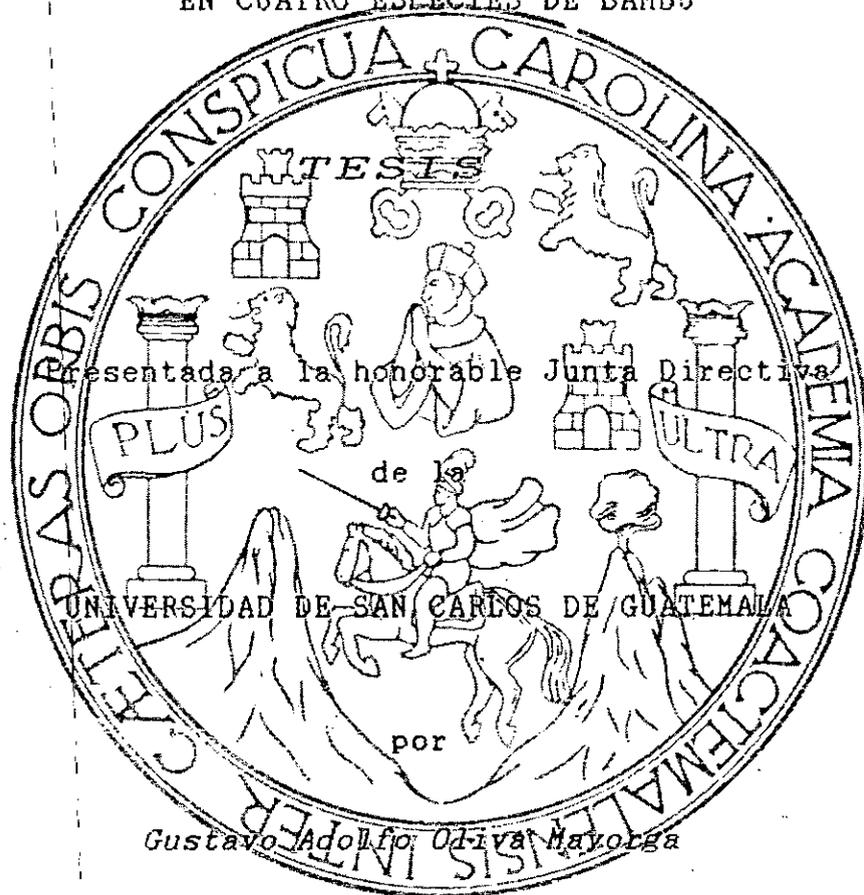


UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS  
DE GUATEMALA

FACULTAD DE AGRONOMIA

EVALUACION DE LAS PROPIEDADES FISICO-MECANICAS  
EN CUATRO ESPECIES DE BAMBU



Al conferirse el titulo de

*INGENIERO AGRONOMO*

con el grado académico de

*LICENCIADO EN CIENCIAS AGRICOLAS*

GUATEMALA OCTUBRE DE 1989

PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
Biblioteca Central

DL  
01  
T(1297)

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

RECTOR

Lic. Roderico Segura Trujillo

JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE AGRONOMIA

DECANO	Ing. Agr. Anibal B. Martínez M.
VOCAL PRIMERO	Ing. Agr. Gustavo Adolfo Méndez G.
VOCAL SEGUNDO	Ing. Agr. Jorge Sandoval Illescas.
VOCAL TERCERO	Ing. Agr. Wotsbelli Méndez Estrada.
VOCAL CUARTO	P.A. Hernán Perla González.
VOCAL QUINTO	P.A. Julio López Maldonado.
SECRETARIO	Ing. Agr. Rolando Lara Alecio.

Guatemala, Octubre de 1989

Guatemala, 6 de octubre de 1989

Sr. Director del Instituto de  
Investigaciones Agronómicas  
Facultad de Agronomía  
Ing. Agr. Hugo Tobías

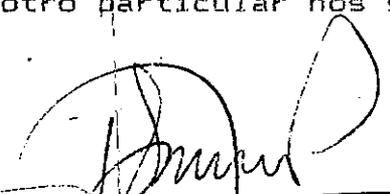
Señor Director:

Atentamente nos dirigimos a usted, para hacer de su conocimiento que atendiendo a la designación que nos hiciera, hemos procedido a asesorar y revisar el trabajo de tesis del estudiante Gustavo Adolfo Oliva Mayorga, que tiene como título:

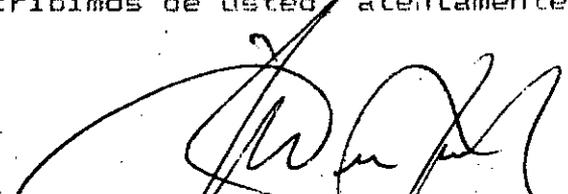
Evaluación de las propiedades físico-mecánicas en cuatro especies de bambú.

Hemos de manifestarle que dicho trabajo reúne los requisitos académicos exigidos por la facultad, por lo que solicito se apruebe como Tesis de Grado.

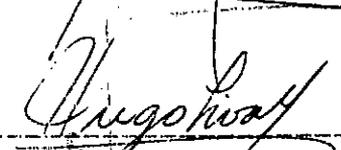
Sin otro particular nos suscribimos de usted atentamente.



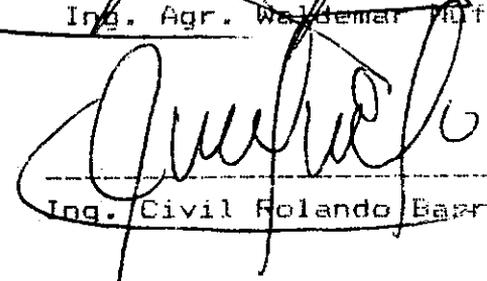
Ing. Agr. Negli Gallardo



Ing. Agr. Waldemar Alfaro



Ing. Civil Hugo Oliva



Ing. Civil Rolando Barrios

Guatemala, 6 de octubre de 1989

Honorable Junta Directiva  
Honorable Tribunal Examinador

De conformidad con lo estipulado en los Estatutos de la Universidad de San Carlos de Guatemala, tengo el honor de someter a vuestra consideración el trabajo de tesis titulado:

Evaluación de las propiedades físico-mecánicas en cuatro especies de bambú.

Al presentarlo como requisito previo para optar el título de Ingeniero Agrónomo, en el grado académico de Licenciado en Ciencias Agrícolas, espero que merezca vuestra aprobación.

Atentamente,



Gustavo Adolfo Oliva Mayorga

ACTO QUE DEDICO

A mis padres

Francisco Oliva De León  
Albertina Mayorga de Oliva

A mis hermanos

Francisco QEPD  
Ana María  
Olga Regina  
Julio Roberto  
Carlos Alberto  
Hugo Alfonso  
Luis Ricardo  
María Albertina QEPD

A mis sobrinos

A mi familia en general

A mis padrinos de graduación

A mis asesores

A mis compañeros y amigos

## AGRADECIMIENTO

Al laboratorio de resistencia de materiales de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos, por su valiosa colaboración.

Al Centro de Estudios y Sistemas de Computación, en especial al Director General del mismo, Lic. Carlos Oliva Mayorga; a la encargada del laboratorio, Claudia Rodas y al encargado del Departamento de Sistemas, Juan Luis Oliva Dardón, por su ayuda desinteresada en la conclusión del presente trabajo.

A mis asesores, en especial al Ing. Rolando Barrios, por su asesoría y ayuda en los diferentes ensayos realizados.

TODA LA INFORMACION QUE SE PRESENTA  
EN ESTA TESIS ES PROPIEDAD DE LA  
FACULTAD DE AGRONOMIA Y DE LA DI-  
RECCION GENERAL DE INVESTIGACION  
(DIGI) DE LA UNIVERSIDAD DE SAN  
CARLOS DE GUATEMALA Y SE REPRODUCE  
CON LA AUTORIZACION RESPECTIVA.

## CONTENIDO

	Pag.
RESUMEN .....	1
I. INTRODUCCION .....	1
II. ANTECEDENTES .....	3
III. JUSTIFICACION .....	5
IV. HIPOTESIS .....	7
V. OBJETIVOS .....	8
VI. REVISION DE LITERATURA .....	9
VI.1. Descripción del bambú .....	9
VI.1.1. Distribución .....	9
VI.1.2. Taxonomía .....	11
VI.1.3. Características .....	12
VI.1.4. Descripción de las especies a utilizar .....	16
VI.1.4.1. Características de <u>Bambusa</u> <u>vulgaris</u> .....	16
VI.1.4.2. Características de <u>Bambusa</u> <u>arundinácea</u> .....	17
VI.1.4.3. Características de <u>Gigantochloa</u> <u>verticillata</u> .....	18
VI.1.4.4. Características de <u>Bambusa</u> <u>tulda</u> .....	19
VI.2. Usos del bambú .....	20
VI.2.1. Usos en la agricultura .....	21
VI.2.2. Usos en la industria .....	21
VI.2.3. Usos en la construcción .....	22
VI.2.3.1. Especies adecuadas para la construcción .....	24
VI.2.3.2. Características básicas que deben reunir las especies para la construcción .....	25

VI.2.3.3. Propiedades físicas y mecánicas del bambú .....	26
VI.2.3.3.1. Propiedades físicas .....	26
VI.2.3.3.2. Propiedades mecánicas .....	27
VII. MATERIALES Y METODOS .....	30
VII.1. Materiales utilizados para las pruebas .....	30
VII.2. Metodología utilizada en los ensayos .....	30
VII.3. Diseño experimental a utilizarse .....	35
VII.4. Tratamientos a aplicarse .....	36
VII.5. Lecturas a tomar (variables respuesta) .....	37
VII.6. Análisis de resultados .....	37
VIII. RESULTADOS Y DISCUSION .....	38
VIII.1. Pruebas físicas .....	38
VIII.2. Pruebas mecánicas .....	53
IX. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	67
IX.1. Conclusiones .....	67
IX.2. Recomendaciones .....	69
X. BIBLIOGRAFIA .....	70
APENDICE .....	72

EVALUATION OF THE PHYSICAL AND MECHANICAL  
PROPERTIES OF FOUR BAMBOO SPECIES

RESUMEN

EVALUACION DE LAS PROPIEDADES FISICO-  
MECANICAS EN CUATRO ESPECIES DE BAMBU

La investigación efectuada, estuvo orientada a establecer niveles de comparación en cuanto a las propiedades fisicomecánicas, indicadoras de la calidad de la resistencia del material. Esta comparación se realizó en 4 especies de bambú (Bambusa vulgaris, Bambusa arundinacea, Gigantochloa verticillata y Bambusa tulda) y las partes del tallo de cada una de estas especies (parte basal, parte media y parte apical).

La finalidad de esta comparación fue determinar cual o cuales de estas cuatro especies y que parte del tallo presentan mayor resistencia como material de construcción.

El material colectado e identificado en la finca Bulbuxyá ubicada en el municipio de San Miguel Panán del departamento de Suchitepéquez, fue sometido a un proceso de secamiento a la sombra durante 45 días.

Las pruebas se realizaron en el laboratorio de resistencia de materiales de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de haber elaborado las probetas en la carpintería de la misma facultad.

Las pruebas físicas efectuadas fueron: porcentaje de humedad, peso específico y contracción. Las pruebas mecánicas fueron:

tensión paralela a la fibra y compresión paralela a la fibra, ambas con nudo y sin nudo en el centro de la probeta; tensión perpendicular a la fibra, corte paralelo a la fibra y clivaje.

Se trabajó con un diseño completamente al azar desbalanceado, con 4 repeticiones y un arreglo combinatorio factorial de 4x3.

De acuerdo a los resultados obtenidos se concluye lo siguiente:

- Las pruebas físicas determinan el grado de madurez del tallo, adecuado para la resistencia del material, pues no hay diferencias significativas entre las especies; y en las partes del tallo el porcentaje de humedad disminuye mientras más se acerca a la parte apical.
- Las pruebas mecánicas indican que las especies más resistentes en orden de importancia resultaron ser Bambusa tulda y Bambusa arundinácea teniendo los más bajos valores Gigantochloa verticillata y Bambusa vulgaris.

En las partes del tallo resulta ser más resistente la parte basal en las pruebas de corte, tensión perpendicular a la fibra y clivaje. En la tensión y compresión paralela a la fibra no hubo diferencias significativas entre estas partes.

## I. INTRODUCCION

Debido al estado económico en que se encuentran nuestras comunidades rurales y el desmedido incremento en costo que han sufrido los materiales de construcción, pocas personas están en posibilidades de construir sus viviendas con materiales de construcción convencionales (madera, cemento, etc.).

La Universidad de San Carlos como entidad de servicio hacia las comunidades y preocupada por esta situación, impulsa proyectos de investigación con el fin de mejorar las condiciones de vida de la población. La Dirección General de Investigaciones (DIGI) y el Instituto de Investigaciones Agronómicas de la facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos, han contemplado dentro de sus líneas de investigación, proyectos que permitan a las comunidades rurales tener fuentes alternativas de materiales de construcción; uno de éstos, es el proyecto del bambú. Este estudio, como parte del proyecto, tiene como objeto evaluar las características físico-mecánicas de algunas especies de bambú para determinar la posibilidad de utilizarlas como material de construcción alternativo ante el alza en los costos de los materiales tradicionales.

El bambú es una planta de crecimiento rápido, distribución cosmopolita y tallos resistentes, características de un recurso natural de fácil renovación, bastante accesible y con posibilidades para ser utilizado como columnas, vigas y muros, especialmente en construcciones rurales.

El material que se evaluó, es decir, las cuatro especies de bambú (Bambusa vulgaris Var. Striata, Bambusa arundinácea, Gigantochloa verticillata y Bambusa tulda) se colectó de la plantación establecida en la finca Bulbuxyá, la cual está ubicada en el municipio de San Miguel Panám del departamento de Suchitpéquez. Este municipio está en las coordenadas 14°34'39" latitud Norte y 91°22'00" longitud Oeste, a una altura promedio de 280 msnm. y precipitación pluvial de 4000 mm. anuales distribuidos en 140 días; su temperatura mínima es de 18°C y su máxima de 36°C. Pertenece a la serie de suelos Panám, originándose de material máfico volcánico cementado débilmente, textura franco-arenosa suelta y estructura indeterminada, con buen drenaje y relieve inclinado; y a la serie Cutzán, originado de ceniza volcánica, textura franco-arenosa y estructura granular, con buen drenaje y relieve moderadamente inclinado (3,4,15).

Como se ha dicho anteriormente, este estudio es parte de un proyecto de investigación en bambú impulsado por la Dirección General, de Investigación y el Instituto de Investigación Agronómicas (IIA) por lo que las 4 especies en estudio estarán sujetas a pruebas de propagación entre otras, con el objeto de generar información complementaria necesaria para la conclusión del proyecto.

## II. ANTECEDENTES

- 1.- Durante años se ha utilizado el adobe para la construcción de viviendas, siendo éste un material de bajo costo pero inseguro en regiones sísmicas como las nuestras; además se utilizan algunas plantas que son apropiadas para la construcción como lo es el bambú, que pertenece a la familia Gramineae (Poaceae), sub-familia Bambusoideae (Poacineae) y tribu Bambuseae (12).
- 2.- En la facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, se han realizado estudios de tesis, referentes a las propiedades físico-mecánicas del bambú. En cada una de las investigaciones se han determinado las mismas propiedades para 6 especies, es decir las estipuladas por las normas ASTM D-143 para la madera (Ver apéndice B). Estas normas a pesar de no ser específicas para el bambú, se adaptaron a esta clase de material por no tener estudios preliminares para el establecimiento de sus propias normas. Urrutia. (16) estudió las especies Bambusa textilis Mc. Clure, Bambusa tuldoides Munro, Bambusa tulda Roxburg, Bambusa vulgaris Schrader y Gigantochloa verticillata Munro. De acuerdo a los resultados de este estudio, Bambusa tulda es la especie que posee las mejores propiedades físico-mecánicas, siguiéndole en orden de importancia la Bambusa textilis. Morales. (13), estudió las especies Bambusa tuldoides Munro, Bambusa arundinácea Schreber, Bambusa vulgaris var. Striata Schreber, Melocanna baccifera Trinius, Phyllostachys bambusoides Siebold y Tuccarini y Chusquea

pittieri Kunth. Según los resultados de este estudio, Chusquea pittieri es la especie que posee los valores más altos en esfuerzos de compresión y el módulo de elasticidad en compresión y el menor peso específico. La especie Melocanna baccifera posee el valor más alto en esfuerzo de tensión y el segundo más alto en esfuerzo a compresión. Le siguen, en resistencia a tensión, las especies Bambusa vulgaris, Phyllostachys bambusoides, B. tuldoidea, C. pittieri, y en compresión B. arundinacea, P. bambusoides, B. tuldoidea y B. vulgaris. Chusquea pittieri resultó ser la que posee las mejores propiedades físico-mecánicas, siguiéndole la especie Melocanna baccifera.

Entre las especies determinadas para la construcción tenemos: Anthrostylidium pittieri, Bambusa arundinacea, Bambusa tulda, Bambusa tuldoidea, Bambusa vulgaris, Gigantochloa apus, Gigantochloa aspera, Guadua angustifolia, Melocanna baccifera, Schizostachyum pseudolima, Schizostachyum zollingeri Steud (14), Bambusa angustifolia, Dendrocálamus strictus (12).

### III. JUSTIFICACION

El alto costo de los materiales de construcción, la necesidad de vivienda y la extrema pobreza de las comunidades, ha obligado a éstas a la búsqueda de recursos que puedan ser utilizados como materiales alternativos de construcción que sean de fácil adquisición; esto es que sean de bajo costo y adecuados para la construcción.

Para la determinación de las características físico-mecánicas del bambú, tales como : contenido de humedad, peso específico, contracción, compresión paralela a la fibra, tensión paralela a la fibra, corte, clivaje y tensión perpendicular a la fibra, se han escogido las especies "Bambusa vulgaris var. Striata, Bambusa arundinácea, Gigantochloa verticillata y Bambusa tulda". Estas 4 especies establecidas en la finca Bulbuxya son objeto de otros estudios para poder así generar mayor información que integrada a la ya recabada permita el logro de mejores resultados en el proyecto de bambú impulsado por la Dirección General de Investigación (DIGI) y el Instituto de Investigaciones Agronómicas (IIA).

En base a estudios preliminares realizados en la Facultad de Ingeniería en cuanto a las propiedades Fisicomecánicas de bambú y en los cuales se incluyen estas 4 especies, se realizó este estudio con la finalidad de establecer una comparación entre las 4 especies mencionadas y sus partes basal, media y apical. Esta comparación servirá para establecer

diferencias estadísticas no solo entre las especies, sino también entre las partes del tallo de cada una. Con esto último se puede determinar que especie es mas adecuada para utilizarla como pieza estructural.

Las propiedades físico-mecánicas del bambú, hacen que se pueda utilizar en todo tipo de estructura, siendo algunas especies más aptas que otras. Para este tipo de propiedades sobresalen ciertas características básicas como: el diámetro del tallo o culmo, grueso de pared y largo de entrenudos.



## V. OBJETIVOS

### -GENERALES:

Evaluar las propiedades fisicomecánicas de las especies de bambú en estudio.

### -ESPECIFICOS

Determinar si existe diferencia en las propiedades fisico-mecánicas de cada una de las especies en estudio.

Determinar si existe diferencia en las propiedades fisicomecánicas entre las partes basal, media y apical, del tallo de cada una de las especies.

## VI. REVISION DE LITERATURA

### VI 1. Descripción del bambú:

El bambú, es una planta de tipo herbáceo que pertenece a la familia de las gramíneas, contando con 1250 especies, distribuidas éstas en unos 50 géneros los cuales representan gran diversidad de tamaños, pudiendo ser desde pequeñas hierbas hasta grandes cañas de 37 metros de altura y de 30 ó más centímetros de diámetro. Se cree que se originó en el sur-oriente de Asia y se ha distribuido en casi todo el mundo, considerándosele por ello una especie cosmopolita de muchos beneficios para las diversas necesidades del hombre (8,10).

### VI 1.1 Distribución:

Siendo una especie ampliamente distribuida en el mundo, se localiza desde la India a la China en el continente y de Japón a Java en las islas; en el hemisferio Occidental la distribución en forma natural se extiende desde los 39°25' latitud Norte en el Este de los Estados Unidos, hasta los 45°23'30" latitud Sur en Chile y a 47° de latitud Sur en Argentina. Esta gramínea, se encuentra distribuida en casi todo el mundo, exceptuándose Europa y la región Euro-asiática (18).

En Centroamérica, se contaba con grandes extensiones de la especie nativa Bambusa aculeata, pero esta fué sustituida por plantaciones de banano que

explotaba la United Fruit Company, quedando completamente exterminada en algunas zonas de la región (11).

Guatemala, según F. A. Mc. Clure (1955) cuenta con 50 especies de bambú distribuidas en 11 géneros, de los cuales aproximadamente 16 fueron introducidas. Las especies introducidas están establecidas en las fincas Chicolá, Mocá y Panamá del departamento de Suchitepéquez; Parcelamiento la Blanca, Florida y algunas en la región del Polochic, de las cuales no se cuenta con mayor información (11).

Motivo de la amplia distribución del bambú en el mundo, es su alto rango de adaptación en cuanto a condiciones climáticas se refiere, así tenemos que se desarrolla en zonas con precipitaciones máximas de 6350mm. anuales y mínimas de 762mm. y temperaturas que oscilan entre los 9 y 36°C, encontrándose algunas en Habitats con temperaturas bajo cero, donde neva todo el tiempo. Esta amplia distribución, está en función a la diversidad de especies, es decir, que hay bambúes específicos para regiones tropicales y sub-tropicales y otros para zonas templadas y frías. (12).

Guatemala posee varias especies, tanto nativas como exóticas debido a su diversidad de climas. Entre estas podemos citar como nativa a Chusquea lanceolata Hitch, con distribución de 2000 a 3500 msnm, localizados en los departamentos de Chimaltenango, El Progreso, Sololá y Quetzaltenango; y como exóticas

Bambusa vulgaris Schrad, que se encuentra distribuida en varias regiones del país (11).

#### VI 1.2 Taxonomía:

Para la determinación botánica se utilizan partes del vegetal estudiando su morfología, posición, color y otras características útiles para la identificación de una especie en particular, teniendo éstas algunos miembros más importantes que otros para este fin. La flor como aparato reproductor, es una de las partes más importantes para la clasificación botánica contando ésta con muchas características específicas para cada especie. Una de las restricciones más serias en cuanto a la clasificación del bambú, es la poca frecuencia de su ciclo de floración, teniendo que esperar de 3 hasta 120 años, dependiendo de la especie, para que éste fenómeno se de. Los botánicos que se han dedicado a esta tarea, decidieron tomar en cuenta todas las partes vegetativas del bambú incluyendo, si es posible, el tipo de rizoma que poseen. La parte vegetativa más importante para su identificación es la hoja caulinar (bractea envolvente del tallo), mientras que los tipos de hoja del follaje son características del género (12).

Es frecuente ver una misma especie dentro de dos ó más géneros, por el tipo de restricciones anteriormente mencionado (16).

## Sistemática del bambú según A. Cronquist: (2)

Reino	Plantae
Sub-reino	Embryobionta
División	Magnoliophyta
Clase	Liliópsida
Sub-clase	Commelinidae
Orden	Cyperales
Familia	Poaceae (Gramineae)
Sub-familia	Poacineae (Bambusoideae)
Tribu	Bambuseae

Segun Mc. Clure (1955), en Guatemala se encuentran los siguientes géneros:

Arthrostylidium con 2 especies, Arundinaria con 3, Bambusa con 21, Chusquea con 6, Dendrocalamus con 4, Gigantochloa con 4, Melocanna con 3, Merostachys con 3, Phyllostachys con 7, Rhipidocladum con 3, Schizostachyum con 5, haciendo un total de 11 géneros con 50 especies de las cuales 16 fueron introducidas (12).

### VI.1.3 CARACTERISTICAS:

El bambú es una planta de características tan peculiares, que la hacen tener una utilidad muy variada para las necesidades del hombre, presentándose ésta en muchos lugares y por su rápido crecimiento, se dispone continuamente de su materia prima.

La propagación puede ser por semilla, la cual es menos común por el largo periodo que debe pasar para su floración. La propagación asexual, es la más común teniéndose que utilizar para ello algunas partes de la planta tales como: rizoma, secciones del tallo con yemas

o con ramas con yemas desarrolladas, por división de la mata (12).

Las raíces de esta planta son las típicas de una gramínea, es decir, un sistema radical fibroso con raicillas superficiales y con raíces adventicias. Estas plantas poseen órganos de almacenamiento llamados rizomas, los cuales pueden ser de tipo paquimorfo, que tienen la característica de ser cortos y gruesos, mientras que el otro tipo llamado leptomorfo son cilíndricos y de menor diámetro del que los tallos que originan. Entre estos órganos de almacenamiento hay un tipo intermedio llamado anfipodial, el cual se caracteriza por presentar una ramificación del rizoma, ya sea del grupo paquimorfo o leptomorfo.

En cuanto a su tallo, en general, es de forma cilíndrica y recto contando con un diámetro que varía según la especie, de un poco más de 1cm. hasta casi 40cm. en las especies más grandes teniendo alturas de hasta 40mts. Es hueco por dentro contando con paredes que van desde unos pocos milímetros hasta casi el centímetro de espesor; los nudos son tabicados por dentro, dándole esta característica mayor rigidez, resistencia y elasticidad, evitando su ruptura al doblarse, característica que lo hace apropiado para la construcción en zonas sísmicas. Los entrenudos pueden ser dilatados, lisos o constrictos en relación al nudo. El tallo puede tener color verde, amarillo ó la

combinación de estos dos, e incluso pueden haber rojos, blancos y negros.

Entre las características mencionadas, hay situaciones extraordinarias, de las cuales podemos mencionar las formas cuadradas de la especie Phyllostachys quadrangularis cuyo nombre común es bambú cuadrado de la China, las especies extremadamente pequeñas que solo tienen unos pocos centímetros de altura y unos pocos milímetros de diámetro y algunas otras especies con crecimientos tan vertiginosos como la Bambusa arundinacea (Inglaterra 1855) y la Phyllostachys edulis (Japón 1955), que llegaron a incrementarse, en 24 horas, 91.3cm. y 121cm. respectivamente.

El bambú, desde que emerge del suelo, viene con el diámetro que tendrá durante todo su ciclo biológico reduciéndose en mínima parte cuando va creciendo; debido a su rápido crecimiento, alcanza su altura máxima entre los 30 y 80 días, en el caso del tipo de rizoma leptomorfo y entre los 80 y 180 días para el caso de los de tipo paquimorfo, teniendo en esta época poca resistencia debido a su estado frágil en que se encuentra por no haber iniciado el período de sazónamiento el cual se lleva a cabo luego de haber pasado la etapa de formación de ramas y hojas que se sucede inmediatamente después del crecimiento del tallo. La etapa de sazónamiento dura de 3 a 6 años, según la especie (8).

Existen varias formas de averiguar el estado de madurez en que se encuentran los tallos, así tenemos que en la India se basan en la hoja caulinar; si ésta está pegada al tallo y el mismo posee una pelucilla cerosa blanca en los nudos y entrenudos la cual se desprende al tocarla, se trata de un bambú joven no mayor de un año. En los tallos mayores de 1 año, la hoja caulinar se encuentra seca y la pelucilla se vuelve algo áspera fácilmente desprendible y además se presentan algunas ramas. El estado de madurez, que se sucede a los tres años y más, se comienza a diferenciar por la presencia de manchas jaspeadas, la pelucilla se disminuye y se adhiere bien al tallo (6, 7, 12).

Otras formas de averiguar el estado de sazónamiento es en base a las cicatrices foliares que quedan en las ramas, en la parte superior del nudo, al desprenderse las hojas en la etapa de renovación de estas que se llevó a cabo cada año o año y medio; la posición que ocupa el tallo en la macolla, siendo más jóvenes las de las orillas y el porcentaje de humedad que va en relación inversa a la edad, es decir, a mayor edad menor humedad y viceversa (8, 12).

La hoja caulinar es la parte más importante para fines de clasificación, encontrándose en la parte superior del nudo en forma envolvente y puede ser triangular, ampliamente triangular, copulal, ampliamente copulal o cuneiforme, teniendo esta bractea una ligula

de forma triangular ó lanceolada (14).

Las hojas del follaje poseen filotaxia alterna en las ramas de esta planta, pudiendo tener cortos peciolos ó en forma envolvente; estas pueden ser oblongas, ovalolanceoladas, oblongolanceoladas ó lineal-lanceoladas, con ápices agudos u obtusos (12).

En cuanto a la floración, como se ha dicho anteriormente, se presenta a los 3, 30, 60, y hasta 120 años, cuando es gregaria, es decir, que se presenta en toda la macolla anunciando el final de su ciclo de vida; cuando la floración es esporádica, solamente se presenta en un tallo fuera de la época de floración de la mata; debiéndose ésta a condiciones adversas como el continuo corte del tallo, por plagas ó enfermedades, condiciones climáticas y por fuego (12).

#### VI 1.4 Descripción de las especies a utilizar

Las especies escogidas en el presente estudio son:

Bambusa vulgaris var. Striata, Bambusa arundinácea, Gigantochloa vesticillata y Bambusa tulda.

#### VI 1.4.1 Características de Bambusa vulgaris var. Striata:

Esta especie está distribuida en casi todos los departamentos del país, a alturas que van desde el nivel del mar hasta los 1700 msnm.

Plantas de sol, casi siempre se encuentran en los lugares planos, o con pendiente moderada, macollas compactas, erectas, arqueadas en las puntas; rizoma paquimorfo; culmos de 14 a 17 metros de altura, largo al 5o entrenudo de 26.7cm., diametro de 7 a 10.5 cms. y grosor de pared de 2.5 a 3 cms., color amarillo con franjas verdes, lustrosos, lisos, huecos; nudos relativamente dilatados poco más o menos de 10.8 cms; bráctea caulinar con persistencia solo en la base, ampliamente triangular en forma oblonga; ramas de longitud de 2. a 2.5 metros, longitud al 5o entrenudo de 12cms, diametro al 5o entrenudo de 0.65 a 0.70 cms, huecos, con varias ramas complementarias; vaina de la hoja funcional estriada, con un largo promedio de 15.855 y ancho de 1.55cms; filotaxia alterna-opuesta, lineal-lanceolada a lanceolada; la vena media y la secundaria visibles tanto en el haz como en el envés, las terciarias solo en el envés, del lado superior, la vena media, secundaria y terciaria solo es visible en el envés, el peciolo mide 0.3 a 0.35cms.

#### VI 1.4.2 Características de Bambusa arundinacea:

Bambú gigante espinoso, cultivado en la India, introducido en Guatemala en 1946 por el Instituto Agropecuario Nacional.

Bambues de habito soleado, formando macollas compactas, con culmos arqueados, se encuentra distribuida en Santa Rosa, Suchitepequez, Escuintla, San

Marcos a alturas de 265 a 692 msnm; alcanza alturas de 20 a 24mts; rizoma tipo paquimorfo; culmos al 5o entrenudo de 15 a 18 cms de largo y de 10 a 15cms de diámetro, con paredes de 2 a 3.5cms, color verde con manchas amarillas, opacos ásperos; con presencia de raíces adventicias, nudos huecos aunque a veces compactos, con presencia de garfios de tipo caulinar, ligeramente inflados alrededor de 11 a 16cms, bráctea caulinar decidua o tardíamente decidua, ampliamente triangular, cuando seca es quebradiza, presenta manchas cafés; ligula ondulada; ramas, la principal de 4.30m de largo, tamaño del 5o entrenudo de 9cm, diámetro de 2cm, nudo de 2.5 cms de diámetro, no compacta, con espinas, no decumbente, con presencia de ramas secundarias de 1.66m de largo, tamaño del tercer entrenudo de 6cms, diámetro de 0.7cms, las terciarias reducidas a espinas; hoja funcional con un promedio de 13.655cm de largo y 1.8cm de ancho, filotaxia alterna (180°), forma lineal-lanceolada, venación en el lado inferior, la vena media y secundaria visibles, terciaria no, en el lado superior no son visibles.

#### VI 1.4.3. Características de Gigantochloa verticillata:

Estas plantas son cultivadas en Java, introducidas a Guatemala por el Instituto Agropecuario Nacional.

Bambúes gigantes de terrenos planos y al sol.

formando macollas compactas; rizoma paquimorfo; culmos con alturas de 16 a 22 metros, erectos con la punta pendulosa, largo al 5o entrenudo de 21cms, diámetro de 11.46cms, grosor de pared de 3cms, color verde, opaco, superficie áspera, nudos huecos, con raíces adventicias obsoletas, bráctea caulinar persistente, cuando seca tiene apariencia de cartón; rama principal de 2.68 metros de largo, longitud al 5o entrenudo de 29cms, diámetro de 3.5cms, nudo de 3.8cms, huecos, arqueados con ramas secundarias de 54cms de largo, ramas complementarias de menor longitud y diámetro; aurículas presentes oblongas; hoja funcional con un promedio de 23.26 de largo y 3.14cms de ancho, filotaxia alternopuesta, forma oval-lanceolada o lanceolada; la vena media en el lado inferior es visible en el haz y en el envés, en el lado superior, la vena media y secundarias solo son visibles en el envés; peciolo de 0.4 a 1 cms, con pubescencia puberulenta.

#### VI. 1.4.4. Características de Bambusa tulda Roxb:

Nativa de la India, establecida en la finca Chocóla y en el Centro Experimental Bulbuxyá.

Bambúes de sol, prefieren lugares planos, forman macollas compactas con rizoma paquimorfo; culmos subarqueados de 11 a 21.35mts, de altura con diámetros de 5 a 6.5cm. y grosor de pared de 1 a 1.6 cms, color verde con nudos ligeramente inflados de 5.1 a 7cms; bráctea caulinar del culmo decidua, ampliamente

triangular. Rama principal de 1.78 a 4.70 mts, de largo, longitud del quinto entrenudo de 22 a 28.5cms, con diámetro de 0.4 a 1 cm, ramas complementarias de menor largo y diámetro que la principal; vaina de la hoja funcional estriada, glabra, margen entero, áspera, compresión y traslape fuertes; peciolo de 0.3 a 0.9cms, ligeramente puberulenta y glabra, hoja funcional de largo de 10.5 a 35cms, de ancho de 1.2 a 5cms, filotaxia alterna opuesta de forma oblongo-lanceoladas, base truncada, ápice acuminado; la vena media y la secundaria visibles en el haz y el envés, la vena terciaria solo visible en el envés, en número de 9 a 12 pares de venas secundarias y de 9 a 11 el número de venas terciarias en medio de las dos primeras venas secundarias (14).

## VI 2. Usos del bambú:

El bambú por sus extraordinarias cualidades, es utilizado para satisfacer una amplia variedad de necesidades en el mundo entero; siendo los Chinos, Japoneses, los habitantes del archipiélago Indico y regiones aledañas, los principales explotadores de esta planta, la cual es abundante, barata, duradera, agradable y se encuentra ampliamente distribuida en el mundo (6,8).

Debido a su gran variedad de usos, ha sido objeto de estudios a nivel mundial; en latinoamerica se han realizado proyectos de investigación tendientes a estudiar el aprovechamiento de esta gramínea, los países pioneros son: Colombia, Costa Rica, y Ecuador. Guatemala ha iniciado un

proyecto llamado "Determinación de las propiedades técnicas del bambú", integrado por las facultades de Agronomía Arquitectura e Ingeniería y patrocinado por la Dirección General de Investigación, de la Universidad de San Carlos de Guatemala, que pretende dar a conocer el material con que se cuenta en el país y sus posibilidades de uso (16).

#### VI 2.1 Usos en la agricultura

El bambú, a pesar de ser una gramínea de tipo herbáceo, se le ha utilizado para conservación de suelos y forestación, resultando de mucha utilidad por su rápido crecimiento y tipo de propagación; además se ha colocado a las orillas de los ríos, para evitar así el desbordamiento de éstos.

Los agricultores lo utilizan para postes de cercas, tutores de hortalizas, construcción de beneficios económicos de café y algunas veces, como canales para transportar agua (12).

En el continente Asiático utilizan los primordios como alimento y cuando esta florea, utilizan la semilla en forma de arroz; las hojas las utilizan como alimento forrajero para animales (12).

#### VI 2.2 Usos en la Industria

El principal uso que se le da en el continente Asiático, específicamente en la India, es el aprovechamiento de la pulpa para la fabricación de papel, siendo este material de mejor calidad que el de las coníferas, las cuales requieren de mucho tiempo para su utilización. El bambú, por su rápido crecimiento,

fácil propagación y transporte se constituye en una materia prima de mucha aceptación para este tipo de industria (17).

Thomas A. Edison, utilizó en su primera bombilla un filamento carbonizado de bambú que le dió mejores resultados después de probar muchos otros (9). Los Japoneses, utilizan ciertas especies para la fabricación de baterías eléctricas dando mejores resultados que otras fuentes convencionales (18).

Los Chinos lo utilizaron en la fabricación de juegos pirotécnicos utilizando pólvora comprimida; además se utiliza también para mueblería, para astas de embarcaciones y fabricación de las mismas, para la fabricación de artículos deportivos, para la fabricación de algunos textiles como el rayón, con fines medicinales (12, 16).

#### VI 2.3 Usos en la construcción

El bambú, por sus características estructurales es utilizado en una amplia gama de necesidades entre las cuales está la vivienda pudiendo construirse, casi todas las partes como columnas, vigas, muros, techos, armaduras, etc; especialmente en construcciones rurales ó viviendas de tipo sencillo; aunque debido a la alta resistencia que presenta a los esfuerzos de tensión, ha sido considerado como alternativa de reemplazo del acero como refuerzo del concreto (6,16).

En 1914 se publicó el primer estudio científico del bambú por H.K. Chu en el Massachusetts Institute of Technology (MIT), E.E.U.U. y posteriormente, en esa misma década la dirección de conservación de Whangpoo en la China efectuó los primeros experimentos utilizando el bambú como refuerzo en el concreto, al cual luego de habersele realizado los ensayos a flexión fué sometido a pruebas de esfuerzos de tensión no presentando perdidas en la resistencia y su recuperación fué perfecta (6, 16). Posteriormente a estos estudios, se realizaron otros con el mismo fin, es decir, evaluar las propiedades físicas y mecánicas que pudieran dar la pauta para utilizar este material, como refuerzo en concreto; así tenemos pues, que se han realizado trabajos donde se evalúan principalmente esfuerzos de tensión, compresión y flexión así como también corte y clivaje, tomando muy en cuenta algunas características que resultan básicas para la mayor o menor resistencia de este material, tales como: edad del tallo, grado de madurez ó sazónamiento, especie, presencia de nudo en la muestra, etc. (6,16).

En un estudio realizado por H.E. Glenn en 1944 se determinó que el esfuerzo a tensión es aproximadamente cuatro veces mayor que el esfuerzo a compresión y que el nudo es la parte más débil de un tallo sometido a tensión no así a compresión; otros estudios demostraron que el grado de sazónamiento influye enormemente en la resistencia de este material,

siendo en los bambúes secos hasta dos veces más resistentes que los verdes; aumentando rápidamente esta propiedad en los primeros años y luego va disminuyendo hasta llegar a su estado de madurez o sazónamiento aproximadamente de los 3 a los 6 años de edad. En cuanto a las especies que se han evaluado algunas son más resistentes que otras, considerándose cierto número de éstas adecuadas para la construcción (6,15).

Con el propósito de estudiar el comportamiento del bambú para su empleo en miembros estructurales, se efectuaron algunos ensayos para medir la resistencia en columnas y vigas (16).

El ensayo de flexión estática se efectuó en tallos cuyas longitudes variaban entre 15 y 20 diámetros de largo. Para los ensayos en columnas se utilizaron tallos cuyas longitudes variaron entre 0.50 a 2.50 metros. Una columna es un miembro estructural sometido a esfuerzos de compresión que si es suficientemente delgado respecto de su longitud, podría llegar a romperse bajo la acción de una carga mucho menor, por pandeo lateral o flambéo que la necesaria para fallar por aplastamiento (16).

#### VI 2.3.1. Especies adecuadas para la construcción

Entre las especies que se pueden utilizar para la construcción tenemos: Bambusa tulda, Bambusa tuldoidea, Melocanna baccifera, Bambusa arundinacea (usado como material estructural en la India), Bambusa vulgaris (se emplea para construcciones temporales por ser atacado por insectos xilófagos), Arthrostylidium pittieri

(acabado de paredes y muros), Gigantochloa apus (debido a la durabilidad de sus culmos son usados para la fabricación de casas y construcciones con bastante elaboración, trabajos de amarre y ligaduras), Gigantochloa aspera (para construcciones temporales ó andamios para casas), Guadua angustifolia (para casa, postes de energía eléctrica, es resistente a rayos y al ataque de insectos xilófagos), Schizostachyum pseudolima (los culmos enteros y las partes exteriores, son usados para el cubrimiento de paredes, Schizostachyum zollingeri Steud (construcción de paredes y pisos). Además se reportan también, Rambusa angustifolia, Dendrocalamus strictus (16).

Los estudios preliminares realizados en la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos, concluyen que las propiedades físico-mecánicas del bambú, manifiestan características sobresalientes para su empleo como material de construcción. Sus valores de resistencia superan a los de las maderas nacionales y otros materiales que se usan en Guatemala (16).

#### VI 2.3.2. Características básicas que deben reunir las especies para la construcción:

Las características más importantes en cuanto a materiales de construcción se refiere son: resistencia del culmo a ataques de insectos xilófagos, al ataque de hongos y a condiciones ambientales adversas; tamaño del diámetro, espesor de la pared, grado de madurez, edad y largo del entrenudo (6,16).

Las diferentes especies que existen en Guatemala, varían entre sí, en cuanto a estas características (16).

#### VI 2.3.3. Propiedades Físicas y Mecánicas del Bambú:

Se escogieron las siguientes ocho propiedades: contenido de humedad, contracción y peso específico, que corresponden a las físicas y tensión, compresión, corte y clivaje como propiedades mecánicas. Esta selección se hizo en base a las normas ASTM, específicamente ASTM D143 (apendice B).

##### VI 2.3.3.1. Propiedades Físicas:

###### a.- Contenido de humedad:

A medida que los tallos de bambú se desarrollan, van perdiendo el porcentaje de humedad, siendo ésta abundante en los primeros períodos del crecimiento. El contenido de humedad en los bambúes inmaduros es casi igual en diversas partes del tallo, y en cambio, en los tallos maduros el contenido de humedad decrece con la altura del mismo. El contenido de humedad se expresa como un porcentaje del peso secado al horno (13,16).

###### b.- Contracción:

Durante el período de secado el material va perdiendo agua gradualmente, esto hace que el mismo sufra contracciones volumétricas las cuales son mayores en cuanto mayor sea el porcentaje de humedad del tallo y viceversa. El efecto de contracción se produce en forma

irregular siendo mayor en los entrenudos (13, 16).

c.- Peso específico:

Se representa como el peso del material por unidad de volumen. El peso específico difiere en cada especie y su valor también varía entre los tallos de una especie en los diversos tramos de un tallo, así como en las partes internas y externas del mismo. Tanto el peso como el volumen, varían con la cantidad de humedad en la planta y por ende, con el grado de madurez del tallo (13,16).

VI 2.3.3.2. Propiedades mecánicas

a.- Tensión paralela a la fibra:

Se llama así, a la acción de dos fuerzas externas, colineales y opuestas entre sí que ejercen tracción o estiramiento al material sobre el cual están actuando, en el caso específico del bambú, paralelamente al sentido de sus fibras (5).

En algunos estudios realizados, ha sido ésta una de las propiedades mas sobresalientes por tener una gran resistencia a este tipo de prueba, así tenemos, que se ha utilizado el bambú para cables que sirven para sostener puentes colgantes soportando de estos, esfuerzos de tensión además ha sido probado para material de refuerzo en el concreto. Según otros estudios, la tensión es cuatro veces menor en la región del nudo (6).

b.- Comprensión paralela a la fibra:

El material de ensayo, en este caso el bambú, está sometido a la acción de dos fuerzas colineales opuestas entre sí, ejerciendo su acción en un plano paralelo a la dirección de las fibras que lo componen (5).

No hay diferencia entre la zona del nudo y del entrenudo en este tipo de ensayo. La falla se puede presentar por aplastamiento o por rajadura paralela a la fibra, presentándose ésta última principalmente en muestras sin nudo (16).

Muchas de las estructuras utilizadas en la construcción están sometidas a este tipo de carga sobre todo las columnas, vigas y otros que además, pueden fallar antes por flambéo lateral ó flexión, dependiendo esto de la relación del diámetro respecto a la longitud del tallo, que es directamente proporcional, es decir, que a mayor longitud, mayor flexión y viceversa (16).

c.- Corte paralelo a la fibra:

Es una medida de la capacidad del material a resistir fuerzas que tienden a producir deslizamiento de una porción de éste, con relación a otra porción adyacente. El empleo del bambú en la construcción, involucra la presencia de esfuerzos cortantes en mayor o menor grado y las fuerzas que los producen pueden actuar a lo largo de la fibra, a través de la fibra y en diagonal a la misma siendo más frecuente el corte

paralelo a la fibra (16).

d.- Tensión perpendicular a la fibra:

Es la acción de dos fuerzas colineales, opuestas y en posición perpendicular a la fibra del bambú, es decir, la resistencia que provoca el bambú a la separación o desgarramiento de sus fibras (13).

e.- Clivaje:

Es el esfuerzo a que está sometida una pieza estructural para provocar desgarramiento; en el caso del bambú, separación a lo largo de las fibras. La resistencia a este tipo de carga determina la utilización de pernos, clavos, clivajes, etc. que sirven para la unión de piezas estructurales. (5,16).

## VII. MATERIALES Y METODOS

### VII.1. MATERIALES UTILIZADOS PARA LAS PRUEBAS:

#### a- ESPECIES UTILIZADAS:

Bambusa vulgaris var striata  
Bambusa arundinacea  
Gigantochloa verticillata  
Bambusa tulda

#### b- EQUIPO UTILIZADO EN EL CAMPO:

- serruchos para poda.
- rafia para asegurar etiquetas.
- cartulina para hacer etiquetas.
- cinta métrica.

#### c- EQUIPO UTILIZADO EN LA ELABORACION DE PROBETAS:

- sierras circulares eléctricas.
- formón

#### d- EQUIPO UTILIZADO EN LOS ENSAYOS

- máquina universal de ensayos.
- bernier de precisión.
- horno secador.

### VII.2. METODOLOGIA UTILIZADA EN LOS ENSAYOS:

#### a- Preparación del material :

Se procedió a coleccionar el material cortando 8 tallos de cada especie, comprendidos éstos en edades de tres a seis años debido a que en este intervalo se encuentra su período de sazónamiento. Se determinó el grado de sazónamiento ó madurez observando las cicatrices foliares que quedan en las ramas, en la parte superior del nudo, al desprenderse las hojas en la etapa de renovación de éstas que se lleva a cabo cada año o año y medio. Ejemplo: un tallo tiene 3 años ó mas, cuando se le cuentan 3 cicatrices foliares. Cada culmo ó tallo se dividió en 3 partes iguales, para luego ser identificado con su respectiva codificación (ver cuadro 1). posteriormente fueron almacenados

CUADRO 1: CLAVE DE IDENTIFICACION DE LAS ESPECIES A ESTUDIAR. INCLUYE PARTE DE LA PLANTA EVALUADA, NUMERO DE PRUEBAS Y DE REPETICIONES.

No	Especie	No Parte del Tallo	C.U.E.	R	NP	TOTAL
1	<u>Bambusa vulgaris</u> var.Striata	1 basal	1.1	3	8	24
		2 media	1.2	"	"	"
		3 apical	1.3	"	"	"
2	<u>Bambusa arundinacea</u>	1 basal	2.1	3	8	24
		2 media	2.2	"	"	"
		3 apical	2.3	"	"	"
3	<u>Gigantochloa verticillata</u>	1 basal	3.1	3	8	24
		2 media	3.2	"	"	"
		3 apical	3.3	"	"	"
4	<u>Bambusa tulda</u>	1 basal	4.1	3	8	24
		2 media	4.2	"	"	"
		3 apical	4.3	"	"	"
TOTAL DE PRUEBAS O ENSAYOS						288

REFERENCIAS:

R = Repeticiones del mismo tratamiento  
 NP = Número de pruebas a realizarse.  
 TOTAL = total de pruebas de cada tratamiento.  
 C.U.E. = clave de la unidad experimental.

durante 45 días a la sombra, dispuestos en forma inclinada apoyándose entre sí. Esto se hizo con la finalidad de ser secados al medio ambiente, para evitar rajamiento. Este método fue escogido por ser efectivo y fácil de manejar a diferencia de sistemas más sofisticados como aquellos que utilizan el fuego para este fin.

Luego del secado se procedió a la elaboración de las probetas, para los diferentes ensayos, las cuales tienen las dimensiones estipuladas por las normas ASTM (American Society for Testing and Materials) de pruebas en maderas, especialmente las ASTM D143 (ver apéndice B) (1).

#### b- REALIZACION DE LOS ENSAYOS

##### b.1. Pruebas Físicas

##### b.1.1. Contenido de humedad

Para esta prueba se utilizó el método tradicional de secado al horno, el cual se realizó a una temperatura aproximada de 100°C y se expresa como el porcentaje del peso seco. Se secó el material hasta que dió un peso constante, las pruebas se relizaron cuando el material estuvo listo para ser utilizado, es decir, despues del secado (14,16).

##### b.1.2. Contracción:

Se cortaron 6 probetas de 1 pulgada de cada parte del tallo, de las cuales antes del secado al ambiente se les tomó el diámetro externo, altura de probeta y espesor de pared; se tomaron 4 lecturas de cada uno para

obtener un promedio, al que se le restó el promedio de estas medidas de probetas secadas al ambiente; así pues se determinó, contracción paralela a la fibra, contracción en el espesor de pared y contracción en el diámetro de los cilindros.

b.1.3. Peso específico:

Se obtuvo de dividir el peso seco al horno del cilindro dentro de su volumen aparente al correspondiente grado de humedad. El volumen se determinó por medición directa, con la ayuda de micrómetro. Se tomó el peso específico solamente de los cilindros que se sometieron a esfuerzos de compresión (16).

b.2. Pruebas Mecánicas:

b.2.1. Compresión paralela a la fibras:

Se cortaron 12 probetas de cada parte del tallo de longitud 4 veces el diámetro exterior de las mismas; 6 probetas con nudo en el centro y 6 sin nudo en éste.

Para distribuir uniformemente las cargas de compresión, se dejaron planos los extremos de las probetas y perpendiculares al eje longitudinal. La precisión y exactitud de esta actividad dependió mucho del equipo utilizado para su medición. (ver fig. 1A en apéndice "A") (16).

#### b.2.2. Tensión paralela a la fibra:

Se cortaron las probetas en segmentos de 50 cms. de largo y no mayores de 2 cms. de ancho a cada probeta se le redujo en los 10 centímetros centrales, para asegurar que la falla se presentara en ese tramo (ver fig. 1B en apéndice "A") (16).

Se elaboraron 6 probetas con nudo en el centro y 6 sin nudo en éste; en este tipo de carga la región del nudo disminuye considerablemente su intensidad. Se utilizó la máquina universal de ensayos.

#### b.2.3. Corte paralelo a la fibra:

Se cortaron 6 probetas en forma de escalera, de cada parte del tallo, teniendo éstas las dimensiones recomendadas por la ASTM para corte en madera (ver fig. 1C en apéndice "A"). Con la ayuda del micrómetro se midieron las dimensiones de cada parte de la probeta se colocaron las muestras dentro de un dispositivo que se utiliza para los ensayos de corte en madera. Este aparato se introdujo luego a la máquina universal de ensayos. Se le aplicó carga a compresión hasta provocar la falla. (14,16).

#### b.2.4. Tensión perpendicular a la fibra:

Se prepararon las probetas como lo indican las normas ASTM, dándoles las

dimensiones exactas (ver fig. 1D en apéndice A). Se colocaron en la máquina universal de ensayos, utilizando soportes especiales y se aplicaron las cargas de tensión hasta provocar la falla.

Se calculó el esfuerzo de tensión, dividiendo la carga máxima, dentro de la sección mínima transversal a la fibra (16).

#### b.2.5. Clivaje:

Se utilizaron las normas ASTM (1) para la preparación de las probetas, dándole la forma y dimensiones exactas (ver fig. 1E en apéndice A). Las muestras se aseguraron con mordasas especiales y se adaptaron a la máquina universal de ensayos. La carga fué tensiva, actuando ésta en un solo extremo de la probeta.

El esfuerzo de clivaje se obtuvo de dividir la carga máxima o de ruptura dentro del espesor de la probeta.

### VII.3. Diseño experimental a utilizarse:

Se trabajó con un diseño completamente al azar desbalanceado, con 4 repeticiones y un arreglo combinatorio factorial de 4 X 3, cuyo modelo estadístico es:

$$Y_{ijk} = M + A_i + B_j + (AB)_{ij} + E_{ijk}$$

donde:

- $Y_{ijk}$  = Valor de la variable respuesta de la i-j-k-ésima unidad experimental.
- $M$  = Media general.
- $A_i$  = Efecto del factor A
- $B_j$  = Efecto del factor B
- $(AB)_{ij}$  = Interacción entre el factor A y el factor B.
- $E_{ijk}$  = Error experimental asociado a la i-j-k-ésima unidad experimental.

- Factor A: especies en estudio de bambú.  
 A1: Bambusa vulgaris var. Striata  
 A2: Bambusa arundinacea.  
 A3: Gigantochloa verticillata.  
 A4: Bambusa tulda.

- Factor B: partes del tallo a utilizar.  
 B1: parte basal  
 B2: parte media  
 B3: parte apical

#### VII.4. Tratamientos a aplicarse:

Se trabajó con 4 especies de bambú, utilizando para ello, la parte basal, media y apical del tallo de cada una de las especies, como lo muestra el cuadro 2.

CUADRO 2: Cuadro de identificación de las unidades experimentales con sus respectivos códigos.

C.U.E.	UNIDADES EXPERIMENTALES O TRATAMIENTOS
1.1	<u>B. vulgaris</u> var. <u>Striata</u> -parte basal
1.2	<u>B. vulgaris</u> var. <u>Striata</u> -parte media
1.3	<u>B. vulgaris</u> var. <u>Striata</u> -parte apical
2.1	<u>Bambusa arundinacea</u> -parte basal
2.2	<u>Bambusa arundinacea</u> -parte media
2.3	<u>Bambusa arundinacea</u> -parte apical
3.1	<u>Gigantochloa verticillata</u> -parte basal
3.2	<u>Gigantochloa verticillata</u> -parte media
3.3	<u>Gigantochloa verticillata</u> -parte apical
4.1	<u>Bambusa tulda</u> -parte basal
4.2	<u>Bambusa tulda</u> -parte media
4.3	<u>Bambusa tulda</u> -parte apical

La unidad experimental es cada especie con la parte de tallo correspondiente.

#### REFERENCIAS:

C.U.E. = clave de la unidad experimental

#### VII.5. Lecturas a tomar (variables respuesta):

Los datos que se utilizaron para realizar los análisis correspondientes son:

- Tensión paralela a la fibra
- Comprensión paralela a la fibra
- Corte paralelo a la fibra
- Tensión perpendicular a la fibra
- Clivaje

Estas pruebas se realizaron en el laboratorio de la facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala utilizando la máquina universal de ensayos.

- Contenido de humedad, se determinó por el porcentaje de la pérdida de peso, después de secado al horno.
- Contracción, se determinó por diferencia de volúmenes.
- Peso específico, se determinó por la relación entre el peso seco al horno y su volumen aparente.

#### VII.6. Análisis de resultados

Se efectuó análisis de varianza y prueba múltiple de medias (Tukey), en base a la significancia, para determinar que especie(s) posee(n) las mejores propiedades físico-mecánicas o sea cuales son los mejores tratamientos.

## VIII. RESULTADOS Y DISCUSION:

Para cumplir con los objetivos presentados en la presente investigación y aceptar o rechazar las hipótesis planteadas en el mismo, se realizó una serie de cálculos con los resultados obtenidos (VARIABLES RESPUESTA) para hacer un análisis detallado del comportamiento de las 4 especies de bambú sometidas a las diferentes pruebas fisicomecánicas. Estos análisis se detallan a continuación:

### VIII.1. PRUEBAS FISICAS

#### - CONTENIDO DE HUMEDAD:

Se realizó un análisis de varianza para el contenido de humedad tomado al momento del corte del material y al momento de efectuar las pruebas o ensayos, con la finalidad de ver cual o cuales de las fuentes de variabilidad presentan diferencias significativas. Ver cuadro 3.

El porcentaje de humedad al momento del corte, presentó diferencias significativas en las partes del tallo y en la interacción, no así en las especies en estudio (Ver cuadro 3). En el cuadro 4 se puede observar que la parte basal de todas las especies, tiende a ser mas húmeda, bajando gradualmente en la parte media y presenta los menores porcentajes de humedad en la parte apical. En cuanto a las especies no hubo diferencias significativas entre ellas, lo cual significa que las 4 especies tienen más o menos el mismo porcentaje de humedad. Las partes del tallo son estadísticamente diferentes; marcándose el mayor porcentaje de humedad en la parte basal bajando gradualmente hasta llegar a la parte apical donde presenta los menores porcentajes de humedad (ver cuadro 4).

Los porcentajes de humedad al momento del corte son indicadores de que el material recolectado estuvo dentro de los rangos de madurez deseados (3 a 6 años de edad) puesto que tal y como la literatura lo reporta, para tallos maduros, el porcentaje de humedad disminuye gradualmente mientras más se acerca a la parte apical. Otro dato importante en cuanto al grado de madurez, es que las variedades no presentaron diferencias estadísticas entre sí, por lo que todas son de edades semejantes. Esta homogeneidad en las muestras se logró utilizando 3 métodos reportados en la literatura (páginas 14 y 15) para determinar la edad de los culmos, éstos son:

- a. Basándose en la hoja caulinar y en la velloidad.
- b. Basándose en las cicatrices foliares que quedan en las ramas.
- c. La posición del culmo en la macolla.

CUADRO 3

RESUMEN DE LOS ANALISIS DE VARIANZA DE CONTENIDO DE HUMEDAD TOMADO AL MOMENTO DEL CORTE Y AL MOMENTO DE EFECTUAR LOS ENSAYOS.

VARIABLE RESPUESTA	FUENTE DE VARIABILIDAD	F.C.	F.T.	C.V.
PORCENTAJE DE HUMEDAD AL MOMENTO DEL CORTE.	TRATAMIENTO	3.22 *	2.15	
	FACTOR A	0.10	2.92	
	FACTOR B	4.70 *	3.32	5.77
	INTERACCION	4.40 *	2.42	
PORCENTAJE DE HUMEDAD PROBETAS SECADAS AL AMBIENTE	TRATAMIENTOS	34.98 *	2.15	
	FACTOR A	3.23 *	2.92	
	FACTOR B	184.51 *	3.32	10.99
	INTERACCION	0.99	2.42	

REFERENCIAS : F.C. = F. CALCULADA  
 F.T. = F. TABULADA  
 C.V. = COEFICIENTE DE VARIABILIDAD  
 \* = SIGNIFICANCIA AL 5%

CUADRO 4:

PRUEBA MULTIPLE DE MEDIAS (TUKEY) PARA PORCENTAJE DE HUMEDAD AL MOMENTO DEL CORTE.

INTERACCION A-B

TRAT.	MEDIA	CATEGORIA
2,1	38.68	a
3,1	36.59	ab
4,1	35.40	b
1,1	35.28	b
2,2	26.47	c
4,2	24.59	cd
3,2	23.15	d
1,2	20.36	e
2,3	18.68	ef
3,3	18.00	efg
1,3	17.29	fg
4,3	16.17	g

FARTES DEL TALLO

P.T.	MEDIA	CAT.
B1	48.65	a
B2	31.52	b
B3	23.38	c

REFERENCIAS:

P.T. = PARTE DEL TALLO  
 CAT. = CATEGORIA  
 TRAT. = TRATAMIENTO

En el caso del porcentaje de humedad de las probetas secadas al ambiente; al realizarse el análisis de varianza se obtuvieron diferencias significativas solamente en las especies estudiadas y en las partes del tallo como se detalla en el cuadro 5. En el caso de las cuatro especies se nota una diferencia no muy marcada, siendo Bambusa arundinacea la que presenta mayores porcentajes de humedad, siguiéndole Bambusa tulda y vulgaris que son iguales estadísticamente y la que menor porcentaje presenta es Gigantochloa verticillata. (ver cuadro 5). En cuanto a las partes del tallo la parte basal y media son estadísticamente iguales manifestándose diferencia únicamente en la parte apical como se puede observar en el cuadro 5.

Los porcentajes de humedad de las probetas secadas al ambiente, determinan la estabilidad de las pruebas en este estudio debido a que los mismos están dentro de los rangos aceptables ya que no pasan del 18% de humedad y algunos llegan al 14%. Se puede decir que los tratamientos resultaron estadísticamente iguales.

#### -- CONTRACCION:

Para los diferentes tipos de contracción se realizó un análisis de varianza y una prueba múltiple de medias (Tukey), para las variables que así lo requirieran tal y como se resume en el cuadro 6.

Los resultados de cada tipo de contracción se discuten a continuación:

Para la prueba de contracción paralela a la fibra, no hay ninguna diferencia significativa, puesto que la contracción en este sentido, prácticamente no se da; es decir, es tan pequeña

CUADRO 5

PRUEBA MULTIPLE DE MEDIAS (TUKEY) PARA PORCENTAJES DE HUMEDAD EN PROBETAS SECADAS AL AMBIENTE.

---

ESPECIES DE BAMBU

---

FACTOR A	MEDIA	CAT
A2	51.97	a
A4	48.61	b
A1	48.57	b
A3	62.84	c

---

PARTES DEL TALLO

---

FACTOR B	MEDIA	CAT
B1	68.62	a
B2	67.61	a
B3	62.84	b

---

---

REFERENCIAS:

CAT = CATEGORIA

CUADRO 6

RESUMEN DE LOS ANALISIS DE VARIANZA PARA LOS  
DIFERENTES TIPOS DE CONTRACCION

VARIABLE RESPUESTA	FUENTE DE VARIABILIDAD	F.C.	F.T.	C.V.
CONTRACCION PARALELA A LA FIBRA	TRAT	0.42	2.15	
	A	0.27	2.92	
	B	0.03	3.32	25.85
	AB	0.63	2.42	
CONTRACCION PERPENDICULAR A LA FIBRA	TRAT	16.69*	2.15	
	A	5.71*	2.92	
	B	70.18*	3.32	34.14
	AB	4.35*	2.42	
CONTRACCION EN ESPESOR DE PARED	TRAT	5.57*	2.15	
	A	1.63	2.92	
	B	27.41*	3.32	32.48
	AB	0.26	2.42	
CONTRACCION DEL DIAMETRO DE LOS CILINDROS.	TRAT	4.39*	2.15	
	A	0.69	2.92	
	B	17.98*	3.32	39.01
	AB	1.71	2.42	

REFERENCIAS:

F.C. = F. CALCULADA  
 F.T. = F. TABULADA  
 C.V. = COEFICIENTE DE VARIABILIDAD  
 TRAT = TRATAMIENTOS  
 A = FACTOR A  
 B = FACTOR B  
 AB = INTERACCION

que se puede considerar nula.

En el caso de la contracción perpendicular a la fibra, todas las fuentes de variabilidad presentan diferencias significativas, para lo cual se presenta la discusión de cada una de ellas.

Las 4 especies de bambú en estudio, representadas por el factor A, son estadísticamente diferentes, en cuanto a la contracción perpendicular a la fibra. La especie que tuvo mayor grado de contracción fué Bambusa arundinacea siguiéndole Bambusa tulda y posteriormente Bambusa vulgaris; la que menor contracción perpendicular a la fibra sufrió, fué Gigantochloa verticillata, como lo muestra el cuadro 7.

En cuanto a las partes del tallo representadas por el factor B, se observa un aumento significativo en la contracción perpendicular a la fibra; siendo éste mucho menor en la parte apical del tallo, que en la parte media y la mayor contracción se presenta en la parte basal, tal y como se representa en el cuadro 7.

La interacción entre las especies y las partes del tallo da como resultado que la zona de mayor contracción es la parte basal, especialmente en Bambusa vulgaris y Bambusa arundinacea, siguiendo a éstas Bambusa tulda que también presenta un grado de contracción considerable. Ver cuadro 7. Una baja considerable se presenta en la parte apical del tallo, resultando muy poca contracción en las especies Gigantochloa verticillata, Bambusa tulda y Bambusa vulgaris, como se observa en el cuadro 7.

CUADRO 7

PRUEBA MULTIPLE DE MEDIAS (TUKEY) PARA CONTRACCION PERPENDICULAR A LA FIBRA PARA LOS FACTORES Y LA INTERACCION.

ESPECIES DE BAMBU			PARTES DEL TALLO		
FAC. A	MEDIA	CAT	FAC. B	MEDIA	CAT
2	1.44	a	1	2.49	a
4	1.07	b	2	1.40	b
1	0.93	c	3	0.42	c
3	0.87	d			

INTERACCION A,B

TRAT	MEDIA	CAT
1,1	0.75	a
2,1	0.73	a
4,1	0.63	b
2,2	0.46	c
3,2	0.42	c
3,1	0.38	d
4,2	0.37	d
2,3	0.23	e
1,2	0.15	f
3,3	0.07	g
4,3	0.07	g
1,3	0.05	g

NOTA: LOS VALORES CON LA MISMA LETRA SON ESTADISTICAMENTE IGUALES.

REFERENCIAS:

- TRAT = TRATAMIENTO
- CAT = CATEGORIA
- FAC = FACTOR

El espesor de pared de los cilindros sometidos a pruebas de contracción, mostró diferencias significativas únicamente en los tratamientos y en las partes basal, media y apical del tallo de las especies en estudio; realizándose una prueba múltiple de medias para cada una de ellas. Ver cuadro 6.

El espesor de pared en los tratamientos tiende a ser igual, asentuándose más en Bambusa arundinacea-parte basal y siguiéndole muy de cerca la parte basal de las otras tres, teniendo éstas la misma categoría de contracción, siguiendo en una tercera categoría Bambusa arundinacea-parte media y Bambusa vulgaris parte media; luego vienen todas las demás partes teniendo la misma categoría de Bambusa vulgaris-parte media. Prácticamente no hay mucha diferencia en contracción de pared en los tratamientos. Ver cuadro 8.

Para el factor B, es decir las partes del tallo, se ve una diferencia clara en cuanto a contracción de pared, siendo la parte basal de las 4 especies la que más se contrae y disminuyendo gradualmente hasta llegar a la parte apical donde se contrae con menor intensidad tal y como se aprecia en el cuadro 8.

Los diámetros de los diferentes cilindros presentaron contracciones considerables en los tratamientos y las partes del tallo de las especies en estudio (ver cuadro 6) por lo que se realizó una prueba múltiple de medias que dio como resultado un comportamiento muy similar a la contracción del espesor, entonces podemos decir que los tratamientos presentan muy poca diferencia entre ellos (ver cuadro 9); mientras que las partes del tallo se

contraen considerablemente en la parte basal y van disminuyendo gradualmente mientras más arriba se encuentren, como se puede observar en el cuadro 9.

El análisis de contracción refuerza lo indicado en los incisos anteriores, ya que no se manifestó diferencias entre las especies, pero si en las partes del tallo, siendo la parte basal la que más se contrajo. Disminuyendo gradualmente, la contracción menor se registró en la parte apical.

CUADRO 8

PRUEBA MULTIPLE DE MEDIAS (TUKEY) PARA CONTRACCION DEL ESPESOR DE PARED.

TRATAMIENTOS		
TRAT	MEDIA	CAT
2,1	0.63	a
1,1	0.47	b
4,1	0.47	b
3,1	0.45	b
2,2	0.28	c
1,2	0.18	cd
3,2	0.14	d
2,3	0.10	d
3,3	0.09	d
4,2	0.06	d
1,3	0.04	d
4,3	0.02	d

PARTES DEL TALLO		
FAC	MEDIA	CAT
1	2.02	a
2	0.66	b
3	0.25	c

NOTA: LOS VALORES CON LA MISMA LETRA SON ESTADISTICAMENTE IGUALES.

REFERENCIAS:

TRAT = TRATAMIENTO  
 CAT = CATEGORIA  
 FAC = FACTOR B

CUADRO 9

PRUEBA MULTIPLE DE MEDIAS PARA CONTRACCION DEL DIAMETRO DE LOS CILINDROS.

TRATAMIENTOS		
TRAT	MEDIA	CAT
1,1	0.89	a
2,1	0.76	b
3,1	0.76	b
4,1	0.62	c
4,2	0.52	c
3,2	0.51	c
4,3	0.49	c
2,2	0.44	c
3,3	0.42	c
2,3	0.32	c
1,2	0.30	c
1,3	0.17	d

PARTES DEL TALLO		
FAC	MEDIA	TRAT
1	3.03	a
2	1.77	b
3	1.40	c

NOTA: LOS VALORES CON LA MISMA LETRA SON ESTADISTICAMENTE IGUALES.

REFERENCIAS:

- TRAT = TRATAMIENTO
- CAT = CATEGORIA
- FAC = FACTOR B

## -PESO ESPECIFICO

Los resultados del análisis de varianza en la prueba física de peso específico aparente resultaron significativos en todas sus fuentes de variabilidad, (ver cuadro 10) por lo que se realizó una prueba múltiple de medias para cada una de ellas; ver cuadro 11.

En el ensayo de peso específico aparente, las partes bajas del tallo tienen mayor peso específico y van disminuyendo hasta alcanzar los valores menores en las partes altas (ver cuadro 11). La especie Bambusa tulda obtuvo los mayores valores, mientras que las otras tres especies son estadísticamente iguales (ver cuadro 11). En la interacción, solo Bambusa tulda resulta diferente teniendo su valor más alto en la parte basal, mientras que todas las especies restantes son estadísticamente iguales. (ver cuadro 11).

CUADRO 10

### RESUMEN DEL ANALISIS DE VARIANZA DEL PESO ESPECIFICO APARENTE.

VARIABLE RESPUESTA	FUENTE DE VARIABILIDAD	F.C.	F.T.	C.V.
	TRATAMIENTO	60.42*	2.15	
PESO ESPE-	FACTOR A	198.74*	2.92	
CIFICO	FACTOR B	4.90*	3.32	17.90
APARENTE	INTERACCION	9.78*	2.42	

#### REFERENCIAS:

F.C. = F. CALCULADA  
F.T. = F. TABULADA  
C.V. = COEFICIENTE DE VARIABILIDAD

CUADRO 11

PRUEBA MULTIPLE DE MEDIAS PARA PESO ESPECIFICO APARENTE.

---

PARTES DEL TALLO

---

FAC B	MEDIA	CAT
1	2.39	a
2	2.07	b
3	1.89	c

---

ESPECIES DE BAMBU

---

FAC A	MEDIA	CAT
4	3.33	a
3	1.01	b
2	1.01	b
1	1.00	b

---

INTERACCION

---

TRAT	MEDIA	CAT
4,1	1.38	a
4,2	1.07	bc
4,3	0.89	bc
1,1	0.35	c
3,2	0.35	c
2,2	0.34	c
3,3	0.34	c
2,1	0.34	c
1,3	0.33	c
2,3	0.33	c
3,1	0.32	c
1,2	0.32	c

---

NOTA: LOS RESULTADOS CON LA MISMA LETRA SON ESTADISTICAMENTE IGUALES.

REFERENCIAS: TRAT = TRATAMIENTO

## VIII.2. PRUEBAS MECANICAS:

### - Tensión paralela a la fibra:

Con los resultados obtenidos de tensión paralela a la fibra, se realizaron los análisis correspondientes tomando en cuenta solo las probetas con nudo en el centro (ver cuadro 13). De las probetas sin nudo en el centro, no se obtuvo datos fidedignos puesto que éstas fallaron por efecto de corte paralelo a la fibra y aplastamiento en la base, es decir, en los extremos sostenidos por las mordasas.

Como se pudo observar en algunas probetas, que reduciendoles el área de falla, se logró llegar a su carga máxima, el tipo de falla ocurre por desprendimiento o desgarre de sus fibras y posteriormente se ruptura, mientras que en las probetas con nudo en el centro, fallan por desprendimiento en esta zona del nudo.

En los estudios preliminares realizados en la Facultad de Ingeniería, se observó el mismo comportamiento en cuanto al tipo de falla en esta prueba (13,16).

El análisis de varianza con respecto al esfuerzo máximo, mostró diferencias significativas en todas sus fuentes de variabilidad a excepción de las partes del tallo de las mismas. Para determinar los mejores resultados, se realizó una prueba múltiple de medias (tukey) cuyos resultados se encuentran en el cuadro 12.

El comportamiento de las especies de bambú en estudio en los ensayos de tensión paralela a la fibra con nudo en el

centro, tiende a ser el mismo que en el de la compresión ya que Bambusa tulda obtuvo los mejores resultados en esfuerzo a tensión, siguiéndole Bambusa arundinacea y posteriormente Gigantochloa verticillata con Bambusa vulgaris que presentan los resultados más bajos. (ver cuadro 12) En cuanto a las partes del tallo, no se presentaron diferencias significativas.

CUADRO 12

PRUEBA MULTIPLE DE MEDIAS PARA TENSION PARALELA A LA FIBRA CON NUDO EN EL CENTRO.

INTERACCION A\*B

---

TRAT	MEDIAS	CAT
4,3	2265.48	a
4,1	2143.85	ab
4,2	2026.84	bc
2,1	2019.05	bc
2,2	1951.48	c
2,3	1912.50	c
3,3	1612.35	d
1,3	1566.40	d
3,1	1531.91	d
3,2	1513.28	d
1,1	1505.70	d
1,2	1456.25	d

---

ESPECIES

---

FAC A	MEDIAS	CAT
4	6438.59	a
2	5883.02	b
3	4657.55	c
1	4528.35	d

---

NOTA:

LOS VALORES CON LA MISMA LETRA SON ESTADISTICAMENTE IGUALES.

REFERENCIAS:

TRAT = TRATAMIENTOS  
 CAT = CATEGORIAS  
 FAC A = FACTOR A

- Compresión paralela a la fibra:

Para el ensayo mecánico de compresión paralela a la fibra, se realizó un análisis de varianza y una prueba múltiple de medias (tukey) tomando en cuenta las probetas con nudo en el centro y las sin nudo en él; se analizaron los resultados de esfuerzo máximo, como se puede apreciar en el cuadro 13.

Analizando el esfuerzo máximo en los ensayos de compresión paralela a la fibra con nudo en el centro de la probeta se obtuvo diferencias significativas en todas las fuentes de variabilidad, teniendo que realizar una prueba múltiple de medias para cada una de éstas.

Los mayores resultados en cuanto a las especies en estudio fueron para Bambusa tulda, siguiéndole a ésta Bambusa arundinacea y luego Gigantochloa verticillata; el resultado más bajo fue para Bambusa vulgaris (ver cuadro 14).

Las partes del tallo en este ensayo, tendieron a mejorar la calidad en la parte apical bajando gradualmente hasta llegar a la parte basal la cual presentó los resultados más bajos de esfuerzo máximo (ver cuadro 14).

En cuanto a la interacción, las especies en estudio siguen el mismo comportamiento, es decir el orden de calidad en cuanto a esfuerzo máximo está dado por: Bambusa tulda, Bambusa arundinacea, Gigantochloa verticillata y Bambusa vulgaris, tendiendo estas a mejorar su calidad mientras más arriba esté la parte del tallo. Así tenemos pues que la que dio resultados

CUADRO 13:

RESUMEN DE LOS ANALISIS DE VARIANZA DE TENSION Y COMPRESION PARALELA A LA FIBRA CON NUDO Y SIN NUDO EN EL CENTRO DE LA PROBETA REPRESENTANDO ESFUERZO MAXIMO.

VARIABLE RESPUESTA	FUENTE DE VARIABILIDAD	F.C.	F.T.	C.V.
TENSION PARALELA A LA FIBRA CON NUDO EN EL CENTRO DE LA PROBETA.	TRATAMIENTO	6.86*	2.15	
	A	23.91*	2.92	
	B	0.86	3.32	12.32
	AB	0.33	2.42	
TENSION PARALELA A LA FIBRA SIN NUDO EN EL CENTRO DE LA PROBETA.	TRATAMIENTO			
	A	NO SE OBTUVO DATOS FIDEDIGNOS.		
	B			
COMPRESION PARALELA A LA FIBRA CON NUDO EN EL CENTRO DE LA PROBETA.	TRATAMIENTO	25.11*	2.15	
	A	88.45*	2.92	
	B	3.60*	3.32	7.83
	AB	0.61	2.42	
COMPRESION PARALELA A LA FIBRA SIN NUDO EN EL CENTRO DE LA PROBETA.	TRATAMIENTO	19.46*	2.16	
	A	68.64*	2.92	
	B	0.64	3.32	11.67
	AB	1.15	2.42	

mayores es Bambusa tulda parte apical y la más baja fue Bambusa vulgaris y aunque no hubo diferencias significativas en las partes del tallo la tendencia fue orientada a mejorar la calidad del material mientras más cerca de la parte apical se encuentre como se puede ver en el cuadro 15.

La interacción tiene un comportamiento similar al ensayo de probetas con nudo, es decir, hay una tendencia a mejorar la calidad del material, mientras más cerca este de la parte apical obteniendo los mejores resultados en Bambusa tulda, siguiéndole Bambusa arundinacea y luego Gigantochloa verticillata y Bambusa vulgaris (ver cuadro 15).

CUADRO 14

PRUEBA MULTIPLE DE MEDIAS (TUKEY) PARA COMPRESION PARALELA A LA FIBRA CON NUDO EN EL CENTRO DE LA PROBETA REPRESENTANDO ESFUERZO MAXIMO.

ESPECIES DE BAMBU		
FAC.A	MEDIAS	CAT
4	10,871.50	a
2	10,196.70	b
3	8,082.29	c
1	6,733.44	d

PARTES DEL TALLO		
FAC.A	MEDIAS	CAT
3	12,364.40	a
2	12,034.50	b
1	11,485.30	c

INTERACCION AB

TRAT	MEDIAS	CAT
4,2	929.21	a
4,3	905.93	a
4,1	882.74	a
2,3	874.54	ab
2,2	858.61	ab
2,1	816.04	ab
3,3	733.49	bc
3,2	653.62	cd
3,1	633.46	cd
1,3	577.10	d
1,2	567.18	d
1,1	539.08	d

REFERENCIAS:

TRAT = TRATAMIENTOS  
 CAT = CATEGORIA  
 FAC = FACTOR

CUADRO 15

PRUEBA MULTIPLE DE MEDIAS (TUKEY) PARA COMPRESION PARALELA A LA FIBRA SIN NUDO EN EL CENTRO DE LA PROBETA REPRESENTANDO ESFUERZO MAXIMO.

ESPECIES DE BAMBU

FAC.A	MEDIAS	CAT
4	11,564.80	a
2	9,851.31	b
3	7,311.89	c
1	6,182.39	d

INTERACCION AB

TRAT	MEDIAS	CAT
4,3	988.08	a
4,1	951.58	ab
4,2	950.83	ab
2,2	891.11	ab
2,3	777.24	bc
2,1	775.22	bc
3,3	657.92	cd
3,2	588.49	cd
3,1	581.56	cd
1,3	554.35	d
1,1	510.45	d
1,2	480.80	d

REFERENCIAS:

- TRAT = TRATAMIENTO
- CAT = CATEGORIAS
- FAC = FACTOR

- Corte paralelo a la fibra:

El análisis de varianza que para los ensayos de corte se realizó, presentó diferencias significativas en los dos factores en estudio pero no así en su interacción como lo muestra el cuadro 16.

La especie que mejores resultados dió fué Bambusa tulda, siguiéndole Bambusa arundinacea con resultados muy similares como se puede ver en el cuadro 17. Bambusa vulgaris y Gigantochloa verticillata presentaron los resultados más bajos.

En cuanto a las partes del tallo el resultado más alto lo tiene la parte basal, siguiéndole la parte media y el resultado más bajo lo presentó la parte apical (ver cuadro 17).

- Clivaje y tensión perpendicular a la fibra:

Para éstos dos ensayos se realizaron análisis de varianza los cuales resultaron significativos en todas sus fuentes de variabilidad (ver cuadro 16).

Para las especies en estudio resultó el mismo comportamiento de los ensayos anteriores, es decir que, para las 2 pruebas la especie con mejor respuesta es Bambusa tulda, siguiéndole muy de cerca Bambusa arundinacea y las de menor calidad fueron Gigantochloa verticillata y Bambusa vulgaris (ver cuadro 18). De la misma manera se comportan las partes del tallo, es decir, la parte basal es superior a la parte media y la parte apical es la de menor calidad (ver cuadro 18).

En cuanto a la interacción de las especies con las partes del tallo, los más altos esfuerzos de tensión perpendicular los presentan Bambusa tulda y Bambusa arundinacea

en su parte basal siguiéndole la parte media de las mismas especies. Como se puede ver en el cuadro 18, hay tendencia a que la parte basal de las especies tenga los mejores resultados y vaya disminuyendo gradualmente hacia arriba, observando los resultados más bajos en la parte apical de Bambusa vulgaris y Gigantochloa verticillata. En síntesis existe la tendencia a que la parte basal de las especies tengan los mejores resultados y vaya disminuyendo gradualmente hacia arriba, observando los resultados más bajos en la parte apical de Bambusa vulgaris y Gigantochloa verticillata. En síntesis existe la tendencia a presentar el mismo comportamiento de los factores por separado, es decir, Bambusa tulda parte basal, media y apical; Bambusa arundinacea parte basal, media y apical, Gigantochloa verticillata y Bambusa vulgaris parte basal, media y apical (ver cuadro 19) en el esfuerzo de clivaje.

En la interacción solo en la parte basal y media de Bambusa tulda resultaron estadísticamente diferentes a las demás y a partir de la parte apical de la misma especie, todas son iguales (ver cuadro 19).

Los resultados de clivaje (Cuadro 19) son indicadores de la baja resistencia del bambú a este tipo de prueba, puesto que si se le compara con la tensión paralela a la fibra, se observará una relación promedio de 25 a 1, es decir, que el esfuerzo de tensión paralela a la fibra es 25 veces mayor que el esfuerzo de aplicar una tensión perpendicular a la fibra para provocar su desgarre, tal el caso de la prueba de clivaje. Como la resistencia a este tipo de carga determina la utilización de pernos, clavos, clivajes, que sirven para la unión de piezas

estructurales, es de suma importancia enfatizar la baja resistencia del bambú al esfuerzo de clivaje y buscar una alternativa para realizar las uniones de piezas estructurales sin necesidad de provocar este tipo de esfuerzo, tales como amarre y ensamblaje.

CUADRO 16:

RESUMEN DE LOS ANALISIS DE VARIANZA DE CORTE PARALELO A LA FIBRA ,TENSION PERPENDICULAR A LA FIBRA Y CLIVAJE REPRESENTANDO ESFUERZO MAXIMO.

VARIABLE RESPUESTA	FUENTE DE VARIABILIDAD	F.C.	F.T.	C.V.
CORTE PARALELO A LA FIBRA ESFUERZO MAXIMO	TRATAMIENTO	21.70*	2.15	
	A	69.70*	2.92	
	B	9.83*	3.32	6.18
	AB	1.71	2.42	
TENSION PERPENDICULAR A LA FIBRA ESFUERZO MAXIMO	TRATAMIENTO	29.84*	2.15	
	A	53.52*	2.92	
	B	69.04*	3.32	9.18
	AB	4.99*	2.42	
CLIVAJE ESFUERZO MAXIMO	TRATAMIENTO	27.29*	2.15	
	A	85.83*	2.92	
	B	10.53*	3.32	6.45
	AB	3.60*	2.42	

REFERENCIAS:

TRAT = TRATAMIENTOS  
 A = FACTOR A  
 B = FACTOR B  
 AB = INTERACCION AB

CUADRO 17

PRUEBA MULTIPLE DE MEDIAS (TUKEY) PARA CORTE PARALELO A LA FIBRA REPRESENTANDO ESFUERZO MAXIMO.

ESPECIES			PARTES DEL TALLO		
FAC.A	MEDIAS	CAT	FAC.B	MEDIAS	CAT
4	1,083.58	a	1	1,011.36	a
2	972.43	b	2	946.73	b
3	767.50	c	3	865.42	c
1	706.17	d			

INTERACCION AB

TRAT	MEDIAS	CAT
4,1	397.54	a
4,2	356.62	ab
2,2	340.12	abc
2,1	339.87	abc
4,3	329.42	cd
2,3	292.44	cde
1,1	273.95	de
1,2	249.99	e
1,3	243.56	e
3,1	241.43	e
3,3	234.70	e
3,2	230.04	e

NOTA: LOS RESULTADOS CON LA MISMA LETRA TIENEN EL MISMO VALOR ESTADISTICO.

REFERENCIAS:

TRAT = TRATAMIENTO  
 CAT = CATEGORIAS  
 FAC = FACTOR

CUADRO 18

PRUEBA MULTIPLE DE MEDIAS (TUKEY) TENSION PERPENDICULAR A LA FIBRA REPRESENTANDO ESFUERZO MAXIMO.

ESPECIES DE BAMBU			PARTES DEL TALLO		
FAC.A	MEDIAS	CAT	FAC.B	MEDIAS	CAT
4	791.87	a	1	1,028.87	a
2	744.54	b	2	909.37	b
3	556.84	c	3	698.09	c
1	543.08	d			

INTERACCION AB

TRAT	MEDIAS	CAT
4,1	77.95	a
2,1	77.92	a
4,2	69.89	ab
2,2	62.08	bc
3,1	51.20	cd
1,1	50.15	cd
4,3	50.14	cd
1,2	48.54	de
3,2	46.85	de
2,3	46.14	de
3,3	41.16	de
1,3	37.09	e

NOTA: LOS VALORES CON LA MISMA LETRA TIENEN EL MISMO VALOR ESTADISTICO.

CUADRO 19

PRUEBA MULTIPLE DE MEDIAS CLIVAJE REPRESENTANDO EL ESFUERZO MAXIMO.

ESPECIES DE BAMBU			PARTES DEL TALLO		
FAC.A	MEDIAS	CAT	FAC.B	MEDIAS	CAT
4	269.32	a	1	302.75	a
2	208.92	b	2	284.97	b
3	193.66	c	3	272.90	c
1	188.72	c			

INTERACCION AB

TRAT	MEDIAS	CAT
4,1	98.81	a
4,2	88.93	ab
4,3	81.58	bc
2,3	71.79	c
2,1	69.06	c
2,2	68.07	c
3,1	67.86	c
1,1	67.02	c
1,2	64.70	c
3,2	63.27	c
3,3	62.53	c
1,3	57.00	c

REFERENCIAS:

TRAT = TRATAMIENTOS  
 CAT = CATEGORIAS  
 FAC = FACTOR

## IX CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES:

### IX.1. CONCLUSIONES

Las pruebas físicas demuestran el grado de madurez adecuado en las 4 especies de bambú sometidas a estudio, por las siguientes razones:

1. Las 4 especies estudiadas, presentaron resultados similares (estadísticamente iguales) en cuanto a las pruebas físicas, lo cual indica que no hubo diferencias marcadas entre ellas en el grado de madurez.
2. Se determinó una marcada diferencia en el porcentaje de humedad de cada una de las partes. Resultó tal y como lo reporta la literatura para tallos maduros, mayor porcentaje de humedad en la parte basal, disminuye en la parte media y el menor porcentaje se presenta en la parte apical.

Las pruebas mecánicas arrojan los siguientes resultados:

1. Indican que las especies más resistentes en orden de importancia resultaron ser Bambusa tulda y Bambusa arundinacea teniendo los más bajos valores Gigantochoa verticillata y Bambusa vulgaris.

2. Las pruebas de clivaje, tanto en las especies de bambú, como en las partes del tallo, son de baja resistencia respecto de los esfuerzos de tensión paralela a la fibra.
3. En cuanto a las partes del tallo, en las pruebas de tensión y compresión se manifiesta una tendencia a mejorar la calidad mientras mas cerca de la parte apical se encuentre aunque solo en la prueba de compresión paralela a la fibra con nudo en el centro de la probeta, presentó diferencias significativas. Las otras 2 pruebas realizadas resultaron estadísticamente iguales.
4. En las pruebas de tensión perpendicular a la fibra, corte y clivaje, la parte basal resulto ser la de mejor calidad y la apical presenta los valores mas bajos.

## IX.2. RECOMENDACIONES

- 1- Se recomienda someter las especies Bambusa tulda y Bambusa arundinacea, a estudios de análisis estructural para ver su comportamiento como material de construcción.
- 2- Estudiar alternativas como ensamblaje y amarre, para evitar fallas por esfuerzos de clivaje en las uniones de las piezas estructurales.
- 3- Someter estas 2 especies a otras pruebas, tales como: calidad de fibra, resistencia a la humedad, resistencia a plagas y enfermedades, etc.
- 4- Hacer un estudio sobre la distribución y propagación de estas 2 especies en las regiones adecuadas.
- 5- Promover el cultivo de estas 2 especies para que el campesino tenga materia prima útil para su vivienda.

X BIBLIOGRAFIA

1. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS. 1979. Book of ASTM Standards. Philadelphia. v.22, p.41-101.
2. CRONQUIST, A. 1981. An integrated system of classification of flowering plants. New York. p.17-18.
3. GUATEMALA. INSTITUTO GEOGRAFICO NACIONAL. 1972. Atlas nacional de Guatemala. Guatemala. p.141.
4. \_\_\_\_\_. INSTITUTO NACIONAL DE SISMOLOGIA, VULCANOLOGIA, METEOROLOGIA E HIDROLOGIA. Tarjetas de Registro de precipitación y temperaturas; años 1970-1986, San Miguel Panam.  
  
Sin publicar.
5. HIBBELER, R.C. 1984. Mecánica para ingenieros; estática. Mexico, Continental. p.223-248.
6. HIDALGO, O. 1974. Bambú; su cultivo y aplicaciones en fabricación de papel, construcción, arquitectura, ingeniería y artesanías. Colombia, Estudios Técnicos Colombianos. p.138.
7. \_\_\_\_\_. 1978. Nuevas técnicas de construcción con bambú. Colombia, Estudios Técnicos colombianos. p.136.
8. JUARES BARRERA, C.A. 1985. Estudio del crecimiento en 12 especies de bambú, bajo condiciones naturales durante época lluviosa en cuatro localidades de Guatemala. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 119 P.
9. LUCAS, C. 1974. Mil y una maravillas del bambú. Selecciones del Reader's Digest (Mex.) 68(406): 31-36.
10. MARDEN, L. 1980. Bamboo the gigant grass. National Geographic 80(4): 504-529.
11. Mc-CLURE, F.A. 1973. Genera of bamboos native to the new world. Washington, Smithsonian Institution Press. p.12-23.

12. MENENDEZ CAHUEQUE, R. 1983. Caracterización de 11 cultivos de bambú en la finca Chocóla, Suchitepequez. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 106 P.
13. MORALES JOLA, H.E. 1985. Propiedades fisico-mecánicas del bambú (6 especies recolectadas en los departamentos de: Guatemala, Santa Rosa y Jutiapa). Tesis Ing. Civil. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería. 68 P.
14. SAGASTUME ANDRADE, F. 1986. Muestreo y caracterización preliminar de las especies de la sub-familia Bambusoideae (Poaceae) en la región de la vertiente de oceano Pacifico. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 140 P.
15. SIMMONS C.; TARANO, J.M.; PINTO, J.H. 1959. Clasificación de reconocimiento de los suelos de la república de Guatemala. Trad., por Pedro Tirado Sulsona. Guatemala, José de Pineda Ibarra. 1000 P.
16. URRUTIA REVILA J.F. 1983. Propiedades fisico-mecánicas del bambú (estudio preliminar de 6 especies de la finca Chocóla, Suchitepequez). Tesis Ing. Civil. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería. 95 P.
17. VAKOMIES, J.P. 1969. Materias primas para pulpa y papel en los paices tropicales. Unasyuva (Roma) 23(3): 2-7.
18. VELA GALVEZ, L. 1977. Los bambúes. México, Instituto Nacional de Investigación Forestal. 39 P.

Vo. Bo.

*Petrucci*



A P E D I C E " A "

FIGURAS DE LAS DIFERENTES PROBETAS QUE SE  
UTILIZARON EN LOS ENSAYOS DE LABORATORIO.

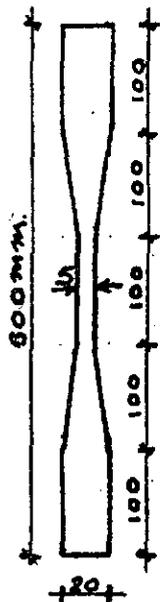


Fig. No 1.b; Tensión paralela a la fibra.

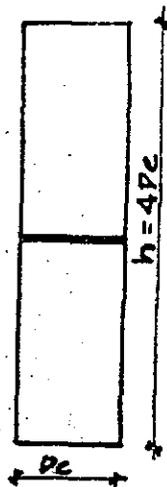


Fig. No 1.A; Compresión paralela a la fibra.

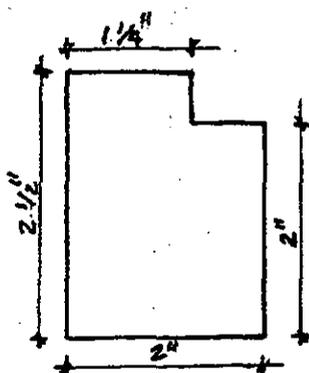


Fig. No 1.c; Corte paralelo a la fibra.

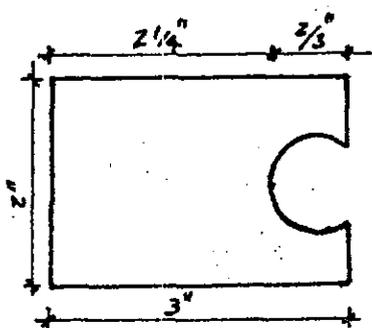


Fig. No 1.e; Clivaje

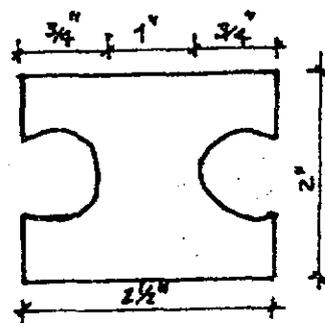


Fig. No 1.d; tensión perpendicular a la fi.

A P E N D I C E " B "

NORMAS ASTM D-143 TRADUCIDAS AL ESPAÑOL, CON  
SUS RESPECTIVAS FIGURAS. ( SOLO PARTE DOS 2)

Normas ASTM; Designación: D 143-52 (1977)  
Para la madera

Traducción al español

Introducción

El uso diario de materiales de madera para múltiples propósitos, entre otros la construcción, hace necesario una continua determinación de datos en sus propiedades mecánicas. Los muchos factores que afectan los resultados de las pruebas hacen de la técnica de las pruebas en madera, únicas en su complejidad. Debido a la experiencia por las miles de pruebas hechas se han generado métodos, tanto americanos como europeos; éstos tienden a unificar sus resultados a todo lo ancho del mundo, permitiendo un intercambio y correlación de datos y estableciendo las bases para una acumulación de información fundamental en los materiales de madera.

Estos métodos toman en cuenta el tamaño y proporción de los especímenes de prueba y rango de carga que puede influir en los resultados.

La norma se divide en dos partes, dependiendo del diámetro del árbol en estudio; los árboles que son menores de 30 centímetros de diámetro se refieren a la segunda parte. Básicamente las diferencias se dan en las dimensiones de los especímenes de prueba, en la parte ejemplo: en la prueba compresión paralela a la fibra, el espécimen de prueba en la

parte I tiene 2" X 2" X 8" (5 X 5 X 20cms) y el de la parte II, 1" X 1" X 4" (2.5 X 2.5 X 10cms).

La traducción seguirá orientada hacia la parte II, por estar todas las muestras de bambú dentro de este rango, es decir, con diámetros menores de 30 centímetros.

Las medidas tienen que ser hechas a no menos de +/- 0.3% de exactitud; excepto en aquellas en que las medidas sean menores de 0.01 pulg. (0.2 mms). Se exceptúan medidas de contracción radial y tangencial, en que las medidas deben ser hasta de 0.001 pulgs. (0.02 mm.).

#### 1. Compresión paralela a la fibra:

- Tamaño: 1" X 1" X 4" (5 X 5 X 20cms)
- Fin de las caras paralelas: tener cuidado que sean paralelas y perpendiculares a la fibra.
- Velocidad de la prueba: La carga debe de ser aplicada continuamente a un rango de movimiento de 0.003 pulg/min., de la cruceta movable del largo del espécimen por minuto (variación permitida 25%).
- Curva de carga-compresión:
  - a- Debe obtenerse de la parte central de una prenda de largo de 2 pulgadas y preferiblemente de todos los especímenes. Las lecturas de carga-compresión deben ser continuas, hasta que se pase el límite proporcional, como es indicado por la curva.
  - b- Las deformaciones deben medirse hasta 0.0001" (0.002mm).
- Posición de las pruebas de falla: Para tener resultados satisfactorios es necesario que la falla se produzca en el cuerpo del espécimen.
- Descripción de las fallas de compresión: Se clasifican de acuerdo a la posición de la fractura en la superficie (ver fig 11). Si aparecen dos o más se deben describir en su orden de aparición.

- Peso y contenido de humedad: el espécimen debe ser medido inmediatamente antes y después del test.

## 2- Tensión paralela a la fibra:

- Tamaño del espécimen: ver fig.21

- Procedimiento:

- 1- Fijar la muestra en las abrazaderas; tomar carga-deformación (curva) para un espécimen de 2" ó 5 cms. de largo en el centro, continúe las lecturas de carga-deformación hasta que pase el límite proporcional.
- 2- Lea deformaciones a 0.0001 pulg. (0.002 mm.)
- 3- La figura 22 ilustra los dispositivos de agarre y el tipo de los extensómetros que han resultado satisfactorios.

- Velocidad de la prueba: la prueba debe ser aplicada continuamente a un ritmo de movimiento de 0.05"/min. (1mm./min).

- Croquis de la prueba: la falla debe ser trazada en la hoja de datos.

- Contenido de humedad: una sección de, mas o menos, 7.5 cms. de largo (3 plg.) debe cortarse de la sección reducida cerca de la falla.

## 3. Tensión perpendicular a la fibra: (opcional)

- Tamaño: ver fig. 23.

- Procedimiento: fijar especímenes en abrazaderas como en la figura 24 solo observe la máxima carga.

- Velocidad: Idem. 0.10 pulg./min. (2.5mm./min).

- croquis de falla: Idem.

- Contenido de humedad: una de las piezas que quedan después de la falla o una sección dividida a lo largo de la carga de falla puede ser usado como espécimen de humedad.

## 4. Clivaje:

- Tamaño: ver fig. 18

- Procedimiento: como se agarra (ver fig. 19 y 20) todo lo demas es igual a la tensión perpendicular.

5. Corte paralelo a la fibra:

- Tamaño de especimen: 2" X 2" X 2.5" (5 X 5 X 6.3) ver fig. 16.
- Procedimiento: use un dispositivo igual al que se muestra en la figura No. 17 dejando un espacio de 1/8" entre el plano a lo largo del cual ocurre la falla y la parte de adentro de la cara que lo detiene. Observe solo la máxima carga. 0.024"/min. (0.6mm./min.).
- Prueba de la falla: trazarla en la hoja de datos (ver fig A-9); en todos los casos que la falla, en la base del especimen se extienda hacia la cara soporte, la prueba debe ser anulada.
- Contenido de humedad: la porción de la pieza de prueba que es cortada puede ser usada como especimen para humedad.

6. Contracción tangencial y radial:

Deben pesarse los especimenes al momento del corte, y secados al horno. La figura 29 ilustra el método de hacer las medidas de contracción.



**Crushing**

This term shall be used when the plane of rupture is approximately horizontal.



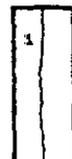
**Wedge Split**

The direction of the split, that is whether radial or tangential, shall be noted.



**Shearing**

This term shall be used when the plane rupture makes an angle of more than 45 deg with the top of the specimen.



**Splitting**

This type of failure usually occurs in specimens having internal defects prior to test and shall be the basis for culling the specimen.



**Compression and Shearing Parallel to Grain**

This failure usually occurs in cross-grained pieces and shall be the basis for culling the specimen.



**Brooming or End-Rolling**

This type of failure is usually associated with either an excess moisture content at the ends of the specimen, improper cutting of the specimen, or both. This is not an acceptable type of failure and usually is associated with a reduced load. Consideration should be given to remedial conditions when this type of failure is observed.

FIG. 11 Types of Failures in Compression.

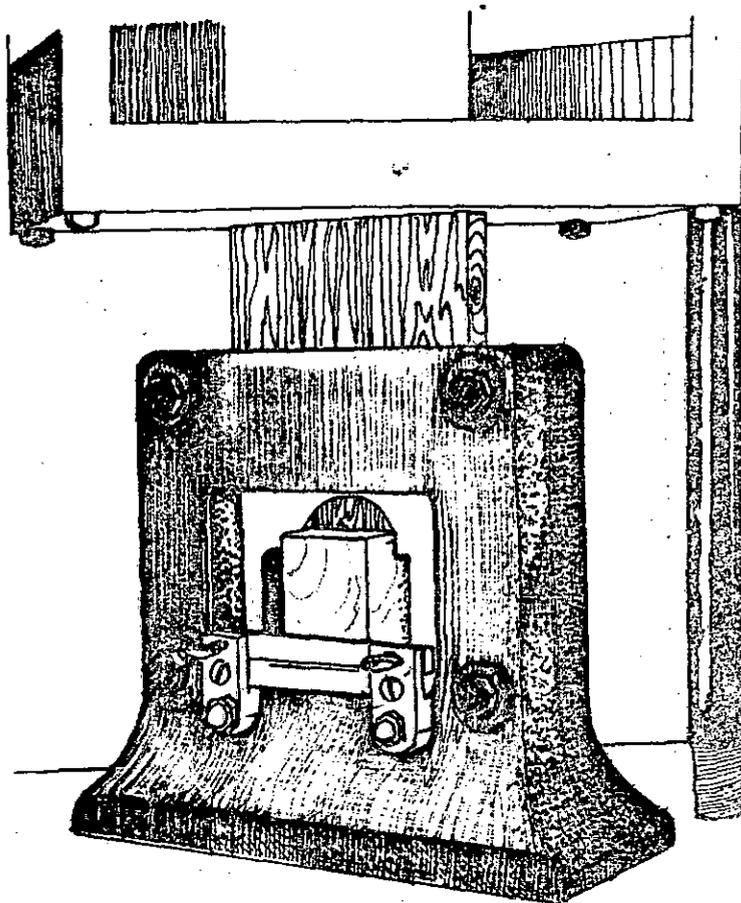
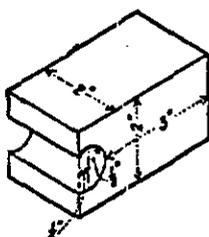


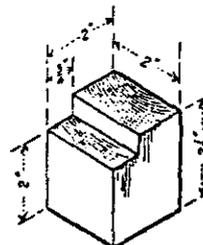
FIG. 17 Shear-Parallel-to-Grain Test Assembly Showing Method of Load Application Through Adjustable Seat to Provide Uniform Lateral Distribution of Load.



Metric Equivalents

in.	1/4	1/2	2	3
cm	0.6	1.3	5	7.6

FIG. 18 Cleavage Test Specimen.



Metric Equivalents

in.	1/4	2	2 1/2
cm	2	5	6

FIG. 16 Shear-Parallel-to-Grain Test Specimen.

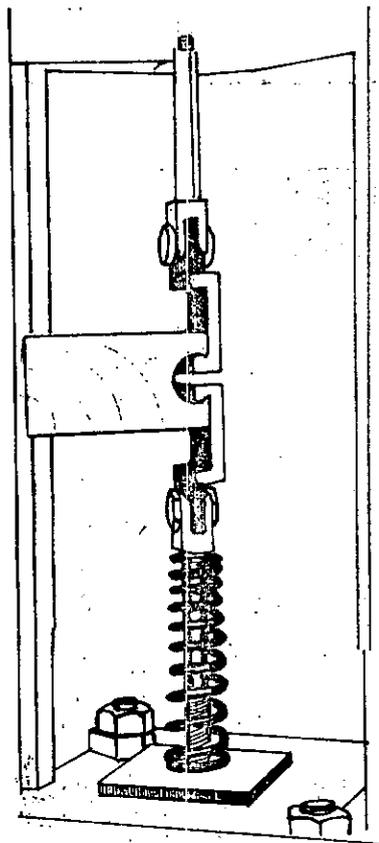
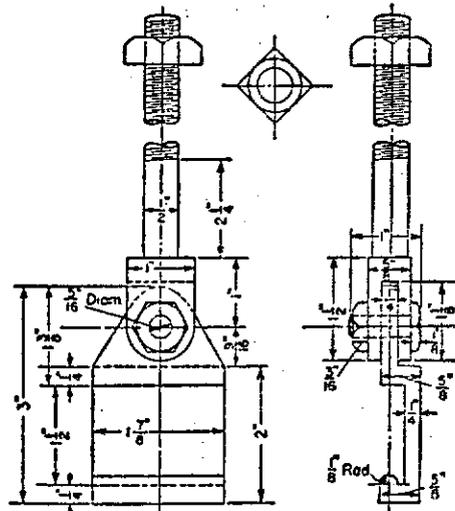


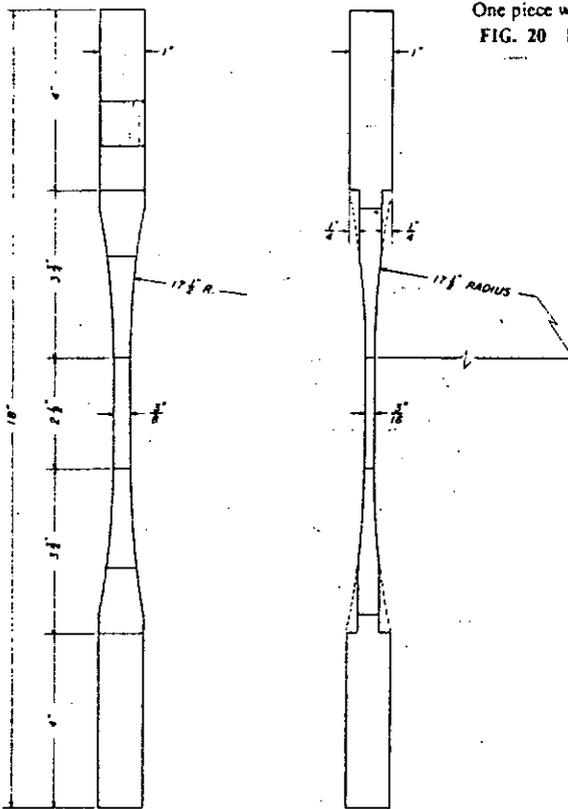
FIG. 19 Cleavage Test Assembly.



Note—Two pieces included in one set:  
One piece with shank 8" long.  
One piece with shank 5 1/2" long.

Metric Equivalents

in.	mm	in.	mm
1/16	3	1 1/2	34
3/16	4.5	1 1/2	38
1/4	6	1 7/8	46
5/16	7.5	2	51
1/2	12.7	2 1/4	57
5/16	13.5	3	76
3/8	15	5 1/2	140
1	25.4	8	203
1 1/8	28		



Note—Two pieces included in one set:  
One piece with shank 8" long.  
One piece with shank 5 1/2" long.

FIG. 20 Design Details of Grips for Cleavage Test.

Metric Equivalents

in.	3/16	1/4	3/8	1	2 1/2	3 3/4	4	17 1/2	18
cm	0.45	0.6	0.9	2.5	6	9.5	10	44	45.7

FIG. 21 Tensile-Parallel-to-Grain Test Specimen.

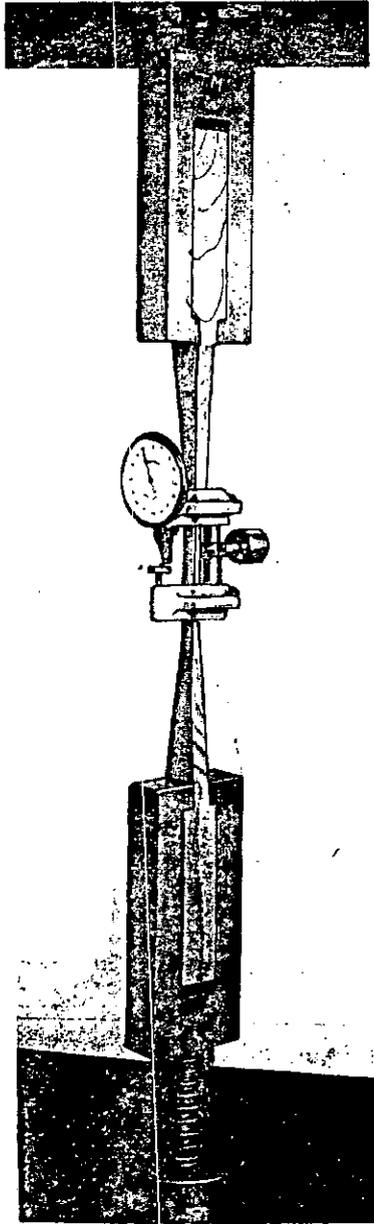
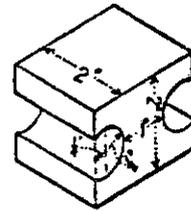


FIG. 22 Tension-Parallel-to-Grain Test Assembly Showing Grips and Use of 2-in. (5-cm) Gage Length Extensometer for Measuring Deformation.



Metric Equivalents

in	1/4	1/2	1	2
cm	0.6	1.3	2.5	5

FIG. 23 Tension-Perpendicular-to-Grain Test Specimen.

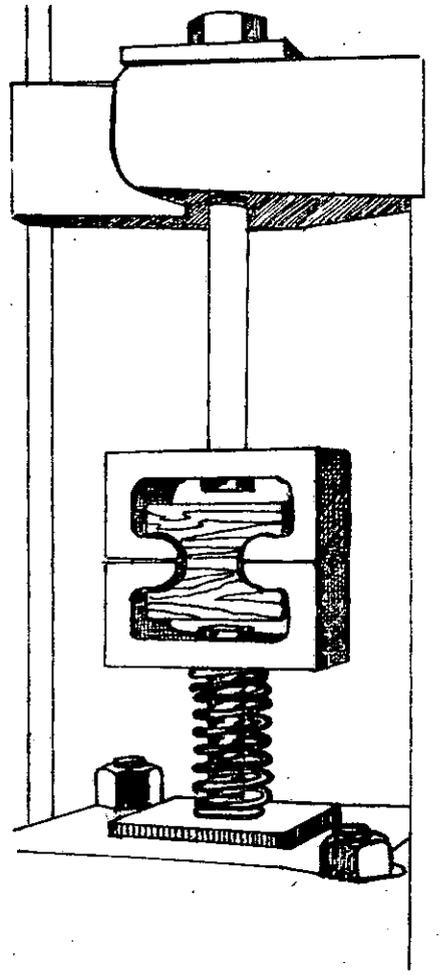


FIG. 24 Tension-Perpendicular-to-Grain Test Assembly.



A P E N D I C E "C"

CUADROS DE VALORES PROMEDIO DE LAS PRUEBAS  
FISICO-MECANICAS DE LAS ESPECIES EN ESTU-  
DIO Y LAS PARTES DEL TALLO DE LAS MISMAS

CUADRO 20

VALORES PROMEDIOS DE LAS PRUEBAS FISICAS:  
CONTENIDO DE HUMEDAD, CONTRACCION, PESO  
ESPECIFICO, DE LAS ESPECIES EN ESTUDIO Y  
LAS PARTES DEL TALLO DE LAS MISMAS.

		CONT. HUMEDAD		CONTRACCION			PESO ESPECI-	FICO
		AMDC	AMDE	PALF	PELF	ESP.P.		
A1	B1	32.28	16.78	0.01	0.75	0.47	0.89	0.35
	B2	23.36	16.17	0.00	0.15	0.18	0.30	0.32
	B3	17.19	15.67	0.00	0.05	0.04	0.17	0.33
A2	B1	38.68	17.60	0.01	0.73	0.63	0.76	0.34
	B2	26.47	17.59	0.00	0.46	0.28	0.44	0.34
	B3	18.69	17.14	0.00	0.23	0.10	0.32	0.33
A3	B1	36.59	17.14	0.00	0.38	0.45	0.76	0.32
	B2	23.15	17.28	0.01	0.42	0.14	0.51	0.35
	B3	18.00	15.51	0.00	0.07	0.09	0.42	0.34
A4	B1	35.40	17.16	0.02	0.63	0.47	0.62	1.38
	B2	24.59	16.58	0.00	0.37	0.06	0.52	1.07
	B3	16.17	14.88	0.01	0.07	0.02	0.49	0.89

REFERENCIAS:

- |  |                   |
|--|-------------------|
| A1 = <u>Bambusa vulgaris</u> var. <u>Striata</u> . | B1 = PARTE BASAL  |
| A2 = <u>Bambusa arundinacea</u> .                  | B2 = PARTE MEDIA  |
| A3 = <u>Gigantochloa verticillata</u> .            | B3 = PARTE APICAL |
| A4 = <u>Bambusa tulda</u> .                        |                   |

AMDC = AL MOMENTO DEL CORTE.  
AMDE = AL MOMENTO DE LOS ENSAYOS.  
PALF = PARALELO A LA FIBRA.  
PELF = PERPENDICULAR A LA FIBRA.  
ESP.P. = ESPESOR DE PARED.  
DIAM. = DIAMETRO.  
CONT. = CONTENIDO.

CUADRO 21

VALORES PROMEDIOS DE LAS PRUEBAS MECANICAS:  
 TENSION PARALELA A LA FIBRA CON NUDO EN EL  
 CENTRO DE LA PROBETA, COMPRESION PARALELA A  
 LA FIBRA CON Y SIN NUDO, TENSION PERPENDICULAR  
 A LA FIBRA, CORTE PARALELO A LA FIBRA Y CLIVAJE

		TPAF	CPAF		CORTE PA-	TENSION		
		C.N.	C.N.	S.N.	RALELO A	PERP. A	CLIVAJE	
					LA FIBRA.	LA FIBRA.		
A1	B1	1505.70	539.08	510.45	273.95	50.15	67.02	
	B2	1456.25	567.18	480.80	249.99	48.54	64.70	
	B3	1566.40	577.10	554.35	243.56	37.09	57.00	
A2	B1	2019.05	816.04	775.22	339.87	77.92	69.06	
	B2	1951.48	858.61	891.11	340.12	62.08	68.07	
	B3	1912.50	874.54	777.24	292.44	46.14	71.79	
A3	B1	1531.91	633.46	581.56	241.43	51.20	67.36	
	B2	1513.28	653.63	588.49	230.04	46.85	63.27	
	B3	1612.35	733.49	657.92	234.70	41.15	62.53	
A4	B1	2143.95	882.74	951.50	397.54	77.95	58.81	
	B2	2026.84	929.21	950.83	356.62	69.89	88.93	
	B3	2265.48	905.93	988.08	329.42	50.14	61.56	

REFERENCIAS:

A1 = Bambusa vulgaris var. striata.      B1 = PARTE BASAL  
 A2 = Bambusa arundinacea.              B2 = PARTE MEDIA  
 A3 = Gigantochloa verticillata.        B3 = PARTE APICAL  
 A4 = Bambusa tulda.

TPAF = TENSION PARALELA A LA FIBRA.  
 CPAF = COMPRESION PARALELA A LA FIBRA.  
 C.N. = CON NUDO.  
 S.N. = SIN NUDO.  
 PERP. = PERPENDICULAR.



FACULTAD DE AGRONOMIA  
GUATEMALA, C. A.

24/X/1989

"IMPRIMASE"



*Unibal B. Martinez M.*  
ING. AGR. UNIBAL B. MARTINEZ M.  
DECANO

