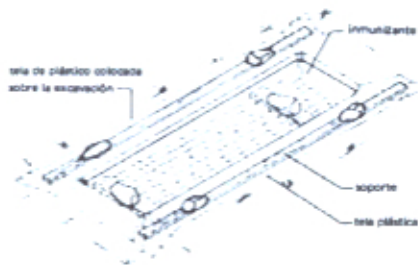
**Curado al calor:** se realiza colocando horizontalmente los tallos de Guadua sobre brasas a una distancia apropiada para que las llamas no las quemen, girándolas constantemente. Este tratamiento se hace por lo general a campo



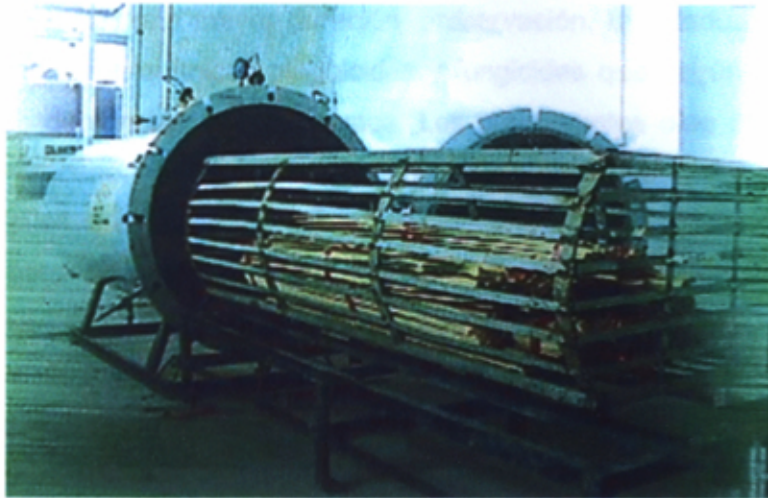
abierto. Es un proceso efectivo, pero de mucho cuidado con la distribución del calor ya que se pueden producir esfuerzos diferenciales del interior al exterior lo cual causa agrietamientos y fisuras en el tallo, además se puede quemar.

**Curado al humo:** El bambú se pone en hornos que, a través de la incineración de madera desechada, produce humo donde se dejan hasta que alcancen aproximadamente un 10% de contenido de humedad y al mismo tiempo produzcan un ácido piroleñoso, lignina, que impregna las paredes del bambú que crea una barrera natural que no permite la penetración de insectos y plagas.

TRATAMIENTO POR INMERSION



Fotografía N° 1.9: Curado por inmersión.



Fotografía N° 1.10: Curado al calor.



Fotografía N° 1.11: Curado al Humo

### 1.4.3 Tratamientos Químicos

Con el fin de lograr una mayor duración, preservación, la Guadua se trata con ciertos preservantes químicos plaguicidas y fungicidas que según su medio de disolución se diferencian en dos grupos. Los preservantes oleo solubles como aceite de antraceno, nafteno de cobre, entre otros; y los hidrosolubles, que son las sales disueltas en agua y entre sus ingredientes activos están el cloruro de zinc, dicromato de sodio, cloruro de cobre, ácido bórico, bórax, sulfato de amonio, fluoruro de sodio, entre otros.

Para realizar la aplicación de estos preservantes, existen diferentes métodos como son el aprovechamiento de la transpiración de las hojas, por inmersión, por el método Boucherie simple o por el método Boucherie modificado.

Método de transpiración en las hojas: Una vez hecho el corte, se coloca el tallo en posición vertical, ya no sobre una piedra, sino sobre un recipiente que contenga un preservante. La transpiración de las hojas hará que el preservante sea absorbido hacia arriba.

En el método por inmersión se colocan los palos cortados en una alberca que contenga el preservante que se vaya a usar durante 24 horas para que éstos queden impregnados del mismo.



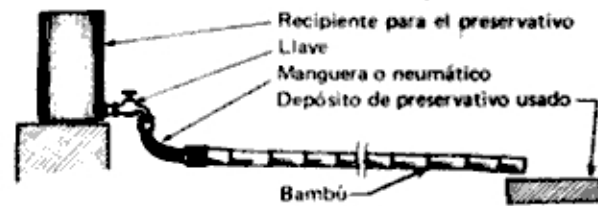
Fotografía N° 1.12: Tratamiento químico – Inmersión

**Método Boucherie (por gravedad).** En este método, la caña de Guadua se coloca verticalmente llenando su entrenudo superior con el preservante y, por acción de la gravedad, empuja la sabia ocupando su lugar. También se puede aplicar conectando una manguera al extremo superior de la caña y por medio de un tanque de almacenamiento del preservativo, llevar el preservativo a lo largo de toda la Guadua.

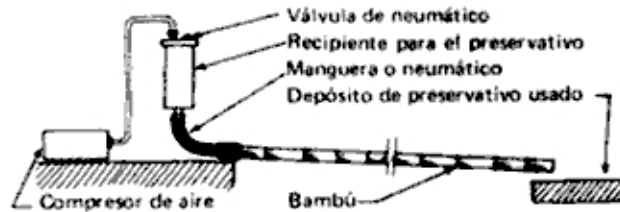
El método Boucherie modificado (o por presión) utiliza el mismo principio del anterior, únicamente que éste, crea una presión mayor del preservante que la que da la gravedad, por medio de un compresor de aire.

Además está el método de protección por inyección en el cual se inyecta ácido bórico y bórax con una relación de 2% y 1% en agua. La mezcla empleada para esta preservación, es una solución salina denominada "Pentaborato" cuyos componentes proporcionalmente son: 1 Kilo de Ácido Bórico, 1 Kilo de Bórax y 50 Litros de Agua.

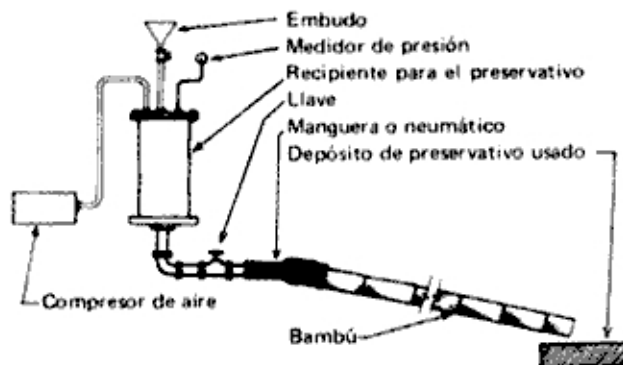
**Protección con resinas y aceites:** Para proteger las guaduas contra el sol es muy común aplicarles pinturas de colores o barnices transparentes. Los efectos que tiene el sol sobre las guaduas son la pérdida de color y agrietamientos por tensiones internas debidas al cambio de temperatura. Contra la humedad también se recomienda la pintura de aceite, pero si las guaduas van a estar expuestas a la intemperie o enterradas es recomendable hacerles un recubrimiento con asfalto líquido.



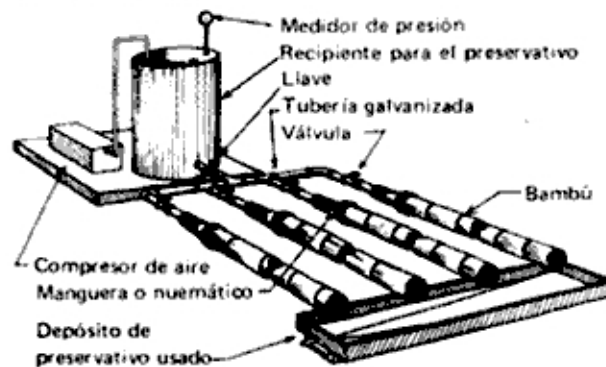
Método Boucherie por Gravedad. El bambú debe colocarse en posición inclinada o vertical.



Método Boucherie a Presión. Para el tratamiento de bambúes pequeños.



Método Boucherie a Presión. Para el tratamiento de bambúes medianos o grandes.



Método Boucherie a Presión. Para el tratamiento de varios bambúes al tiempo.

Figura N° 1.3: Tratamiento químico – Método Boucherie



Fotografía N° 1.13: Aplicación del método Boucherie.

## CAPÍTULO 2. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL BAMBÚ GUADUA ANGUSTIFOLIA

### 2.1 Taxonomía del bambú *Guadua Angustifolia*

La clasificación taxonómica completa de la *Guadua* se puede ver a continuación:

Reino	:	Vegetal	División	:	Spermatofitas
Subdivisión	:	Agiospermas	Orden	:	Glumiflorales
Clase	:	Monocotiledoneas	Familia	:	Poaceae
Subfamilia	:	Bambusoideae	Supertribu	:	Bambusodae
Tribu	:	Bambusedae	Subtribu	:	Guadinae
Género	:	<i>Guadua</i>	Especie	:	<i>Angustifolia</i>

Kunth

Variedad : Bicolor

Forma : Castilla, Cebolla, Macana, Cotuda, Rayada.

Nombre : *Guadua Angustifolia* Kunth (Bambusa *Guadua* H et B)

Científico

## TAXONOMÍA DE LA GUADUA

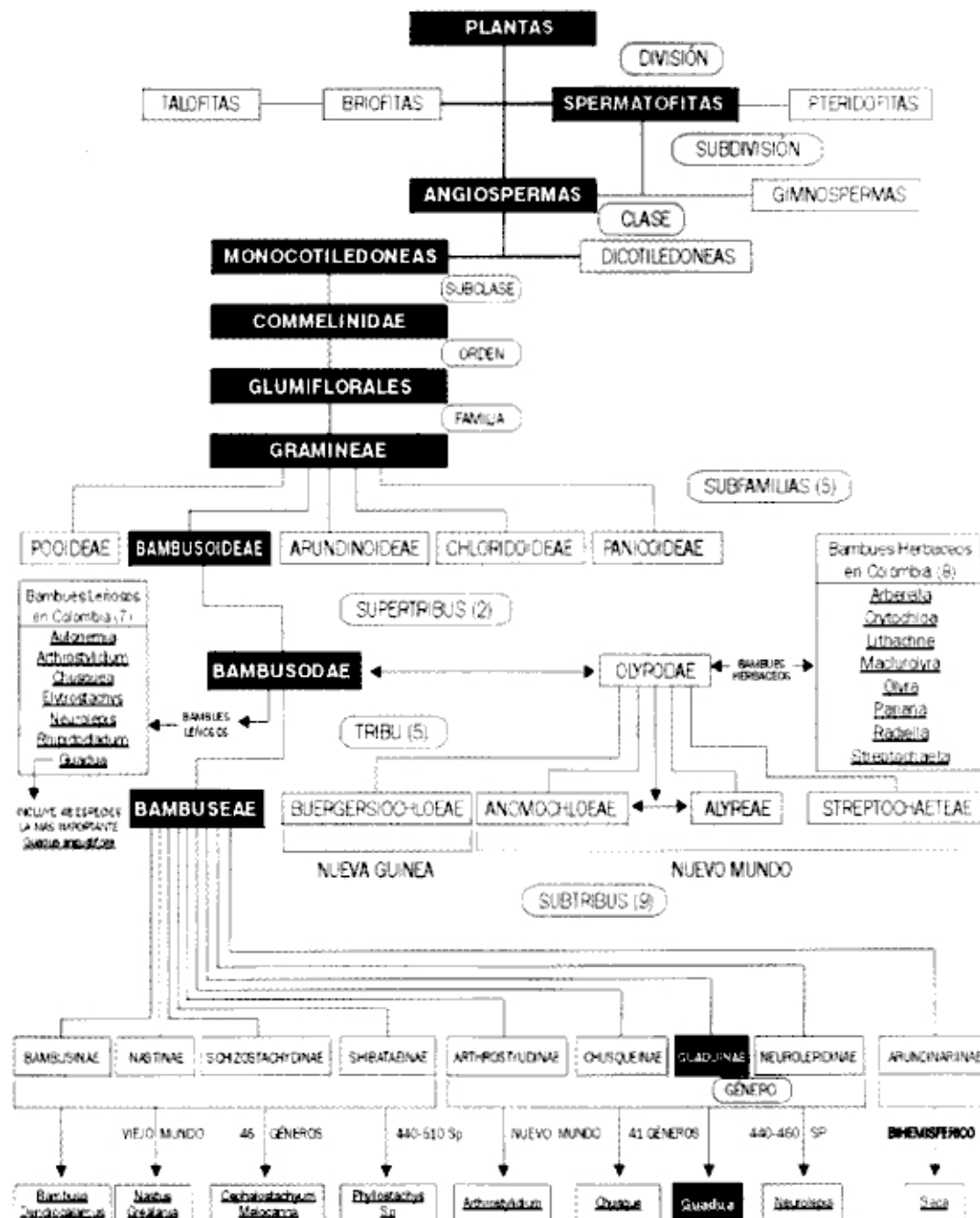


Tabla N°02: Taxonomía del Bambú.

## 2.2 Manejo silvicultural del bambú *Guadua Angustifolia*

En muy extensas zonas del globo los bambúes encuentran una multitud de aplicaciones. Estas forman parte principal de las actividades de construcción de viviendas rurales. Por otra parte, la fabricación de celulosa y papel a partir del bambú también está en auge a nivel mundial.

La dinámica de las fases reproductivas y vegetativas de un organismo y de una población, está determinada por su interacción con diversos factores bio-físicos del ambiente circundante, estableciéndose mecanismos de crecimiento o generación de masa y de sucesión poblacional, únicos para cada especie con particularidades para cada ambiente.

La regeneración natural de la *Guadua* ocurre estacionalmente y es el resultado de dos estrategias reproductivas: la sexual y la asexual por activación de las yemas del rizoma.

La silvicultura se refiere a las técnicas y manejo de bosques con múltiples propósitos e incluye el cultivo, su manejo y aprovechamiento con el fin de incrementar la productividad y beneficios. Los sistemas relacionados con la silvicultura para la *Guadua angustifolia* son similares a los aplicados en las especies forestales.

Para la *Guadua* se explican dos sistemas de silvicultura: El *manejo de la regeneración natural* y el *establecimiento de nuevas plantaciones*. El bosque natural de *Guadua* presenta un conglomerado promedio de tallos de entre 3000 a 6000 tallos/ha en diferentes estados de madurez, siendo los tallos maduros y muy maduros los de mayor porcentaje (40-70%). Estos tallos deben irse aprovechando periódicamente a fin de evitar que lleguen al estado de *Guadua* seca, donde el tallo pierde todo su valor comercial debido a la pérdida de su resistencia o vigor para los diferentes usos domésticos e industriales. La gran capacidad de auto regeneración vegetativa trae como consecuencia una agresiva competencia entre individuos por recursos, por lo que desde el punto de vista ecológico y de silvicultura se deben extraer individuos a fin de regular el espacio vital de los que deben quedar en pie; esta y otras prácticas maximizan las tareas de aprovechamiento.



### **2.2.1 Propagación :**

Los bambúes son especies de fácil colonización y cuando se quiere prescindir de ellos resulta difícil su exterminio. En muchos lugares de la India invade las zonas de suelo abierto y persisten en el bosque húmedo. Después de la floración y producción de semillas, las cañas de casi todas las especies se marchitan y mueren, y la masa puede regenerarse a partir de nuevas cañas que retoñan de rizomas subterráneos.

Aunque el método tal vés más exitoso y de fácil realización sea el de propagación vegetativa a través del rizoma este no es el más recomendable debido a que implica la deforestación de un área para la repoblación de otra.

Una forma indirecta de maximizar el aprovechamiento del rizoma es la recolección de los brotes que aparecen cerca de la base del culmo previamente aprovechado y es el método convencional más eficiente por su alto índice de supervivencia y desarrollo. También se usan las partes aéreas de la planta que contengan yemas que en contacto con el suelo genera una planta.

A continuación se señalan los principales métodos de propagación:

#### **2.2.1.1 Por semilla sexual**

A pesar de que la floración ocurre todos los años después de un periodo seco, la recolección de semillas se dificulta debido a que un alto porcentaje de las espiguillas tienden a ser parasitadas. Los experimentos de propagación de semillas han mostrado alto porcentaje de germinación (entre 95 y 100 por ciento). Este método de reproducción sexual es difícil debido a las dificultades de recolectar suficiente semilla.

La germinación se alcanza a los 23 días después de la siembra, inicia con un brote delgado y frágil que genera hojas lento crecimiento; la parte subterránea es fibrosa, corta y de poco anclaje. Luego se desarrolla el rizoma en cuatro meses, e inicia la emisión de rebrotes como parte de su estrategia de reproducción asexual.



Fotografía N°2.1: Propagación del bambú – Semillas

#### 2.2.1.2 Por cortes del rizoma

Este método puede comprometer la conservación de la especie, no se debe extraer la totalidad del rizoma; el método más recomendado y utilizado para manejar los rizomas es manejar sus brotes. Estos provienen de un brote basal del rizoma que pueden ser extraídos y posteriormente propagado. Es muy recomendado por el alto índice de supervivencia y desarrollo; cada brote que sale del rizoma puesto en vivero puede producir entre 7 a 10 plántulas nuevas en 4 meses. Los brotes una vez germinados se pueden recolectar al menos dos meses después del aprovechamiento, lo ideal es que se haga de rodales vigorosos, fértiles y sanos, las distancias de siembra ideales es de 0.3 m entre plántulas.

De acuerdo a estudios anteriores se ha determinado que los mejores rendimientos se obtienen en suelos drenados de textura franco arenosa, con alto contenido de materia orgánica y riego diario. Una mezcla de NPK en proporción 17-16-18 con 2 g de boro (B) puede ser aplicada a los 12 o 15 días después de establecidos los nuevos rizomas.

Las plántulas nuevas pueden volver a ser propagadas por el mismo método o sembradas en bolsas.



Fotografía N°2.2: Muestra de rizoma



*Sistema de propagación de la guada, reproducción asexual.*

Figura N°2.1: Propagación por medio de rizoma.

### 2.2.1.3 Por cortes del culmo

Este sistema consiste en tomar partes del culmo de un metro de longitud, de uno a dos años de edad, con dos o más nudos y con varios nudos con yemas. Estas secciones se siembran en forma horizontal o vertical, su prendimiento está entre el 50 y 80 por ciento.

El inconveniente de esta técnica para la propagación masiva es la utilización de amplios espacios de siembra. Las ramas también pueden ser propagadas por esquejes. Se cortan trozos de ramas basales de madurez intermedia (ramas jóvenes) de 15 cm de largo con una o varias yemas, se siembran en bolsas enterrándolas hasta el primer nudo basal.



Fotografía N°2.3: Propagación por cortes del culmo.

#### 2.2.1.4 Acodo

Para los acodos se utilizan las ramas laterales primarias. A una longitud de 20 a 30 centímetros del ápice de la misma se hace una hendidura superficial en forma de anillo. El corte parcial se cubre con musgo y se envuelve con polietileno negro, dejando orificios grandes para el riego permanente y promover así el brote de yemas; para este tipo de propagación los porcentajes de prendimiento son de aproximadamente 50%.

#### 2.2.1.5 Cultivo *in vitro*

La micro propagación puede convertirse en una alternativa atractiva para la multiplicación eficiente en este grupo de plantas. Principalmente se han usado dos métodos para la multiplicación *in vitro* del bambú: embriogénesis y propagación por yemas axilares y microestacas. Con las microestacas se puede tener una tasa de multiplicación muy alta que permita solucionar la carencia de material para producción en gran escala.



Fotografía N°2.4: Método de propagación – Acodos



Fotografía N°2.5: Cultivo In Vitro del Bambú

## 2.2.2 Las Plantaciones

El material vegetal a plantar debe ser fuerte, sano y vigoroso. El material vegetal en bolsa o a raíz desnuda debe tener al menos 20 cm de altura, de 2 a 4 tallos lignificados, raíces diferenciadas, y al menos 10 láminas foliares desarrolladas.

Las condiciones ideales del sitio para plantaciones de *guadua* son de acuerdo a Camargo:

- Entre 900 y 1600 msnm; precipitación entre 2000-4000 mm promedio anual,
- En suelos con buenas condiciones físicas (alta porosidad, baja densidad, texturas gruesas) y ligeramente ácidos con fertilidad moderada; sin embargo bajo suelos ricos en bases y arcillosos, es posible tener plantaciones con tallos no tan grandes pero de buenas características físico mecánicas.
- Una topografía plana para culmos de gran dimensión y ondulada para culmos fuertes pero con menores dimensiones,
- con respecto al uso de la tierra o cobertura es importante destacar que establecer *guadua* en áreas anteriormente bajo pasturas, resulta mucho más crítico que en áreas anteriormente usadas para agricultura.

Se estima que una plantación de *guadua* empieza su producción de madera entre el quinto y décimo año dependiendo de las condiciones de sitio. Las mejores condiciones para calidad de la madera se obtienen en zonas entre los 1200 y 1500 msnm, en laderas con pendiente considerable (20 - 30°), temperaturas entre 20 y 22 °C; suelos con densidad aparente alta, niveles altos de resistencia a la penetración, alta conductividad hidráulica, niveles altos de potasio, sodio y aluminio.

### 2.2.2.1 Preparación del terreno

La preparación debe realizarse sobre el espacio inmediato al hoyo eliminando los obstáculos y dejando la tierra suelta y apta para el buen drenaje; el diámetro libre es de 1.5 m de diámetro. Los hoyos deben tener dimensiones de 0,40x0,40x0,40 metros. Las actividades productivas paralelas como las agroforestales no sólo favorecen la estructura y composición química del suelo,

sino que también mejora la estructura económica de gastos e ingresos del proyecto. Tales actividades pueden realizarse durante el primer año.

#### **2.2.2.2 Distancia de siembra**

La distancia de siembra depende del objetivo del cultivo. Para plantación protectora se hace en triángulo a 2,5 x 2,5 metros; también de 1 ó 2 metros a la orilla de los ríos.

El principal problema a resolver en la siembra es la distancia entre surcos. La debe sembrarse a distancias amplias; sin embargo, el incremento de la distancia entre surcos propicia la invasión de malezas lo que lleva a mayores costos de establecimiento; las distancias entre surcos podrían ser de 6, 7 y 8 metros.

Los espaciamientos utilizados en plantaciones son 4 x 4, 4,5 x 4,5 y 5 x 5 metros; el distanciamiento que más se recomienda es 4 x 4 metros debido a que favorece el crecimiento de las partes comerciales sobre todo en los límites exteriores del guadua.

#### **2.2.3 La Fertilización**

Si al momento de la siembra el suelo no es completamente orgánico (negro) para el llenado de los hoyos se prepara una mezcla de tres partes de suelo negro por una de materia orgánica con bajo contenido de humedad. Esta puede ser pulpa de café, cascarilla de arroz o humus producido por lombricultura.

Son recomendables los abonos orgánicos y los que contienen nitrógeno, fósforo y potasio (NPK); se puede aplicar al momento de la siembra y posteriormente a los 2 meses, 6 meses y al año. Cuando se utilizan químicos se abona a los 10 días después de sembrada la planta. Se debe esparcir en forma de corona y a una distancia de 20 o 30 centímetros de la planta.

Para fertilización química se recomienda NPK en la relación 2-1-4, complementado con boro. La primera aplicación es a los 10 días después de la siembra y a los 9 meses (30 g/tiempo/planta); al final de este primer año 60 g/planta, a la mitad del segundo año 80 g, al tercer año al menos dos aplicaciones entre 100 y 120 gramos por planta.

#### **2.2.4 Control de malezas**

Como cualquier otro cultivo durante los primeros años, la guadua requiere que las plantas estén libres de malezas; basta con un área libre de 1,5 m de diámetro. Esta actividad se llevara a cabo como mínimo tres o cuatro veces durante los primeros tres años.

#### **2.2.5 Poda**

Entre el primer y tercer año las guaduas secas, torcidas, enfermas y quebradas deben ser eliminadas, así como los tallos iguales o menores a 2,5 cm de diámetro y entre 2 a 3 metros de altura. Los periodos de mantenimiento deben ser efectuados cada 3 ó 4 meses al año. A los tres años el trazado original de la plantación se pierde debido al acercamiento de los culmos la planta original habrá generado entre 18-20 rebrotes, con alturas entre 5 y 7 metros y diámetros de 4 a 6 centímetro. Entre los 4 a 6 años el gradual estabiliza sus promedios, alturas de 15 a 18 metros con diámetros de 10 a 12 centímetros al exterior del gradual; el número de rebrotes disminuye de 12 a 14 y su densidad alcanza las 4000 a 4500 guaduas por hectárea. En este momento las guaduas maduras que no han alcanzado las dimensiones comerciales deben ser retiradas. Se distinguen cuatro estados de desarrollo: renuevos, juvenil, madura y secas, esta última indica el fin del ciclo de vida.

La práctica de la poda debe ser realizada en tallos jóvenes y cuando las riendas apenas están emergiendo.

#### **2.2.6 Cosecha**

Un gradual bien aprovechado debe contener una estructura horizontal mínima de 65 a 70 por ciento de guaduas maduras, 20 a 25 por ciento de juveniles, 5 a 10 por ciento de renuevos y entre 2 a 5 por ciento de guaduas secas. La cosecha se realiza entre el 4to y 6to año de establecida la plantación; no se debe cosechar más del 30% de las guaduas maduras para no afectar la dinámica de su crecimiento y para no favorecer el efecto mecánico del viento.



Los guaduales presentan una alta estabilidad y buscan el equilibrio con suma rapidez. Es así como bajo tasas de extracción entre el 12% y 50% sobre el total de tallos adultos, la regeneración no se altera ni muestra alguna tendencia, y se mantiene en unos límites dados principalmente por las particularidades del lugar.



Fotografía N°2.6: Plantaciones de bambú

### **2.3 Aplicación de la biotecnología en el estudio y conservación del bambú *Guadua Angustifolia***

El término biotecnología es muy amplio e incluye todas las actividades desarrolladas por el hombre en torno a la utilización de los organismos vivos para su beneficio. En plantas estas técnicas han sido utilizadas para mejorar la calidad de los cultivos: su producción, aumentar la resistencia a enfermedades, mejorar la calidad de la madera en caso de especies forestales etc. La

importancia del desarrollo de la biotecnología en Bambú radica en aprovechar el potencial que este tipo de plantas poseen. Actualmente en el mundo se utiliza la micro propagación como la principal biotécnica aplicada a varias especies de bambú y se han desarrollado diferentes métodos para la propagación a gran escala. Para el desarrollo de la producción comercial de plantas de guadua a través de la propagación in vitro se hace necesario iniciar un proceso de selección genética del material inicial para la propagación, que garantice la calidad genética de las plantas entregadas a un programa de fomento del cultivo. Como apoyo a la selección genética se han desarrollado los marcadores moleculares o huellas digitales de ADN, esta tecnología se utiliza para la identificación de genotipos, la medición de las distancias genéticas entre individuos muy relacionados entre sí, para conocer el grado de variabilidad genética como apoyo a estudios sobre la filogenia y a la taxonomía de la especie.

La variabilidad que se expresa a nivel morfológico como la calidad de los tallos, la coloración, la presencia de rayas o no, son variaciones que pueden ser detectadas a nivel del ADN, con los marcadores moleculares.

Determinar para la guadua si la variación morfológica existente es posible de detectar a nivel de ADN y se relaciona con cambios en el ADN entre genotipos, esto permitirá seleccionar marcadores para identificar genotipos de calidad superior los cuales serán utilizados para la propagación masiva y el fomento del cultivo.

Una de las posibles metodologías que se usa para analizar la calidad genética del bambú se resume en:

1. Propagación in vitro de *Guadua angustifolia* - Se realizan experimentos para evaluar la desinfección y establecimiento in vitro de yemas provenientes de material de vivero.

- Una vez establecidas las yemas in vitro se estudia la influencia de la posición de la yema en la brotación.
- Se evalúa el número de brotes producidos.

· Las plantas obtenidas son llevadas al invernadero y se produce su aclimatación.

## 2. Caracterización molecular de la diversidad genética de la guadua.

· Se prueban protocolos de extracción de ADN: Dellaporta (1983), Gilbertson et al (1991) y Hoinsigton (1992). Se determina la cantidad y pureza del ADN

· Una vez establecido el protocolo de extracción se procede a la toma de las muestras, la cual se realiza en varias salidas al campo y de diferentes zonas, se recolectan los individuos (cada una con duplicado), a los cuales se les da exactamente el mismo tratamiento.

· Se procede al desarrollo de los marcadores moleculares conocidos como AFLP (longitud de fragmentos polimórficos amplificados).

El valor total del índice de Shannon indica la diversidad genética.

<b>BIOTIPO</b>	<b>ÍNDICE DE SHANNON H</b>
01 Curvado o torcido	0.188 ± 0.260
02 Rayada frecuente	0.160 ± 0.268
03 Amarilla Playón	<b>0.288 ± 0.301</b>
04 Rayada ancha	0.227 ± 0.280
05 Rayada escasa	0.151 ± 0.236
06 Verde alta	0.227 ± 0.287
07 Macho	0.207 ± 0.281
08 Hembra	0.216 ± 0.286
09 Rayada negra	0.246 ± 0.302
10 Convexa	<b>0.142 ± 0.254</b>
11 Amarilla	0.154 ± 0.250
12 Verde irregular	0.273 ± 0.293
<b>TOTAL</b>	<b>0.445 ± 0.195</b>

Tabla N°03: Índices de Shannon y biotipos del bambú.

## **CAPÍTULO 3. ENSAYOS PARA DETERMINAR LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS GENERALES DEL BAMBÚ.**

### **3.1 Colección de muestras**

El bambú utilizado en los ensayos fue obtenido a través de la Asociación Peruana del Bambú, Perú Bambú, el mismo provenía del norte del país, del departamento de Amazonas, provincias de Bagua y Bongara, distritos de Bagua Chica y La Florida.

Las muestras fueron curadas en la mata (In Situ).

### **3.2 Ensayo de propiedades físicas**

#### **3.2.1 Contenido de humedad**

Para obtener las propiedades físicas del bambú se tomo como referencia la norma ISO 22156:2004, se procedió a tomar muestras de las probetas luego de ensayadas, se obtuvo el peso de la muestra obtenida y luego se sometió a secado utilizando para este fin un horno Memmert a una temperatura de 135 grados centígrados. El secado se realizó por 24 horas y luego se procedió a medir el peso de las mismas con una precisión 0.01 gr. Utilizando una balanza digital de alta precisión.

Los resultados obtenidos para los ensayos de contenido de humedad se muestran en la tabla No. 4.

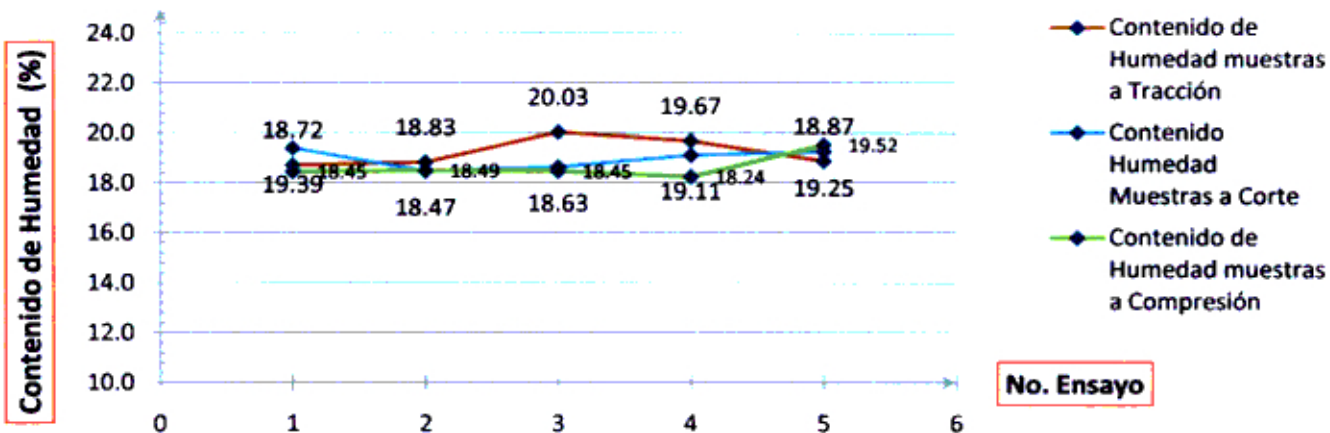
#### **3.2.2 Densidad (Masa por Volumen)**

Para la prueba de densidad se tomo como referencia la norma ISO 22156:2004, se calculo el volumen geoméricamente y se calculo el peso con una precisión de 0.01 gr.

Los resultados obtenidos en los ensayos de densidad se muestran en la tabla No. 5

Tabla N°.4:  
Contenido de  
Humedad

Contenido de Humedad : Muestras sometidas a compresión, corte y tracción.



No. Ensayo	Muestras Ensayos Compresion	Muestras Ensayos Corte	Muestras Ensayos Traccion
	Contenido de Humedad (%)		
1	18.45	19.39	18.72
2	18.49	18.47	18.83
3	18.45	18.63	20.03
4	18.24	19.11	19.67
5	19.52	19.25	18.87

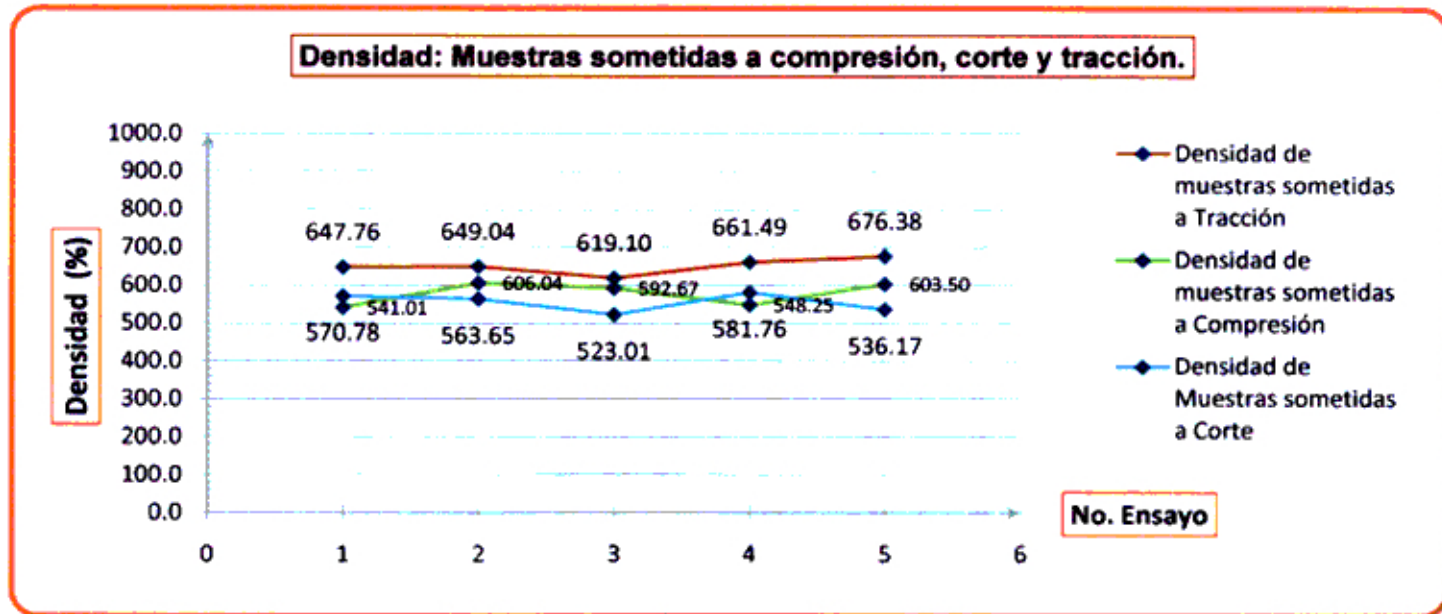
Muestras a Compresión: CH Promedio = 18.63 %

Muestras a Corte: CH Promedio = 18.97 %

Muestras a Tracción: CH Promedio = 19.22 %

Contenido de Humedad promedio = 18.94 %

Tabla N°.5 :  
Densidad



No. Ensayo	Muestras Ensayos Compresión	Muestras Ensayos Corte	Muestras Ensayos Tracción
	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )		
1	541.01	570.78	647.76
2	606.04	563.65	649.04
3	592.67	523.01	619.10
4	548.25	581.76	661.49
5	603.50	536.17	676.38

Muestras a Compresión: Densidad Promedio = 578.30 Kg/m<sup>3</sup>

Muestras a Corte: Densidad Promedio = 555.07 Kg/m<sup>3</sup>

Muestras a Tracción: Densidad Promedio = 650.75 Kg/m<sup>3</sup>

Densidad Promedio = 594.71 Kg/m<sup>3</sup>

### 3.3 Ensayo de propiedades mecánicas

#### 3.3.1 Ensayo de compresión

Para el ensayo de compresión se tomo como referencia la norma internacional ISO 22156:2004, las probetas consideradas tuvieron una longitud igual al diámetro de las mismas, el proceso de preparación de las probetas incluyó el corte y lijado de los extremos para procurar el paralelismo de ambos extremos.

La falla común que se presentó fue de Aplastamiento de la Sección Transversal.

Los ensayos realizados arrojaron los siguientes resultados:

1er ensayo máxima carga soportada:	11500 kg
2do ensayo máxima carga soportada:	10550 kg
3er ensayo máxima carga soportada:	11235 kg
4to ensayo máxima carga soportada:	9850 kg
5to ensayo máxima carga soportada:	11050 kg

Valor Promedio: 10837 Kg

Los resultados de resistencia máxima, carga máxima y área son indicados en la tabla No. 6

Tabla N°. 6 : Resultados de la prueba de compresión

Prueba de Compresión										
	Muestra A		Muestra B		Muestra C		Muestra D		Muestra E	
<b>Diametro</b>	94.535	mm	94.535	mm	94.5975	mm	96.5025	mm	94.635	mm
<b>Altura</b>	93.1725	mm	93.1725	mm	89.515	mm	96.4225	mm	95.05	mm
<b>Espesor</b>	8.64	mm	8.64	mm	8.68	mm	9.11	mm	9.31	mm
<b>Area</b>	2330.87	mm <sup>2</sup>	2330.87	mm <sup>2</sup>	2342.89	mm <sup>2</sup>	2501.17	mm <sup>2</sup>	2495.61	mm <sup>2</sup>
<b>H/D</b>	0.99		0.99		0.95		1.00		1.00	
<b>Peso Inicial, medio ambiente</b>	161.65	gr	169.93	gr	151.12	gr	174.7	gr	165.78	gr
<b>Peso final, secado al horno</b>	136.39	gr	143.52	gr	127.18	gr	147.62	gr	139.35	gr
<b>Contenido de Humedad</b>	18.5	%	18.4	%	18.8	%	18.3	%	19.0	%
<b>Volumen</b>	217173.188	mm <sup>3</sup>	217173.188	mm <sup>3</sup>	209723.475	mm <sup>3</sup>	241168.621	mm <sup>3</sup>	237207.257	mm <sup>3</sup>
<b>Densidad</b>	628.024	kg/m <sup>3</sup>	660.855	kg/m <sup>3</sup>	606.418	kg/m <sup>3</sup>	612.103	kg/m <sup>3</sup>	587.461	kg/m <sup>3</sup>
<b>Carga Máxima (Kg-Fuerza)</b>	11500	Kg-f	10550	Kg-f	11235	Kg-f	9850	Kg-f	11050	Kg-f
<b>σult (N/mm<sup>2</sup>=MPa)</b>	48.38	Mpa	44.39	Mpa	47.03	Mpa	38.62	Mpa	43.42	Mpa





Fotografía N°3.1: Probeta luego de sometida al ensayo de compresión y deformímetro digital con una precisión de 0.01 mm.



Fotografía N°3.2: Aplastamiento de la sección transversal.

### 3.3.2 Ensayo de tracción

Para el ensayo de compresión se tomo como referencia la norma internacional ISO 22156:2004, las secciones de bambú tuvieron las siguientes dimensiones:

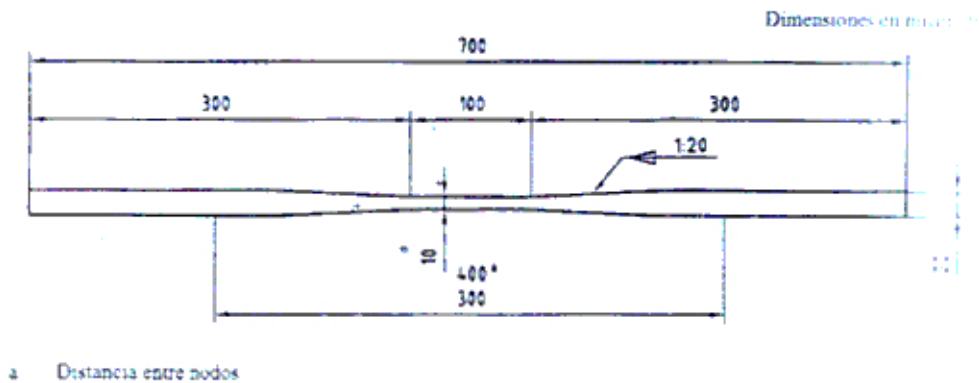
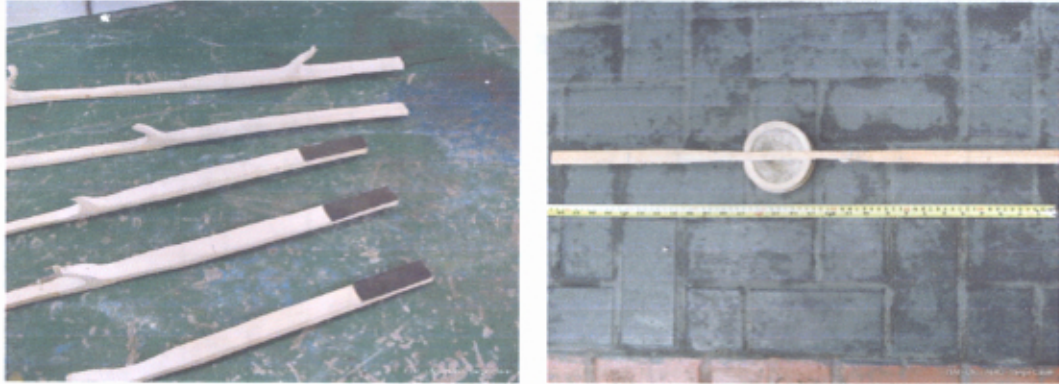


Figura N°3.1: Sección de listones de bambú – Prueba de tracción.

La maquinaria utilizada para someter los listones a tracción fue la misma que la utilizada para las pruebas de tracción en las uniones estructurales.



Fotografía N°3.3: Especímenes de bambú para la prueba de tracción.



Fotografía N°.3.4 y N°.3.5: Uso de láminas de lija para fijar el bambú en sus extremos durante la prueba de tracción y medidas de la sección de bambú.

Las pruebas de tracción arrojaron los siguientes resultados:

- 1er ensayo: 780 kg
- 2do ensayo: 760 kg
- 3er ensayo: 800 kg
- 4to ensayo: 740 kg
- 5to ensayo: 780 kg

Valor promedio : 772 Kg

Los resultados de Resistencia Máxima a tracción, Carga Máxima y área son indicados en la tabla No. 7.

Tabla N°. 7 : Resultados de la prueba de tracción

	Muestra A		Muestra B		Muestra C		Muestra D		Muestra E	
<b>Propiedades Sección</b>										
ancho 1	10.42	mm	12.47	mm	10.21	mm	9.2	mm	11.18	mm
ancho 2	10.09	mm	10.5	mm	10.03	mm	9.08	mm	10.99	mm
ancho promedio	<b>10.255</b>	mm	<b>11.485</b>	mm	<b>10.12</b>	mm	<b>9.14</b>	mm	<b>11.085</b>	mm
Espesor 1	7.31	mm	6.05	mm	7.35	mm	6.65	mm	7.28	mm
Espesor 2	7.12	mm	6.21	mm	6.37	mm	6.71	mm	6.85	mm
Espesor promedio	<b>7.215</b>	mm	<b>6.13</b>	mm	<b>6.86</b>	mm	<b>6.68</b>	mm	<b>7.065</b>	mm
Area	<b>73.99</b>	mm <sup>2</sup>	<b>70.40</b>	mm <sup>2</sup>	<b>69.42</b>	mm <sup>2</sup>	<b>61.06</b>	mm <sup>2</sup>	<b>78.32</b>	mm <sup>2</sup>
<b>Propiedades Muestra</b>										
Peso Inicial , medio ambiente	8.37	gr	8.33	gr	7.55	gr	9.43	gr	10.08	gr
Peso final, secado al horno	7.05	gr	7.01	gr	6.29	gr	7.88	gr	8.48	gr
Contenido de Humedad	18.7	%	18.8	%	20.0	%	19.7	%	18.9	%
Volumen	10883.65	mm <sup>3</sup>	10800.51	mm <sup>3</sup>	10159.95	mm <sup>3</sup>	11912.51	mm <sup>3</sup>	12537.38	mm <sup>3</sup>
Densidad	647.761	kg/m <sup>3</sup>	649.043	kg/m <sup>3</sup>	619.098	kg/m <sup>3</sup>	661.490	kg/m <sup>3</sup>	676.377	kg/m <sup>3</sup>
<b>Carga Máxima (Kg-Fuerza)</b>	780	Kg-Fuerza	760	Kg-Fuerza	800	Kg-Fuerza	740	Kg-Fuerza	780	Kg-Fuerza
<b>σult (N/mm<sup>2</sup>=MPa)</b>	103.32	Mpa	105.80	Mpa	112.94	Mpa	118.79	Mpa	97.61	Mpa

### 3.3.3 Ensayo de corte

Para los ensayos de corte las dimensiones se tomaron de acuerdo a la norma internacional ISO 22156:2004, se procedió a efectuar el lijado en ambos extremos de las muestras para procurar el paralelismo entre las mismas.

Los elementos utilizados tuvieron una relación de altura y diámetro aproximada a la unidad. El accesorio utilizado para el ensayo consistía en dos bloques de acero colocados en cada lado de las probetas, el objetivo de estos elementos era el de tener 4 posibles áreas de cizallamiento longitudinales.



Fotografía N° 3.6: Prueba de Corte – Elementos utilizados para someter a carga 4 secciones longitudinales en cada probeta.



Fotografía N°.3.7: Probeta sometida a prueba de corte



Fotografía N°.3.8: Fallas longitudinales al realizar la prueba.

Las pruebas de corte arrojaron los siguientes resultados:

- 1er ensayo: 1490 kg
- 2do ensayo: 2480 kg
- 3er ensayo: 2190 kg
- 4to ensayo: 1458 kg
- 5to ensayo: 1940 kg

Valor promedio: 1911,6 Kg

Los resultados de Resistencia Máxima a corte, Carga Máxima y área son indicados en la tabla No. 8.

Es de notar que en la mayoría de las probetas no se obtuvieron fallas longitudinales en las cuatro secciones de contacto.

Tabla N°. 8 : Resultados de la prueba de corte

Prueba de Corte										
	Muestra A		Muestra B		Muestra C		Muestra D		Muestra E	
Diametro Promedio	87.825	mm	87.825	mm	87.825	mm	87.825	mm	87.825	mm
Altura Secc. 1	87.650	mm	90.130	mm	89.780	mm	89.860	mm	89.960	mm
Altura Secc. 2	88.630	mm	90.020	mm	89.800	mm	89.470	mm	89.760	mm
Altura Secc. 3	87.740	mm	90.330	mm	89.390	mm	89.700	mm	89.820	mm
Altura Secc. 4	88.810	mm	89.860	mm	89.670	mm	89.420	mm	89.510	mm
Espesor Prom. Secc. 1	7.440	mm	9.130	gr	7.860	mm	7.175	mm	8.160	mm
Espesor Prom Secc. 2	7.715	mm	9.370	gr	8.205	mm	8.930	mm	8.320	mm
Espesor Prom Secc. 3	7.805	mm	8.880	mm	7.940	mm	7.655	mm	7.865	mm
Espesor Prom Secc. 4	8.745	mm	8.660	%	7.385	mm	8.095	mm	7.405	mm
<b>Máxima Fuerza (Kg-f)</b>	1490	Kg-Fuerza	2480	Kg-Fuerza	2190	Kg-Fuerza	1458	Kg-Fuerza	1940	Kg-Fuerza
<b>Σ Areas (mm<sup>2</sup>)</b>	2797.350	mm <sup>2</sup>	3246.692	mm <sup>2</sup>	2814.449	mm <sup>2</sup>	2854.221	mm <sup>2</sup>	2850.132	mm <sup>2</sup>
<b>Máximo Esfuerzo (Mpa)</b>	5.22	Mpa	7.49	Mpa	7.63	Mpa	5.01	Mpa	6.68	Mpa



## **CAPÍTULO 4. ENSAYOS EN UNIONES ESTRUCTURALES**

### **4.1 Preparación de probetas de ensayo**

#### **4.1.1 Preparación de probetas de ensayo uniones colineales**

La preparación de las probetas fue la siguiente:

- 1.- Corte de 15 probetas con una longitud de 17.5 cm.
- 2.- Lijado de extremos de las probetas.
- 3.- Toma de medidas: Diámetros exteriores e interiores, longitud final.

#### **4.1.2 Preparación de probetas de ensayo uniones perpendiculares**

La preparación de las probetas fue la siguiente:

- 1.- Corte de 15 probetas con una longitud de 17.5 cm.
- 2.- Lijado de extremos de las probetas.
- 3.- Toma de medidas: Diámetros exteriores e interiores, longitud final.

### **4.2 Ensayo de uniones en tracción**

La metodología que se utilizó en este estudio buscó someter a tracción la unión misma, estudios anteriores realizados en otros países sometieron a tracción las probetas usando sistemas de sujeción en los extremos. Es en esta investigación se realiza por primera vez el uso de extractores mecánicos.



Fotografía N°.4.1: Elemento utilizado para someter a tracción al bambú – Los extractores de 8”.

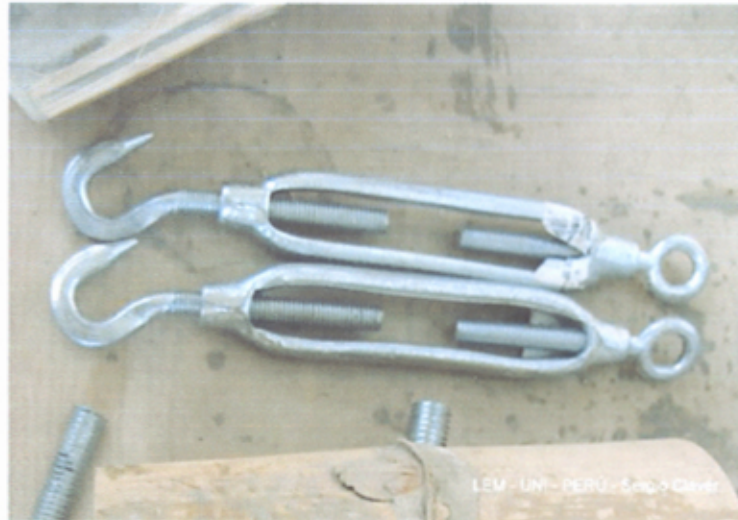
#### 4.2.1 Ensayo en uniones colineales.

##### 4.2.1.1 Primera Alternativa : Uso de acero – Templadores de 3/8 de pulgada

La primera experiencia realizada con uniones colineales fue utilizando acero, para esto se procedió a remover la membrana interior y luego se colocaron templadores de 3/8 de pulgada. Se considero colocar templadores debido a su fácil obtención en el mercado local y su bajo costo (PEN 4.5 o USD 1.5 la unidad).

Pruebas de laboratorio demostraron que cada uno de estos templadores tendría una resistencia promedio de 700kg a la tracción.

Se realizaron 3 variaciones utilizando templadores de acero.



Fotografía N°4.2: Templadores de 3/8" utilizados en las pruebas.

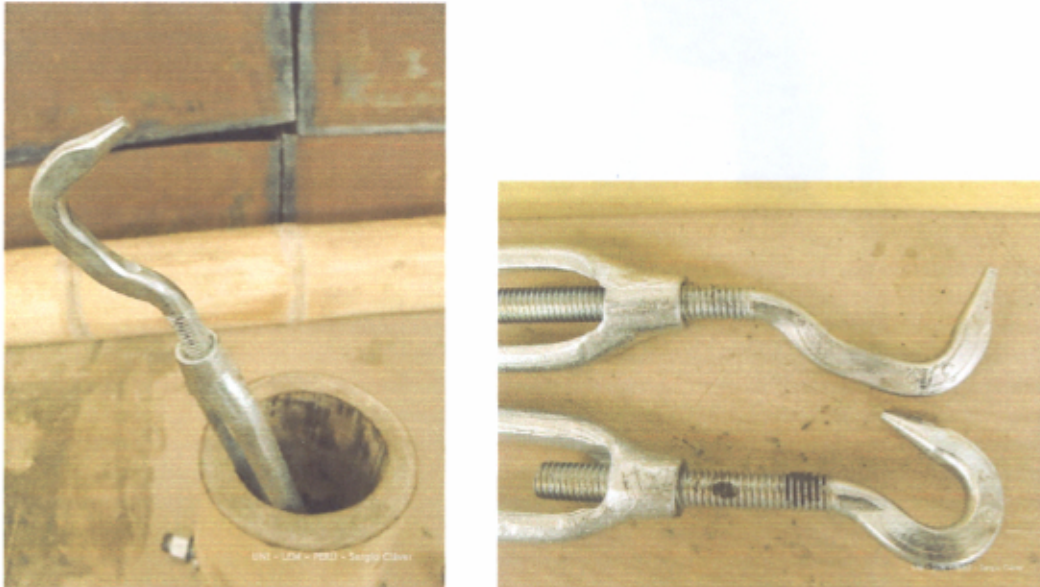
**1era Variación: Uso de 1 templador interior y 2 pernos de 1/2 transversales.**



Fotografía N°4.5 y N°4.6: Uso de 1 templador y 1 perno de 1/2 en cada lado de la unión.

Este primer ensayo dio como resultado la falla del templador, al llegar a los 700 kg el templador se deformato en uno de sus extremos, lo cual nos

indicó que se debería aumentar la resistencia de los accesorios para someter a mayor esfuerzo al bambú.

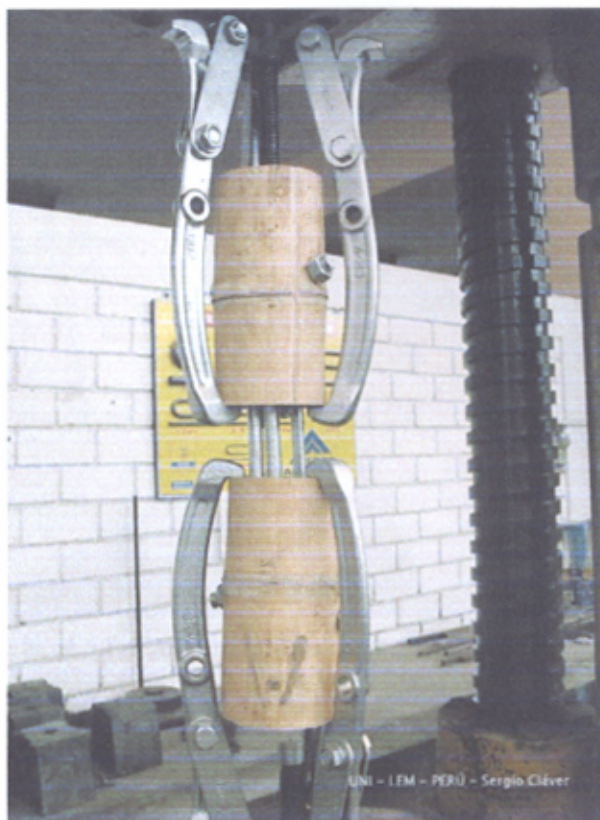


Fotografía N°.4.7 y N°.4.8: Falla en los templadores, deformación del gancho.

**2da Variación: Uso de 2 templadores interiores y 2 pernos de ½ transversal.**

En este ensayo se colocaron 2 templadores de 3/8 de pulgada y los 2 pernos de ½ pulgada con lo cual la resistencia interior debido a los templadores se vio duplicada a 1400 kilogramos de acuerdo a las características de los templadores.

El costo debido a esta modificación aumentó, además del costo de los pernos de ½ se debió considerar el uso de un templador adicional lo que dió un costo aproximado de PEN 9 o USD 3 en accesorios.



Fotografía N°.4.9: Utilización de dos templadores interiores y 1 perno de  $\frac{1}{2}$  en cada lado.

Al someter a carga la probeta la resistencia máxima fue:

1er ensayo: 950 kg

2do ensayo: 1030 kg

3er ensayo: 1050 kg

En este ensayo se obtuvo el resultado buscado, no fallaron los templadores, falló el bambú mostrando un resquebrajamiento longitudinal y una deformación promedio de 2 cm en la zona de los pernos.



Fotografía N°.4.10 y N°.4.11: Falla completa del bambú al ser sometido a carga.



Fotografía N°.4.12 y N°.4.13: Deformación apreciada en perno transversal de  $\frac{1}{2}$ " de aproximadamente 1 cm.



Fotografía N°.4.14 y N°.4.15: Deformación de pernos y sin deformación notable en los templadores.



Fotografía N°.4.16: Desplazamiento de pernos.

**3ra Variación: Uso de 2 templadores exteriores y 2 pernos de ½ transversal.**

En este ensayo se colocaron dos templadores de 3/8 de pulgada exteriormente y los 2 pernos de ½ pulgada. Se hizo esta modificación para comprobar la efectividad de colocar los templadores externamente; el colocar los templadores en esta posición simplificaría el proceso de construcción al no haber la necesidad de remover la membrana interna en ambos extremos, en este caso sería necesario solo perforar los orificios de ½ pulgada para luego atravesar en cada extremo los pernos.



Fotografía N°.4.17: Prueba a tracción con templadores colocados exteriormente.

Al someter a carga las probetas la resistencia máxima fue:

- 1er ensayo: 980 kg
- 2do ensayo: 1000 kg
- 3er ensayo: 990 kg





Fotografía N°.4.18 y N°.4.19: Prueba de tracción con templadores exteriores y desplazamiento debido a la tracción.

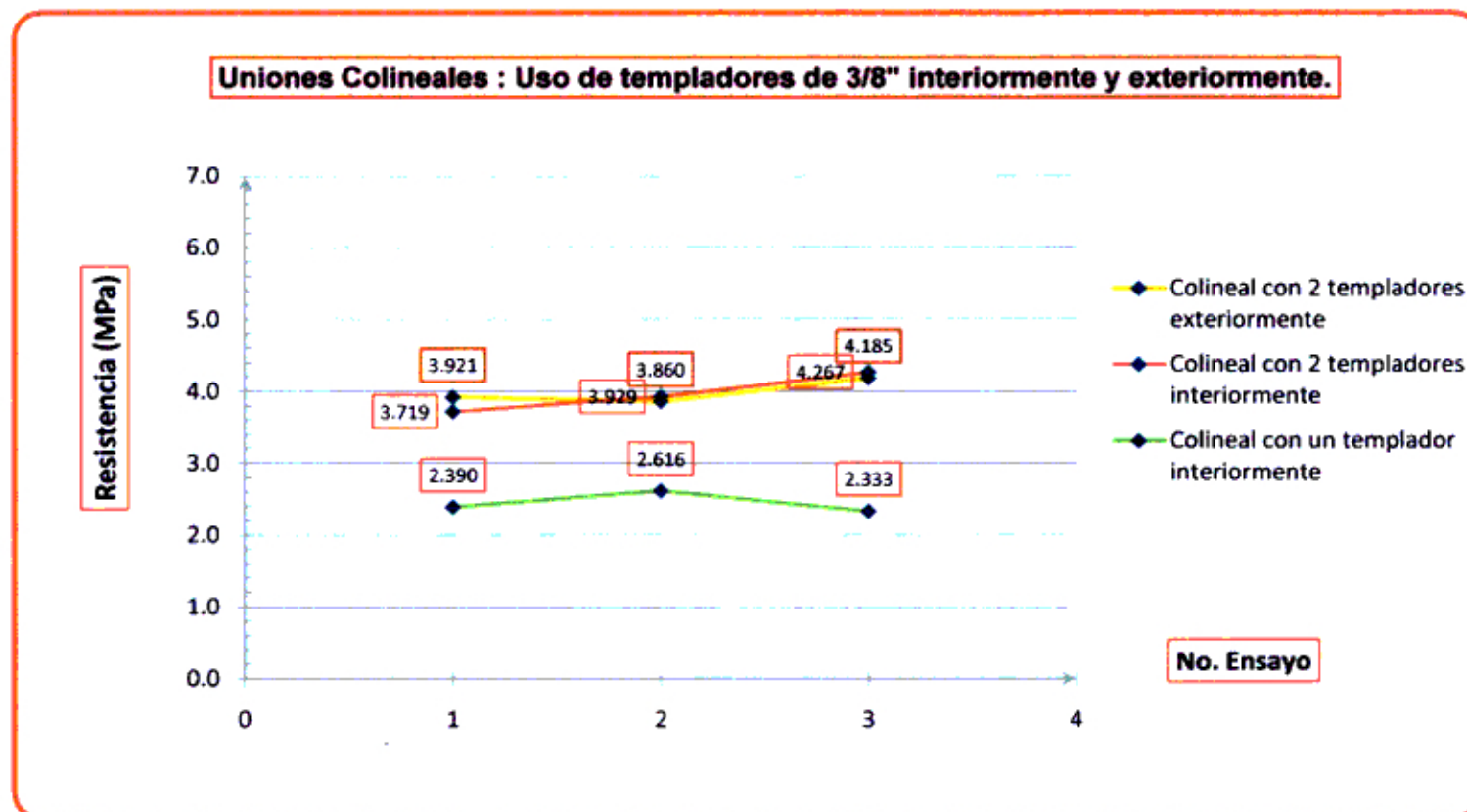
Aunque la velocidad de construcción fue mayor, los resultados obtenidos demostraron un mayor desplazamiento en los bambús, un promedio de 3 cm y una resistencia similar.

Los resultados obtenidos usando templadores son mostrados a continuación en la tabla No. 9 y en la Gráfica N°. 1.

Tabla N°. 9 : Uniones Colineales – Uso de Templadores

Resumen : Probetas sometidas a tracción utilizando templadores						
	Var 1: Un templador interior 1 perno de 1/2 en cada extremo		Var 2: Dos templadores interiores 1 perno de 1/2 en cada extremo		Var 3: Dos templadores externos 1 perno de 1/2 en cada extremo	
	<b>1er Ensayo</b>	Carga Max (Kg-f)	700	Carga Max (Kg-f)	960	Carga Max (Kg-f)
Diámetro (mm)		91.91	Diámetro (mm)	93.45	Diámetro (mm)	94.16
Espesor (mm)		11.35	Espesor (mm)	9.61	Espesor (mm)	9.18
Area (mm <sup>2</sup> )		2872.53	Area (mm <sup>2</sup> )	2531.19	Area (mm <sup>2</sup> )	2450.81
<b>Resistencia (Mpa)</b>		<b>2.390</b>	<b>Resistencia (Mpa)</b>	<b>3.719</b>	<b>Resistencia (Mpa)</b>	<b>3.921</b>
<b>2do Ensayo</b>	Carga Max (Kg-f)	680	Carga Max (Kg-f)	1030	Carga Max (Kg-f)	1000
	Diametro (mm)	88.95	Diametro (mm)	93.45	Diametro (mm)	94.38
	Espesor (mm)	10.32	Espesor (mm)	9.78	Espesor (mm)	9.53
	Area (mm <sup>2</sup> )	2549.28	Area (mm <sup>2</sup> )	2570.74	Area (mm <sup>2</sup> )	2540.36
	<b>Resistencia (Mpa)</b>	<b>2.616</b>	<b>Resistencia (Mpa)</b>	<b>3.929</b>	<b>Resistencia (Mpa)</b>	<b>3.860</b>
<b>3er Ensayo</b>	Carga Max (Kg-f)	710	Carga Max (Kg-f)	1050	Carga Max (Kg-f)	990
	Diametro (mm)	92.73	Diametro (mm)	93.34	Diametro (mm)	92.13
	Espesor (mm)	11.73	Espesor (mm)	9.12	Espesor (mm)	8.87
	Area (mm <sup>2</sup> )	2984.92	Area (mm <sup>2</sup> )	2413.01	Area (mm <sup>2</sup> )	2320.12
	<b>Resistencia (Mpa)</b>	<b>2.333</b>	<b>Resistencia (Mpa)</b>	<b>4.267</b>	<b>Resistencia (Mpa)</b>	<b>4.185</b>
	<b>Observación:</b> Falla el templador no el bambú		<b>Observación:</b> Falla el bambú Desplazamiento aprox: 2 cm		<b>Observación:</b> Falla el bambú Desplazamiento aprox: 2.5 cm	

CH promedio = 15.3%



Grafica N°.4.1: Comparativa de resultados utilizando templadores interna y externamente.

#### **4.1.1.2 Segunda Alternativa : Uso de madera tornillo – pernos transversales de 1/2 de pulgada**

La segunda experiencia realizada con uniones colineales fue utilizando madera tornillo, para esto se procedió a remover la membrana interior, se colocó el cilindro de madera tornillo y luego se insertaron transversalmente los pernos de 1/2 de pulgada. El proceso de fabricación del tramo interior de madera tornillo tuvo un costo de 20 PEN x metro lineal (USD 6.5). El costo fue alrededor de 2 veces mayor que el del uso de 2 templadores, más adelante se verá que el aumento del costo también se ve reflejado en un aumento en la resistencia.

Esta variación demandó más tiempo debido a la necesidad de usar un torno para moldear el tornillo, tomando un promedio de 30 minutos por cada metro lineal entre torneado y lijado.

#### **1ra Variación: Uso de madera tornillo interior de 2.5" de diámetro y 2 pernos transversales de 1/2 pulgada, uno en cada extremo.**

En este ensayo se colocó el tramo de tornillo interiormente y se consideró la misma ubicación para los pernos de 3/8 de pulgada, uno en cada extremo, luego se procedió a remover la membrana interior para poder pasar el tornillo. La velocidad de ensamblaje fue mayor que al caso del uso de templadores debido a la prefabricación de los tramos de tornillo.

La resistencia de la madera a tracción paralela a sus fibras en promedio es de 120 kg-fuerza/cm<sup>2</sup> por lo que se superaba al de los templadores considerablemente.



Fotografía N°.4.20: Tornillo de sección circular, luego de proceso de torneado y lijado.



Fotografía N°.4.21 y N°.4.22: Colocación del tornillo al interior de la probeta de bambú y posición del perno de 1/2" dentro de la probeta.



Fotografía N°.4.23 y N°.4.24: Prueba de tracción, probetas con madera tornillo al interior y la falla y desplazamiento observados.

Al someter a carga la probeta la resistencia máxima fue:

- 1er ensayo: 800 kg
- 2do ensayo: 900 kg
- 3er ensayo: 950 kg
- 4to ensayo: 850 kg

Los resultados fueron en promedio similares a los obtenidos al usar dos templadores externos y dos templadores internos.



Fotografía N°.4.25: Efecto en el tornillo y en el bambú luego de la prueba.

El desplazamiento que se produjo en el bambú fue en promedio de 1.5 cm, en el tornillo no hubo mayor desplazamiento de los orificios por donde pasaron los pernos de  $\frac{1}{2}$ .

**2da Variación: Uso de tornillo interior de 2.5" de diámetro y 4 pernos transversales de  $\frac{1}{2}$  pulgada, dos en cada extremo.**

En este ensayo se colocó el tramo de tornillo interiormente y se varió la ubicación para los pernos de  $\frac{3}{8}$  de pulgada, esta vez se colocaron 2 en cada extremo, luego se procedió a remover la membrana interior para poder pasar el tornillo. El realizar dos orificios adicionales retardo levemente el proceso de fabricación de la unión.



Fotografía N°.4.26: Uso de tornillo interior con dos pernos de ½" en cada extremo.

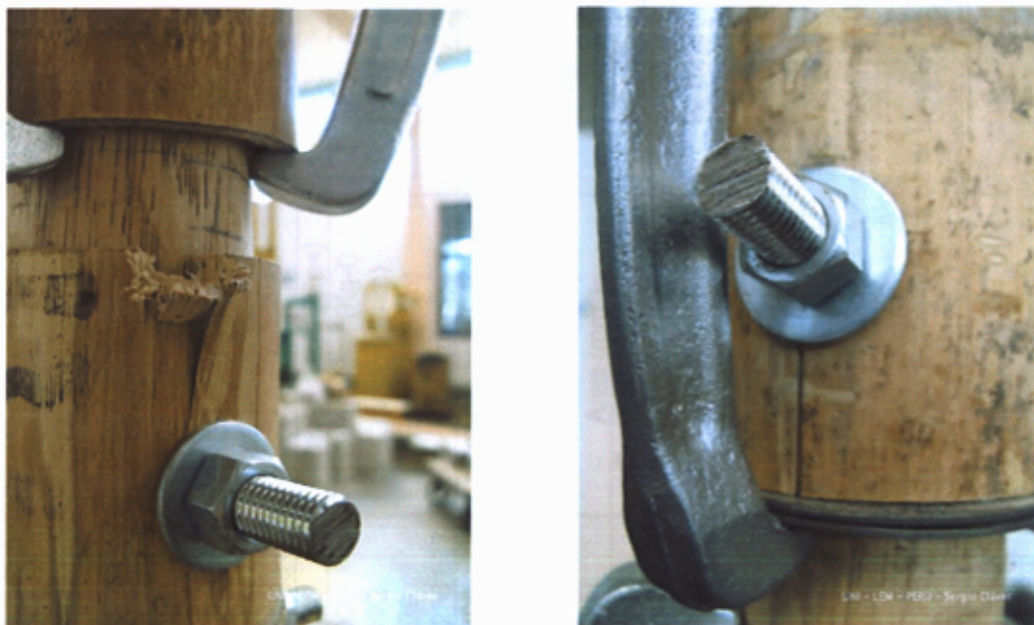
Al someter a carga la probeta con tornillo interior y dos pernos transversales en cada extremo la resistencia máxima fue:

1er ensayo: 900 kg

2do ensayo: 1000 kg

Sin embargo este resultado no fue satisfactorio debido a que se produjeron fallas locales en las zonas de contacto de los extractores y el bambú, por lo cual se tuvo que reforzar los extremos del bambú, para este objetivo se hizo uso de arandelas de 2.5" las cuales entrarían en contacto directo con los brazos del extractor evitando así la falla local.





Fotografía N°.4.27 y N°.4.28: Falla local producida por los brazos de los extractores y posterior colocación de arandelas en el extremo de la probeta para evitar las fallas locales.

Al someter la probeta a carga, usando las arandelas en los extremos de los brazos de los extractores la resistencia máxima fue:

1er ensayo: 1380 kg

2do ensayo: 1480 kg

3er ensayo: 1450 kg

4to ensayo: 1400 kg

Los resultados obtenidos usando madera tornillo interiormente son mostrados a continuación en la tabla No. 10 y en el Grafico N°2.

Tabla N°10 · Uniones Colineales – Uso de Madera Tornillo

Resumen : Probetas sometidas a tracción utilizando madera tornillo interiormente						
	Var 1: Madera Tornillo Interior 1 perno de 1/2 en cada extremo		Var 2: Madera Tornillo Interior 2 pernos de 1/2 en cada extremo sin arandelas		Var 2: Madera Tornillo Interior 2 pernos de 1/2 en cada extremo y arandelas	
	1er Ensayo	Carga Max (Kg-f)	860	Carga Max (Kg-f)	900	Carga Max (Kg-f)
Diametro (mm)		91.99	Diametro (mm)	92.54	Diametro (mm)	93.54
	Espesor (mm)	10.9	Espesor (mm)	9.27	Espesor (mm)	9.23
	Area (mm <sup>2</sup> )	2776.79	Area (mm <sup>2</sup> )	2425.04	Area (mm <sup>2</sup> )	2444.73
	<b>Resistencia (Mpa)</b>	3.037	<b>Resistencia (Mpa)</b>	3.640	<b>Resistencia (Mpa)</b>	5.536
2do Ensayo	Carga Max (Kg-f)	900	Carga Max (Kg-f)	1000	Carga Max (Kg-f)	1480
	Diametro (mm)	92.34	Diametro (mm)	93.72	Diametro (mm)	93.22
	Espesor (mm)	9.45	Espesor (mm)	9.79	Espesor (mm)	9.54
	Area (mm <sup>2</sup> )	2460.84	Area (mm <sup>2</sup> )	2581.37	Area (mm <sup>2</sup> )	2507.96
	<b>Resistencia (Mpa)</b>	3.587	<b>Resistencia (Mpa)</b>	3.799	<b>Resistencia (Mpa)</b>	5.787
3er Ensayo	Carga Max (Kg-f)	950			Carga Max (Kg-f)	1450
	Diametro (mm)	93.45			Diametro (mm)	90.93
	Espesor (mm)	10.23			Espesor (mm)	9.76
	Area (mm <sup>2</sup> )	2674.57			Area (mm <sup>2</sup> )	2488.83
	<b>Resistencia (Mpa)</b>	3.483			<b>Resistencia (Mpa)</b>	5.713
4to Ensayo	Carga Max (Kg-f)	850			Carga Max (Kg-f)	1400
	Diametro (mm)	92.73			Diametro (mm)	92.82
	Espesor (mm)	9.36			Espesor (mm)	9.62
	Area (mm <sup>2</sup> )	2451.52			Area (mm <sup>2</sup> )	2514.48
	<b>Resistencia (Mpa)</b>	3.400			<b>Resistencia (Mpa)</b>	5.460
	<b>Observación:</b> La deformación en el tornillo fue mínima El bambú falló completamente		<b>Observación:</b> Se detuvieron los ensayos debido a fallas locales, Se procedió a reforzar el bambú		<b>Observación:</b> Las arandelas adicionales evitaron las fallas locales Deformación mínima en el tornillo El bambú falló completamente.	

CH promedio = 16%

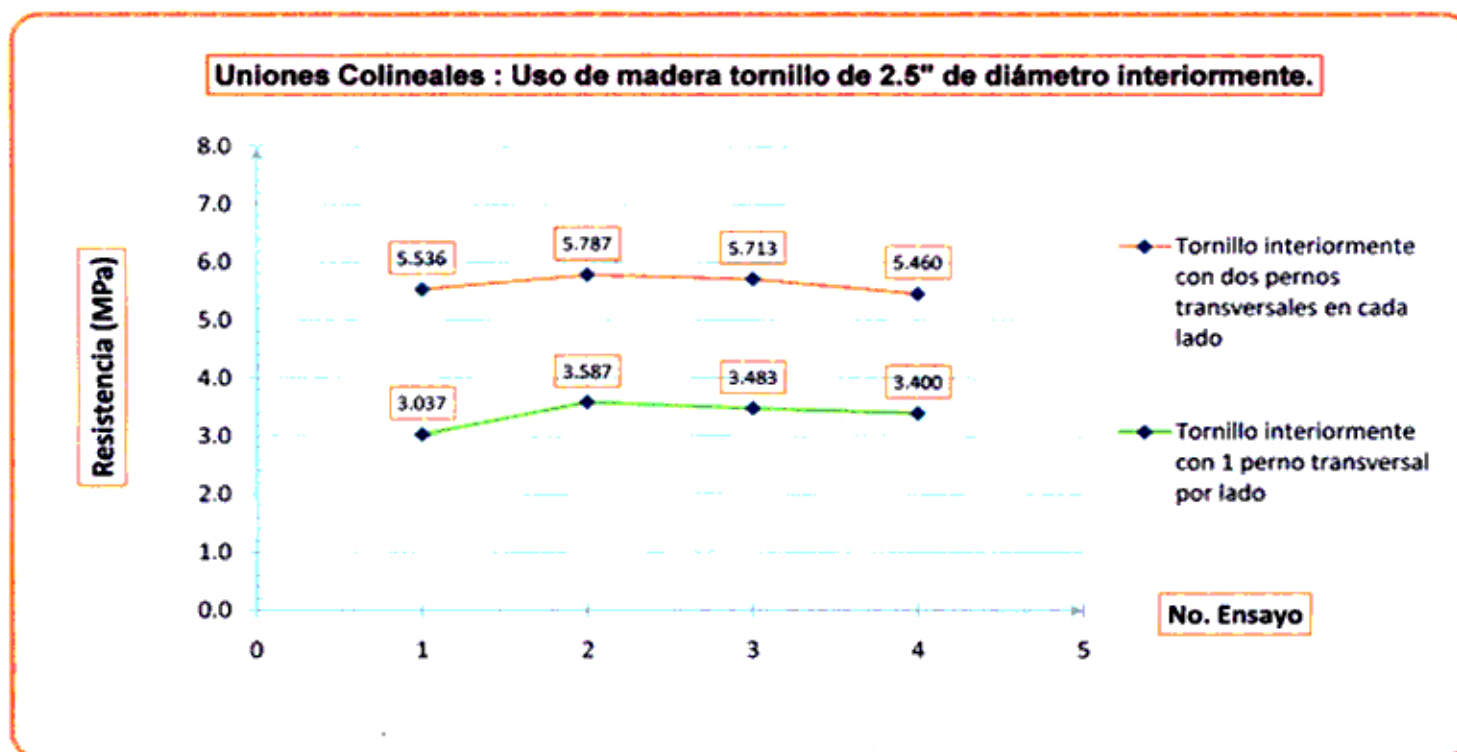
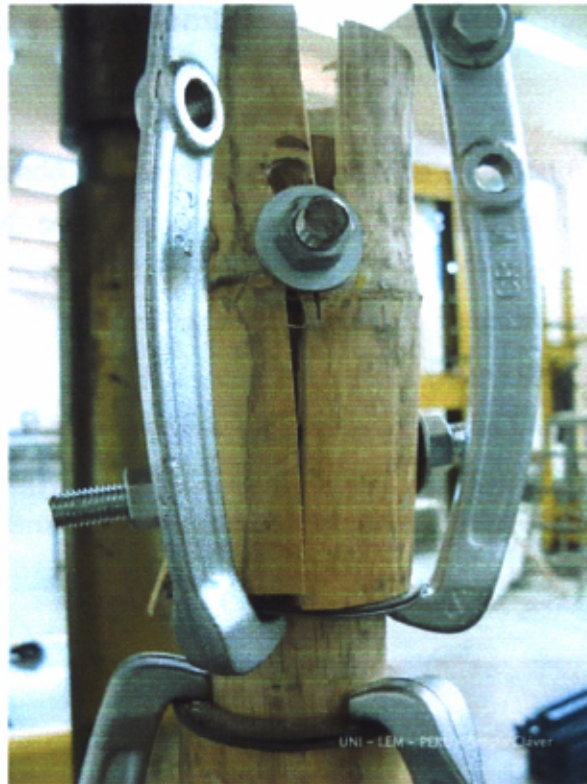


Grafico N°. 4.2: Uniones Colineales con madera tornillo interiormente – 1 vs 2 pernos transversales por lado.



Fotografía N° 4.29: Falla en las probetas utilizando tornillo al interior y arandelas.

#### 4.2.1.3 Tercera Alternativa: Uso de mortero y acero.

La tercera experiencia con uniones colineales fue usar mortero. En primera instancia se utilizó la varilla de 3/8" colocada interiormente junto con 4 roscas distribuidas longitudinalmente.

El costo de una varilla de 3/8 fue de 8 PEN x metro lineal (USD 2.6)

El costo de roscas de 3/8 fue de 8 PEN x 20 unidades (USD 2.6)

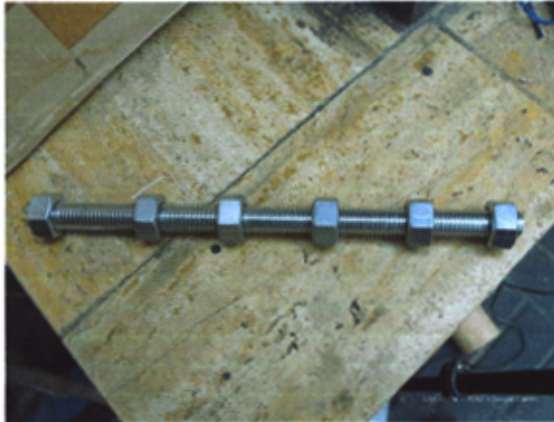
**1ra Variación: Uso de mortero prefabricado Quikrete, perno interior de 3/8, roscas de 3/8" y tornillos auto roscantes.**

El tiempo utilizado en preparar cada unión de este tipo fue en promedio de 45 minutos, se cortaron las probetas, se perforaron los orificios, se insertaron los tornillos auto roscantes y el perno interior, se realizaron los orificios en el bambú para vaciar el mortero y uno para evacuar el aire.

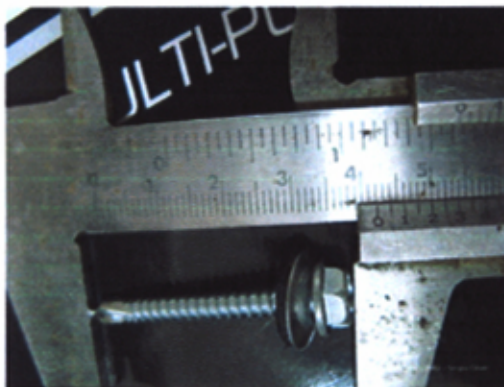
El mortero utilizado fue del tipo prefabricado, marca Quikrete, se tomo en cuenta este mortero debido a la velocidad de preparación, sin embargo este mortero sería luego descartado debido a su muy pobre performance.



Fotografía N°.4.30: Demarcación de dimensiones para realizar el corte.



Fotografía N°.4.31 y N°.4.32: Perno de 3/8" con roscas y mortero prefabricado Quikrete



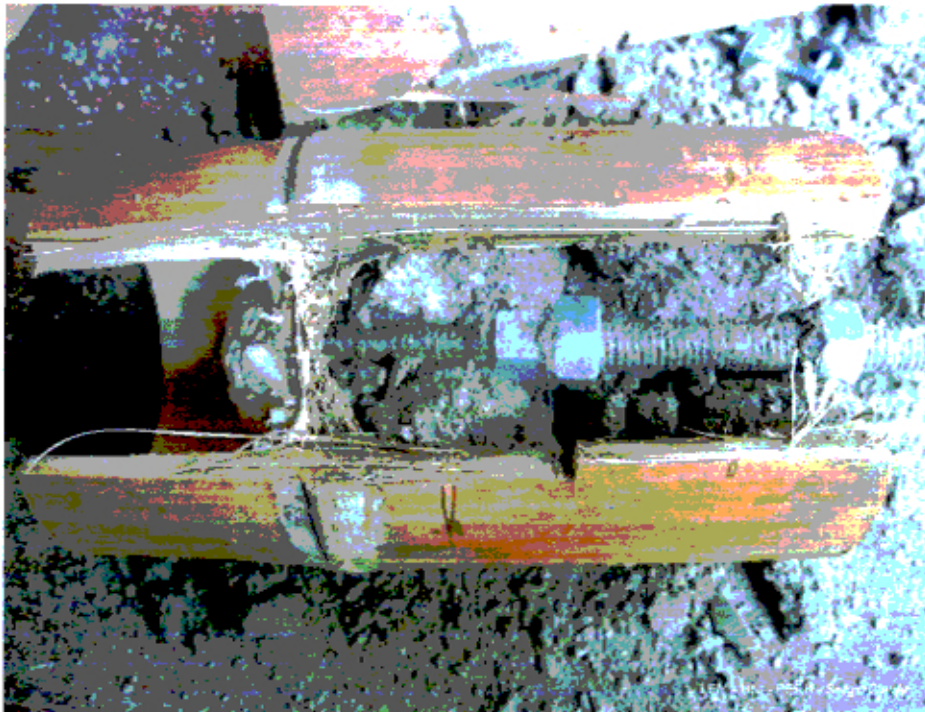
Fotografía N°.4.33 y N°.4.34: Tornillos auto roscantes de 1.5" y colocación helicoidal.



Fotografía N°.4.35 y N°.4.36: Colocación de perno interior y tornillos auto roscantes.



Fotografía N°.4.37 y N°.4.38: Probetas vaciadas utilizando mortero prefabricado y posterior resultado. Interior de probeta luego de sometida a tracción.



Fotografía N°.4.39: Sección de la probeta, el mortero prefabricado tuvo una muy baja resistencia.

La resistencia obtenida al someter a tracción estas probetas fue:

- 1er ensayo: 400 kg
- 2do ensayo: 500 kg
- 3er ensayo: 500 kg
- 4to ensayo: 450 kg

Las pruebas fueron realizadas luego de 7 días para alcanzar un 70% de la resistencia máxima del mortero, la resistencia de las probetas a tracción obtenida fue mucho menor a la esperada, esto debido a la baja resistencia del mortero premezclado, se indago sobre mas características del supermortero quikcrete ya que las propiedades del mismo no aparecian en el empaque, la relación de cemento/arena era de 1/5 y la vida del mismo una vez abierto era de menos de 1 semana.



Los resultados obtenidos y las características de este mortero hicieron que fuese descartado.

**2da Variación: Uso de mortero con relación cemento/arena de 1/3, perno interior de 3/8, rocas de 3/8" y tornillos auto roscantes.**

Esta vez usaríamos un mortero preparado en campo con una relación cemento/arena de 1/3.

El método de armado sería el mismo, las probetas con una longitud de 17.5 cm, un perno de 3/8 en cada extremo y un perno longitudinal de 3/8 con tornillos auto roscantes.



Fotografía N°.4.40: Probetas con mortero con relación a/c de 1/3 luego del ensayo.

Esta vez los resultados de resistencia a la tracción fueron mayores, esto debido a la utilización de una mejor calidad de mortero, sin embargo, no se pudo superar la resistencia utilizando madera tornillo.

La resistencia obtenida al someter a tracción estas probetas fue:

1er ensayo: 820 kg

2do ensayo: 860 kg

3er ensayo: 830 kg

4to ensayo: 880 kg

Los ensayos de tracción con mortero dieron como resultado probetas menos resistentes que con el uso de madera tornillo.

Los resultados obtenidos usando madera tornillo mostrados a continuación en la tabla No. 11 y en el Grafico N°.3

Tabla N°. 11 : Uniones colineales sometidas a tracción – Uso de Mortero

<b>Resumen : Probetas sometidas a tracción utilizando mortero interiormente</b>				
	<b>Var 1: Varilla interior de 3/8 uso de mortero premezclado Quikcrete y tornillos autoroscantes</b>		<b>Var 2: Varilla interior de 3/8 Variación a mezcla cemento/arena de 1/3</b>	
	<b>1er Ensayo</b>	Carga Max (Kg-f)	400	Carga Max (Kg-f)
Diametro (mm)		96.83	Diametro (mm)	94.69
	Espesor (mm)	10.05	Espesor (mm)	9.64
	Area (mm <sup>2</sup> )	2739.91	Area (mm <sup>2</sup> )	2575.74
	<b>Resistencia (Mpa)</b>	<b>1.432</b>	<b>Resistencia (Mpa)</b>	<b>3.122</b>
<b>2do Ensayo</b>	Carga Max (Kg-f)	500	Carga Max (Kg-f)	860
	Diametro (mm)	94.23	Diametro (mm)	97.29
	Espesor (mm)	9.87	Espesor (mm)	9.39
	Area (mm <sup>2</sup> )	2615.79	Area (mm <sup>2</sup> )	2593.01
	<b>Resistencia (Mpa)</b>	<b>1.875</b>	<b>Resistencia (Mpa)</b>	<b>3.252</b>
<b>3er Ensayo</b>	Carga Max (Kg-f)	500	Carga Max (Kg-f)	830
	Diametro (mm)	92.43	Diametro (mm)	98.73
	Espesor (mm)	9.59	Espesor (mm)	9.47
	Area (mm <sup>2</sup> )	2495.79	Area (mm <sup>2</sup> )	2655.56
	<b>Resistencia (Mpa)</b>	<b>1.965</b>	<b>Resistencia (Mpa)</b>	<b>3.065</b>
<b>4to Ensayo</b>	Carga Max (Kg-f)	450	Carga Max (Kg-f)	880
	Diametro (mm)	94.67	Diametro (mm)	98.65
	Espesor (mm)	8.78	Espesor (mm)	9.68
	Area (mm <sup>2</sup> )	2369.12	Area (mm <sup>2</sup> )	2705.63
	<b>Resistencia (Mpa)</b>	<b>1.863</b>	<b>Resistencia (Mpa)</b>	<b>3.190</b>
	<b>Observación:</b> Resistencia muy baja Quikcrete, luego de hacer la consulta tenía una relación 1/5 de cemento arena		<b>Observación:</b> Se obtuvo una mayor resistencia del mortero La relación usada fue de cemento/arena de 1/3	

Contenido de Humedad Promedio = 15.5 %

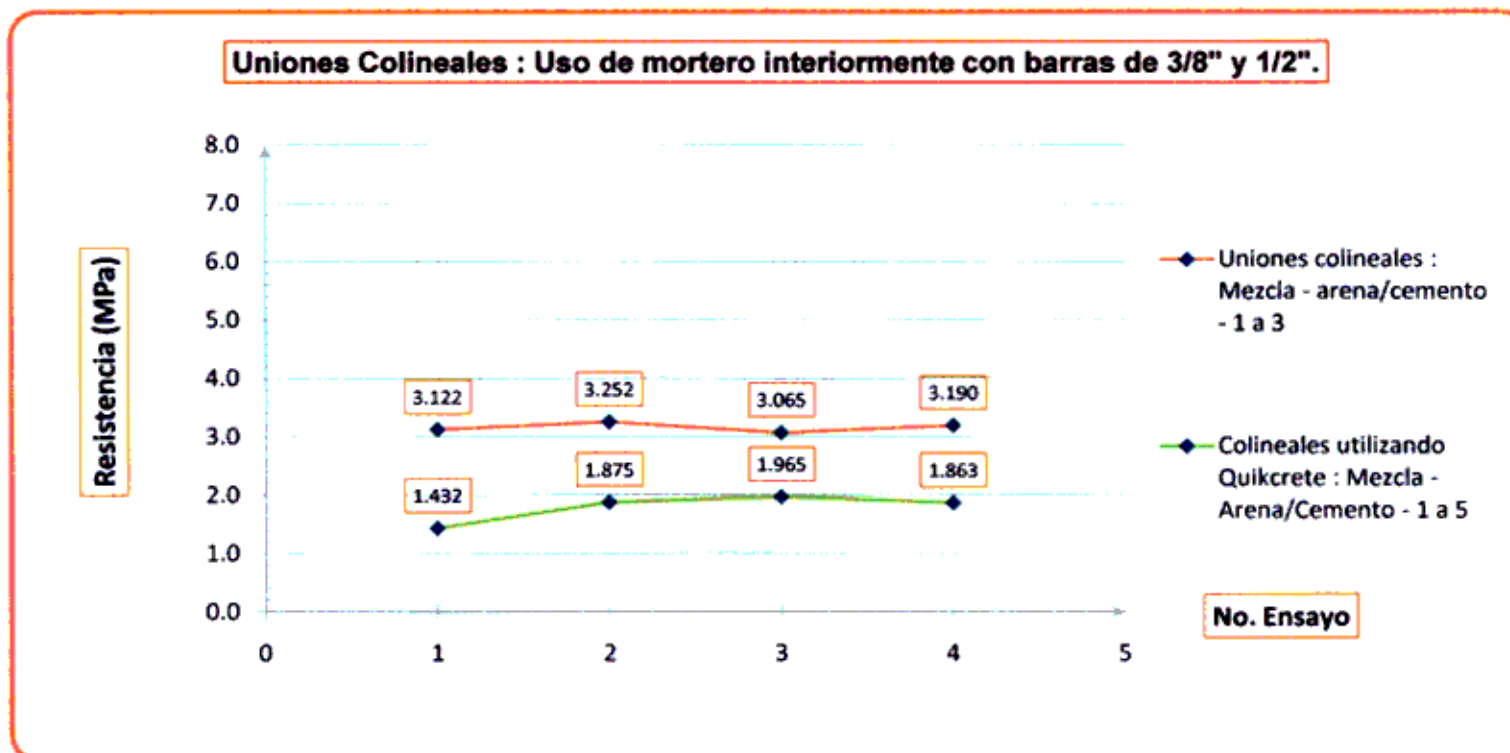


Grafico N°.4.3: Uniones Colineales – Uso de mortero interiormente – Premezclado vs Mezcla 1 a 3.

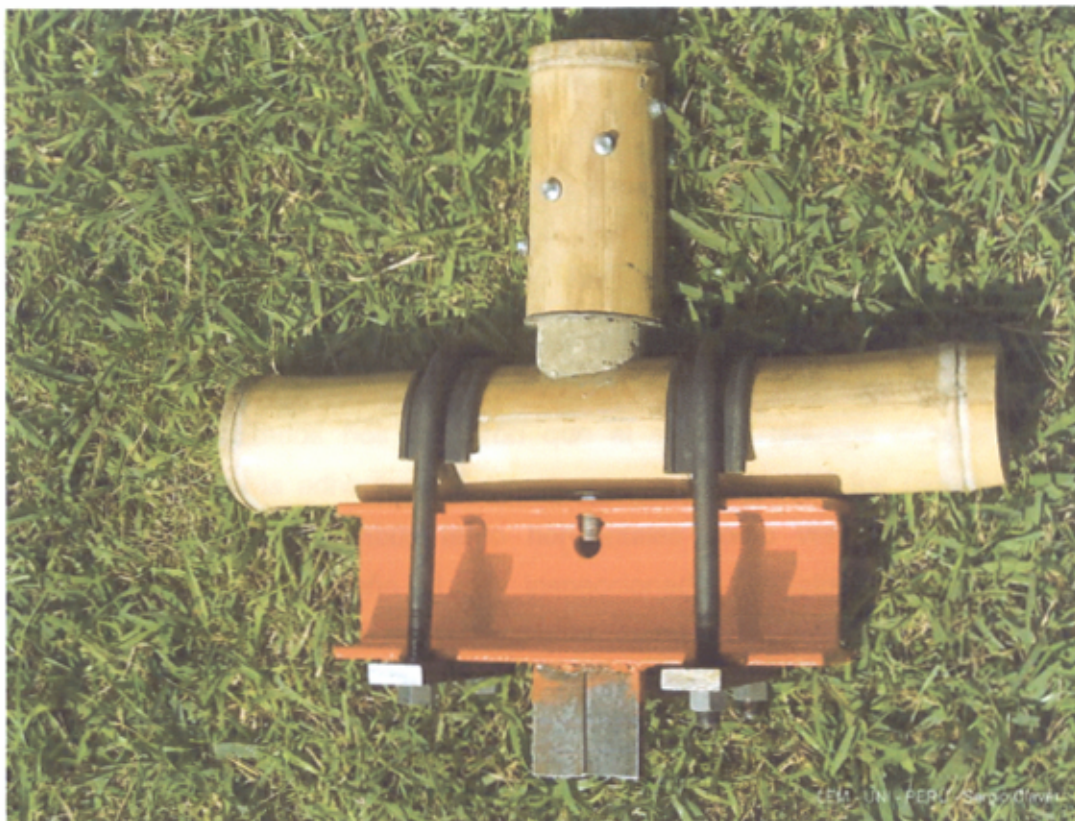
### 4.3 Ensayo de uniones de elementos perpendiculares

Para los ensayos de uniones perpendiculares se adaptó un sistema de tracción que pudiese someter a esfuerzos la unión estructural sin dañar al bambú en posición horizontal.

El sistema consistió en una T de acero estructural y dos Us de 5/8", además se instalaron dos jebes que servirían como amortiguación en la zona de contacto entre el acero y el bambú.



Fotografía N° 4.41: Accesorios utilizados para realizar las pruebas de tracción en uniones perpendiculares.



Fotografía N°.4.42: Unión perpendicular preparada para la prueba de tracción.

#### 4.3.1 Primera Alternativa: Uso de mortero y barra de 3/8" longitudinal.

En esta primera experiencia se utilizó la barra de 3/8" interiormente junto con 5 roscas repartidas. El mortero utilizado de una relación de cemento/arena gruesa de 1 a 3. Además se colocaron tornillos auto roscantes alrededor del bambú vertical, esto con el objetivo de generar mayor adherencia entre el bambú y el mortero.

En el proceso constructivo se cortaron los bambús teniendo en cuenta para el vertical una longitud de 17.5 cm y para el horizontal una disposición de manera que quedase un culmo entre nodos el cual sería perforado para atravesar la vara de 3/8 y luego enroscarla en la base.

Además se colocaron arandelas para proteger el bambú ante la tracción y la falla local debido al contacto de los brazos de los extractores.

La resistencia obtenida al someter a tracción estas probetas fue:

1er ensayo: 420 kg

2do ensayo: 460 kg

3er ensayo: 480 kg

4to ensayo: 400 kg

5to ensayo: 440 Kg

Estos resultados nos indicaron que el sistema utilizado debería ser modificado, la adherencia entre el mortero y el bambú fue menor a la esperada. Los bambús tanto horizontales como verticales tampoco sufrieron mayor daño al ser inspeccionados visualmente, esto nos indicaba que se deberían de hacer modificaciones importantes a la metodología de construcción de la unión.



Fotografía N°.4.43 y N°.4.44: Falla del mortero y poca adherencia con el perno interior.

Los resultados obtenidos usando mortero, tornillos auto roscantes y la barra de  $\frac{1}{2}$  son mostrados a continuación en la tabla No. 12.

Tabla N°. 12 : Uniones perpendiculares – Uso de mortero y barra longitudinal

<b>Uniones Perpendiculares : Uso de mortero y barra de 1/2 interior</b>		
<b>Var 1: Mortero y varilla longitudinal de 1/2 tornillos auto roscantes</b>		
<b>1er Ensayo</b>	Carga Max (Kg-f)	420
	Diametro (mm)	97.63
	Espesor (mm)	11.32
	Area (mm <sup>2</sup> )	3069.43
	<b>Resistencia (Mpa)</b>	<b>1.342</b>
<b>2do Ensayo</b>	Carga Max (Kg-f)	460
	Diametro (mm)	96.37
	Espesor (mm)	10.43
	Area (mm <sup>2</sup> )	2815.98
	<b>Resistencia (Mpa)</b>	<b>1.602</b>
<b>3er Ensayo</b>	Carga Max (Kg-f)	480
	Diametro (mm)	98.84
	Espesor (mm)	10.84
	Area (mm <sup>2</sup> )	2996.83
	<b>Resistencia (Mpa)</b>	<b>1.571</b>
<b>4to Ensayo</b>	Carga Max (Kg-f)	400
	Diametro (mm)	95.39
	Espesor (mm)	10.42
	Area (mm <sup>2</sup> )	2781.53
	<b>Resistencia (Mpa)</b>	<b>1.410</b>
<b>5to Ensayo</b>	Carga Max (Kg-f)	440
	Diametro (mm)	96.38
	Espesor (mm)	10.01
	Area (mm <sup>2</sup> )	2716.11
	<b>Resistencia (Mpa)</b>	<b>1.589</b>
<p><b>Observación:</b> La adherencia fué baja La varilla longitudinal se desplazo y el mortero se resquebrajo</p>		

Contenido de Humedad : 16.5%



### 4.3.2 Segunda Alternativa: Uso de mortero y barra de 3/8" longitudinal más perno de 1/2" transversal a sección vertical.

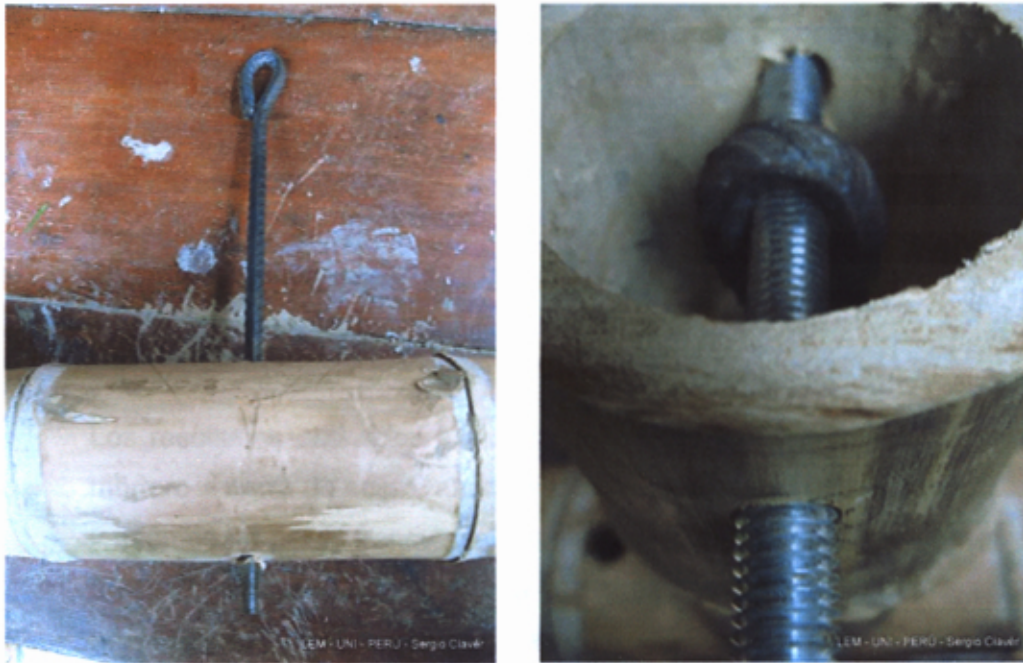
En esta alternativa se modificaron los siguientes elementos:

- Se cambio la vara longitudinal roscada por una de construcción de 8mm.
- Se doblo la barra en su parte superior en forma de bastón, zona por la que atravesaría el perno de 1/2 transversalmente.
- Se modifíco la barra en su parte inferior, en el torno se mando realizar una rosca a medida, este proceso demando más tiempo debido ya que el torno por cada rosca tomaba en promedio 20-30 minutos.



Fotografía N°.4.45 y N°.4.46: Barra de acero interior, forma de bastón superior y rosca inferior, ambos realizados expresamente para el ensayo.

Con estas modificaciones se esperaba aumentar considerablemente la resistencia a la tracción de la unión perpendicular, condición que se comprobaría al realizar los ensayos.



Fotografía N°.4.47 y N°.4.48: Ensamblaje de unión, colocación de vara longitudinal y perno transversal.



Fotografía N°.4.49: Unión perpendicular utilizando un perno transversal y acero longitudinal, unión lista para la prueba de tracción.

La resistencia obtenida al someter a tracción estas probetas fue:

1er ensayo: 1980 kg

2do ensayo: 2300 kg

3er ensayo: 2200 kg

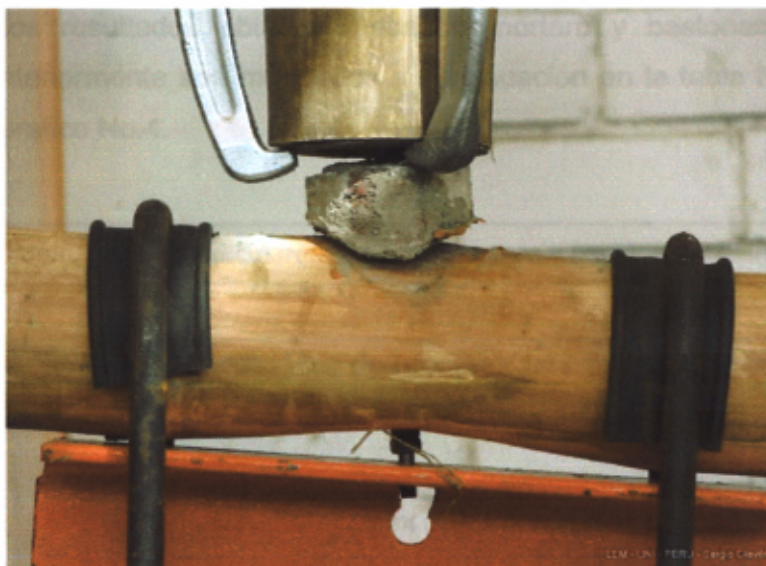
4to ensayo: 1990 kg

5to ensayo: 2000 kg

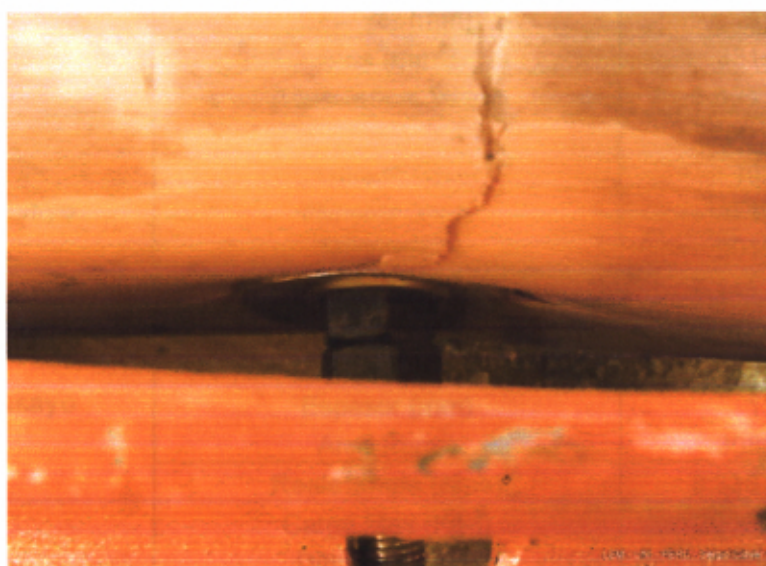
Los resultados obtenidos fueron satisfactorios, a diferencia de la unión mortero – barra de acero, ahora el usar una barra con un bastón y rosca y además un perno transversal significo un aumento de la resistencia de un 500% aproximadamente. Esta vez sí se sometió a esfuerzo la unión hasta que falló el bambú completamente y la unión mortero – acero tuvo una buena adherencia.



Fotografía N°.4.50: Prueba de tracción en unión perpendicular.



Fotografía N°.4.51: Falla de la unión perpendicular, deformación de bambú horizontal.



Fotografía N°.4.52: Pandeo y hundimiento de bambú horizontal.

En este ensayo se observó una deformación en el bambú horizontal, esto nos hizo notar que se producía un pandeo debido a la falla del mortero interior y de la consecuente falla del bambú.

Los resultados obtenidos usando mortero y bastones de 3/8 interiormente son mostrados a continuación en la tabla No. 13. y Grafico No.4.

Tabla N°. 13 : Uniones perpendiculares – Uso de mortero y bastón de 3/8 interiormente.

<b>Uniones Perpendiculares: Uso de mortero, bastón de 3/8 con rosca y tuerca.</b>		
	<b>Var 1: Mortero y varilla longitudinal de 3/8 tomillos autoroscantes</b>	
<b>1er Ensayo</b>	Carga Max (Kg-f)	1980
	Diametro (mm)	106.27
	Espesor (mm)	12.82
	Area (mm <sup>2</sup> )	3763.72
	<b>Resistencia (Mpa)</b>	<b>5.159</b>
<b>2do Ensayo</b>	Carga Max (Kg-f)	2300
	Diametro (mm)	100.12
	Espesor (mm)	11.97
	Area (mm <sup>2</sup> )	3314.87
	<b>Resistencia (Mpa)</b>	<b>6.804</b>
<b>3er Ensayo</b>	Carga Max (Kg-f)	2200
	Diametro (mm)	102.39
	Espesor (mm)	10.45
	Area (mm <sup>2</sup> )	3018.36
	<b>Resistencia (Mpa)</b>	<b>7.148</b>
<b>4to Ensayo</b>	Carga Max (Kg-f)	1990
	Diametro (mm)	98.96
	Espesor (mm)	11.17
	Area (mm <sup>2</sup> )	3080.69
	<b>Resistencia (Mpa)</b>	<b>6.335</b>
<b>5to Ensayo</b>	Carga Max (Kg-f)	2000
	Diametro (mm)	103.62
	Espesor (mm)	10.17
	Area (mm <sup>2</sup> )	2985.73
	<b>Resistencia (Mpa)</b>	<b>6.569</b>
	<b>Observación:</b> Mejor Adherencia La varilla interior no se desplazo, se deformato El bambú horizontal fallo pandeándose y comprimiendo el mortero interior	

Contenido de Humedad = 16.5%

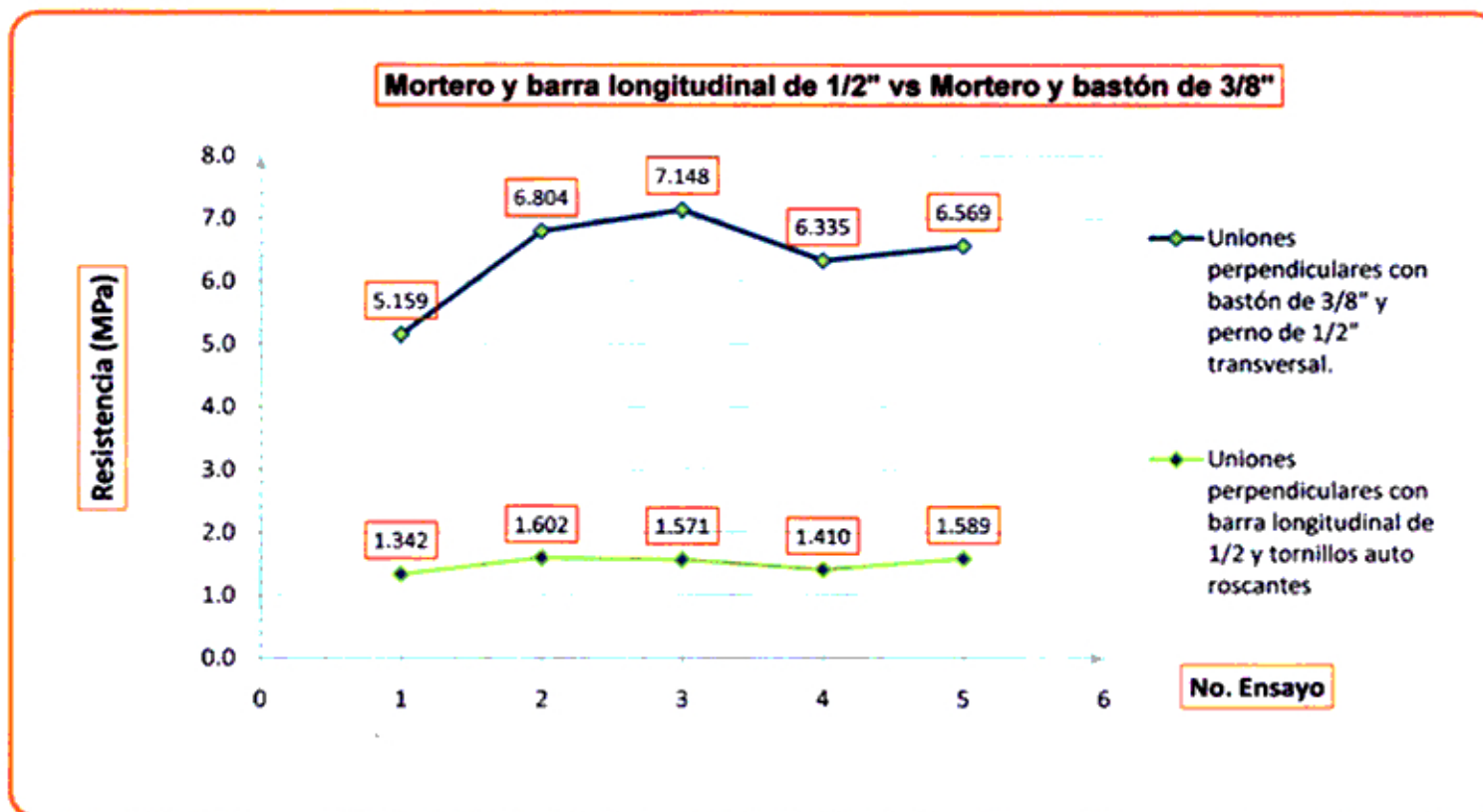


Gráfico N°.4.4: Uniones Perpendiculares – Mortero y barra longitudinal simple VS Mortero y barra bastón de 3/8" y rosca.

## **CAPÍTULO 5. ANÁLISIS DE RESULTADOS**

### **5.1 Análisis de resultados de los ensayos físicos**

#### **Contenido de Humedad**

El contenido de humedad obtenido estuvo en el rango de 18 a 19% para las pruebas de compresión, densidad y corte.

Para las pruebas mecánicas, la resistencia a la tracción de las uniones, el promedio de contenido de humedad fue de 16%

#### **Densidad**

Respecto a la densidad de las muestras en las pruebas de propiedades físicas esta estuvo en el intervalo de 550 a 650 kg/m<sup>3</sup> aprox.

### **5.2 Análisis de resultados de los ensayos mecánicos**

#### **5.2.1 Ensayos en probetas en estado natural, sin accesorios.**

Para los ensayos en las probetas sin accesorios exterior o interiormente, es decir para el bambú en estado natural los valores obtenidos fueron:

Valor promedio de la resistencia a la compresión fue de: 44.368 MPa

El valor promedio de la resistencia a la tracción fue de: 107.69 MPa

El valor promedio de la resistencia al corte fue de: 6.40 MPa

A continuación mostramos un resumen y comparación con otros estudios realizados, es notable la diferencia entre los resultados obtenidos por cada investigador, sin embargo es necesario recordar que estamos estudiando un material natural y anisotrópico.

Tabla N°. 14 : Símil con investigaciones anteriores – Ensayos Mecánicos

**Estudios realizados: Ensayo a Traccion**

Investigador	Mpa	% variacion respecto a esta investigacion	Variedad
Camacho y Paez (2002)	352.50	227.32	Angustifolia
Ciro, Osorio y Velez (2005)	190.70	77.08	Angustifolia
Janssen (2002)	148.40	37.80	Angustifolia
Castrillon y Malaver (2004)	91.87	-14.69	Angustifolia
Investigacion Actual	107.69	-	Angustifolia

**Estudios realizados: Ensayo a Corte**

Investigador	Mpa	% variacion respecto a esta investigacion	Especie
Diaz y Gonzalez (1992)	7.74	20.94	Angustifolia
Martinez (1992)	4.70	-26.56	Angustifolia
Lopez y Cheattle (2002)	6.87	7.34	Angustifolia
Janssen (2002)	4.50	-29.69	Angustifolia
Castrillon y Malaver (2004)	7.84	22.50	Angustifolia
Investigacion Actual	6.40	-	Angustifolia

**Estudios realizados: Ensayo a Compresion**

Investigador	Kg/cm <sup>2</sup>	% variacion respecto a esta investigacion	Especie
Camacho y Paez (2002)	280.00	-40.05	Angustifolia
Uribe y Duran (2002)	504.37	7.98	Angustifolia
Prada y Zambrano (2003)	418.56	-10.39	Angustifolia
Investigacion Actual	467.08	-	Angustifolia



### Estudios realizados: Modulo de Elasticidad

Investigador	Kg/cm <sup>2</sup>	% variacion respecto a esta investigacion	Especie
Camacho y Paez (2002)	105804.00	109.59	Angustifolia
Gonzales (2006)	17859.24	-64.62	Angustifolia
Uribe y Duran (2002)	66989.00	32.70	Angustifolia
Prada y Zambrano (2003)	36804.35	-27.09	Angustifolia
Investigacion Actual	50481.03	-	Angustifolia

#### 5.2.2 Ensayos a uniones:

Los resultados obtenidos fueron sumamente interesantes tanto por los materiales utilizados como por los accesorios implementados que serian por primera vez aplicados en esta investigación.

Las variaciones de métodos y accesorios mostraron la gran diferencia que se encontró dependiendo del material empleado. En el caso de los ensayos a uniones colineales fue el uso de madera tornillo interior que produjo la unión más resistente de los métodos de construcción utilizados, el uso de madera tornillo además tiene otras ventajas como la mayor velocidad de habilitación, la no necesidad de esperar 30 días para lograr la máxima resistencia y la posibilidad de pre fabricar los cilindros de madera tornillo antes de llegar al campo.

Tabla N°. 15 : Símil con investigaciones anteriores – Uniones Perpendiculares

**Estudios realizados: Uniones Perpendiculares**

Investigador	Kg/cm <sup>2</sup>	Accesorio	Especie
Simon Velez Modificado (2003)	1878.1	Perno Longitudinal y Mortero	Angustifolia
Sandra Clavijo (2003)	2953.68	Lamina de acero alrededor y tornillos	Angustifolia
Jaramillo San Clemente (2003)	29104.76	Pasadores de 5/8, fleje y mortero Pasador de 1/2, perno longitudinal y mortero	Angustifolia
Investigacion Actual	2094.00		Angustifolia

En el caso de uniones perpendiculares, se propuso como una unión mucho más resistente aquella que consideraba una barra de 3/8" interior doblada en un extremo en forma de bastón y en el otro extremo una rosca y tuerca junto con un perno transversal de 1/2". Este tipo de unión resistía la carga administrada hasta la falla del bambú por tracción en el tramo vertical y por compresión en el tramo horizontal. Al igual que la unión planteada para elementos colineales (tornillo interior y pernos transversales), este tipo de unión debía ser prefabricado.

Tal como en el caso de los ensayos mecánicos, y tal como se muestra en la tabla No. 15, los resultados presentan diferencias importantes, en los ensayos en uniones no solo intervinieron las características propias del material sino que además el diseño propuesto por cada investigador. El autor recalca que en este estudio se implementarán soluciones que debían tener como premisa el bajo costo y la sencilla instalación en campo.

### 5.3 Tabla de resumen final de datos obtenidos en el laboratorio

Tabla N°. 16 : Resumen – Pruebas de compresión, corte y tracción.

Prueba de Compresión				
	Carga Max (Kg-f)	Resistencia (Mpa)	CH (%)	Densidad (Kg/m <sup>3</sup> )
Muestra A	11500	48.38	18.5	628.024
Muestra B	10550	44.39	18.4	660.855
Muestra C	11235	47.03	18.8	606.418
Muestra D	9850	38.62	18.3	612.103
Muestra E	11050	43.42	19.0	587.461

Prueba de Tracción				
	Carga Max (Kg-f)	Resistencia (Mpa)	CH (%)	Densidad (Kg/m <sup>3</sup> )
Muestra A	780	103.32	18.7	647.761
Muestra B	760	105.8	18.8	649.043
Muestra C	800	112.94	20	619.098
Muestra D	740	118.79	19.7	661.490
Muestra E	780	97.61	18.9	676.377

Prueba de Corte		
	Carga Max (Kg-f)	Resistencia (Mpa)
Muestra A	560	1.85
Muestra B	540	1.8
Muestra C	500	1.7
Muestra D	520	1.92
Muestra E	580	1.7

Tabla N° 17 : Resumen - Uniones Colineales

**UNIONES COLINEALES**

Resumen : Probetas sometidas a tracción utilizando templadores			
	Var 1: Un templador interior	Var 2: Dos templadores interiores	Var 3: Dos templadores externos
	Carga Max (Kg-f)	Carga Max (Kg-f)	Carga Max (Kg-f)
1er Ensayo	700	960	980
2do Ensayo	680	1030	1000
3er Ensayo	710	1050	990

Resumen : Probetas sometidas a tracción utilizando madera tornillo interiormente			
	1 perno de 1/2 en cada extremo	2 pernos de 1/2 en cada extremo sin arandelas	2 pernos de 1/2 en cada extremo y arandelas
	Carga Max (Kg-f)	Carga Max (Kg-f)	Carga Max (Kg-f)
1er Ensayo	860	900	1380
2do Ensayo	900	1000	1480
3er Ensayo	950		1450
4to Ensayo	850		1400

Resumen : Probetas sometidas a tracción utilizando mortero interiormente		
	Mortero premezclado Quikcrete y tornillos autoroscantes	Variación a mezcla cemento/arena de 1/3
	Carga Max (Kg-f)	Carga Max (Kg-f)
1er Ensayo	400	820
2do Ensayo	500	860
3er Ensayo	500	830
4to Ensayo	450	880

Tabla N°. 18 : Resumen - Uniones Perpendiculares

<b>UNIONES PERPENDICULARES</b>	
Uso de mortero y barra de 1/2 interior	
Mortero y varilla longitudinal de 1/2	
Carga Max (Kg-f)	
1er Ensayo	420
2do Ensayo	460
3er Ensayo	480
4to Ensayo	400
5to Ensayo	440

Uso de mortero, bastón de 3/8 con rosca y tuerca	
Mortero y varilla longitudinal de 3/8	
Carga Max (Kg-f)	
1er Ensayo	1980
2do Ensayo	2300
3er Ensayo	2200
4to Ensayo	1990
5to Ensayo	2000

## Conclusiones

- La resistencia a la tracción de las probetas de bambú, tal como en anteriores investigaciones, fue mucho mayor que la resistencia a compresión, llegando a ser más del doble. En nuestro caso un promedio 107.6 MPa para tracción vs. 44.3 MPa para compresión.
- La resistencia al corte, teniendo en cuenta las recomendaciones proporcionadas por la norma ISO 22157-1:2004 para la determinación de propiedades físicas y mecánicas del bambú, también resultó similar a investigaciones realizadas en otros países, llegando a un promedio de 6.41 MPa.
- En uniones colineales la alternativa que tuvo una mayor resistencia en esta investigación fue la que utilizó interiormente madera tornillo de 2.5" de diámetro y pernos transversales de ½ pulgada. La resistencia promedio alcanzada fue de 1427.5 kgf.
- En el caso de uniones perpendiculares la alternativa que alcanzó la mayor resistencia fue la que uso mortero con barras de acero longitudinales en forma de bastón y pernos de ½ pulgada transversales. La carga promedio alcanzada fue 2094 kgf.
- De la comparación con otros estudios se observa una notable diferencia en la resistencia para el caso de las uniones perpendiculares, esto se debe principalmente a los diferentes accesorios utilizados por cada investigador. Los elementos utilizados en esta investigación procuraron ser los de más sencilla preparación y ensamblaje.
- Otro factor que influye en las diferencias encontradas entre los estudios es el porcentaje de humedad y la edad del bambú utilizado.

## Recomendaciones

- Revisar cuidadosamente el bambú al ser obtenido, especialmente que no esté contaminado o infectado con insectos o que haya sido sometido a esfuerzos durante el transporte que haya podido generar resquebrajamientos interiores.
- Tener en cuenta la ubicación de los nudos al preparar las uniones, estas deben estar dentro de la zona de tracción ya que aumentan notablemente la resistencia del bambú a los esfuerzos en un 50-80%.
- Tener en cuenta el tiempo/costo que se tendrá que invertir para prefabricar los accesorios y llevarlos luego a campo, de los resultados obtenidos en esta investigación y teniendo en cuenta la relación costo/tiempo y resistencia el usar tornillo interiormente es la opción mejor para el caso de uniones colineales.
- Evitar morteros prefabricados o listos para su uso, el control en obra de la mezcla y el uso de proporciones adecuadas garantiza la calidad del mortero.
- Se recomienda utilizar bambús de 4 a 5 años de edad y con un porcentaje promedio de contenido de humedad entre 15 a 19%.

## Bibliografía

Arbelaez Arce Anacilia, Investigaciones sobre Guadua Angustifolia Kunth. (2001) Colombia: Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias Agropecuarias.

Camacho Victor y Paez Isduar, Estudio de conexiones en guadua solicitadas a momento flector (2002). Colombia. Departamento de Ingeniería Civil. Universidad Nacional de Colombia.

Coluree, F. , El bambú como material de construcción. (1956). Barcelona: Mutilith del Servicio de Intercambio Científico.

Diaz John y Gonzalez Eugenia. Propiedades físicas y mecánicas de la Guadua Angustifolia Kunth. Medellín. (1992) Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias Agropecuarias.

Efraín Deras José, La cadena productiva del Bambú en costa rica. (2003) Costa Rica: Recursos naturales y ambiente No 46

Gonzales Cesar, (2006). Resistencia a la compresión paralela a la fibra de la Guadua Angustifolia y determinación del módulo de elasticidad. Unidad de Estructuras y Construcción. Departamento de Ingeniería Civil. Universidad Nacional de Colombia.

Guedez Marín, Las plantaciones de guadua (*Guadua angustifolia* Kunth) y bambú (*Bambusa vulgaris* Wendland) de San Javier, estado Yaracuy, Venezuela. (2008) Venezuela. Laboratorio de Ecología Agrícola. Instituto de Botánica Agrícola. Fac.Agronomía UCV. Maracay.

Guerrero Mónica, Trabajo de desarrollo sostenible utilizando Bambú – Tacuara en el Oriente Boliviano. (2005) Argentina: Bambol, Servicios de Ecotecnológicos para el desarrollo sostenible.



Janssen Jules. Mechanical properties of bamboo. (2002) <http://bambus.rwth-aachen.de>.

Jaramillo Diego y Sanclemente Ana, Estudio de uniones en guadua con angulo de inclinación entre elementos. (2003). Colombia. Departamento de Ingeniería Civil. Universidad Nacional de Colombia.

Londoño Ximena, Sistemática, Silvicultura, Cadena Productiva y Usos del Bambú. (2006) Argentina: Sociedad Colombiana del Bambú

Lopez Luis y Trujillo David. Diseño de uniones y elementos en estructuras de Guadua. Pereira (2002). Seminario Taller Avances en la investigación sobre Guadua.

Martin Obermann Tim, Bambú: Recurso sostenible para estructuras espaciales. (2004) Colombia: Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín.

Ordóñez Candelaria Víctor Rubén, Perspectivas del bambú para la construcción en México. (1999) México: Departamento de Productos Forestales y Conservación de Bosques.

Pantoja Nelson y Acuña Diego, Resistencia al corte paralelo a la fibra de la Guadua *Angustifolia* (2005). Unidad de Estructuras y Construcción. Departamento de Ingeniería Civil. Universidad Nacional de Colombia.

Prada Julian y Zambrano Jairo, Estudio de elementos en guadua, solicitados a compresión, con perforación para el relleno de mortero. (2003). Colombia. Unidad de Estructuras y Construcción. Departamento de Ingeniería Civil. Universidad Nacional de Colombia.

Salas Delgado Eduardo, Actualidad y futuro de la arquitectura de bambú en Colombia. (2006) Barcelona: escuela técnica superior de arquitectura de Barcelona.

Sustenta. Inventario de Bambú en el Perú. (2003) Perú

Takahashi Josefina, Bambú en el Perú. (2006) Ecuador: III Simposio Latinoamericano del Bambú

Uribe Maritza y Durán Alejandro, Estudio de elementos solicitados a compresión armados por tres guaduas (2002). Colombia. Departamento de Ingeniería Civil. Universidad Nacional de Colombia.