



**Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Química**

**TRATAMIENTO QUÍMICO DE CUATRO ESPECIES DE BAMBÚ
PARA SU PRESERVACIÓN , UTILIZANDO ACIDO BÓRICO-
BÓRAX-DICROMATO DE SODIO POR EL MÉTODO DE
INMERSIÓN Y BAÑO CALIENTE-FRÍO**

Elia Melina Monroy García

Asesorado por: Ing. Telma Maricela Cano Morales

**Guatemala, octubre de 2006
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**



FACULTAD DE INGENIERIA

**TRATAMIENTO QUÍMICO DE CUATRO ESPECIES DE BAMBÚ
PARA SU PRESERVACIÓN , UTILIZANDO ACIDO BÓRICO-
BÓRAX-DICROMATO DE SODIO POR EL MÉTODO DE
INMERSIÓN Y BAÑO CALIENTE-FRÍO**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR:

ELIA MELINA MONROY GARCÍA

ASESORADO POR: INGA. TELMA MARICELA CANO MORALES

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERA QUÍMICA

GUATEMALA, OCTUBRE DE 2006
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO:	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
VOCAL I:	Inga. Glenda Patricia García Soria
VOCAL II:	Lic. Amahán Sánchez Álvarez
VOCAL III:	Ing. Julio David Galicia Celada
VOCAL IV:	Br. Kenneth Issur Estrada Ruiz
VOCAL V:	Br. Elisa Yazminda Vides Leiva
SECRETARIA:	Inga. Marcia Ivonne Veliz Vargas

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO:	Ing. Sydney Alexander Samuels Milson
EXAMINADORA:	Inga. Teresa Lisely De León Arana
EXAMINADOR:	Ing. Williams Guillermo Alvarez Mejía
EXAMINADOR:	Ing. Manuel Gilberto Galván Estrada
SECRETARIO:	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**TRATAMIENTO QUÍMICO DE CUATRO ESPECIES DE BAMBÚ
PARA SU PRESERVACIÓN , UTILIZANDO ACIDO BÓRICO-
BÓRAX-DICROMATO DE SODIO POR EL MÉTODO DE
INMERSIÓN Y BAÑO CALIENTE-FRÍO,**

tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química, con fecha agosto de 2006.

ELIA MELINA MONROY GARCÍA

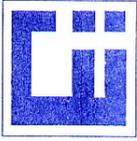
HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

TRATAMIENTO QUÍMICO DE CUATRO ESPECIES DE BAMBÚ PARA SU PRESERVACIÓN , UTILIZANDO ACIDO BÓRICO- BÓRAX-DICROMATO DE SODIO POR EL MÉTODO DE INMERSIÓN Y BAÑO CALIENTE-FRÍO,

tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química, con fecha agosto de 2006.


ELIA MELINA MONROY GARCÍA



**CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**



Guatemala, 22 de agosto de 2006

Ingeniero
Williams Guillermo Alvarez Mejía
Director
Escuela de Ingeniería Química

Estimado Ingeniero:

El motivo de la presente es para informarle que he revisado el informe final del trabajo de graduación de la estudiante Elia Melina Monroy García, con carné numero 9516072, titulado "Tratamiento químico de cuatro especies de bambú para su preservación, utilizando ácido bórico-bórax-dicromato de sodio por el método de inmersión y baño caliente-frío".

Habiendo encontrado el informe final del trabajo de graduación satisfactorio, lo remito a su consideración para proceder a la respectiva revisión.

Agradeciendo la atención que se sirva dar a la presente, me suscribo de usted.

Atentamente,


Inga. Telma Maricela Cano Morales
Colegiado 433
Jefa de la Sección de Química Industrial
Asesora del trabajo de Graduación



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

"Todo por ti Carolingia Mía"
Dr. Carlos Martínez Durán
2006: Centenario de su Nacimiento

Guatemala, 2 de octubre de 2,006.

Ingeniero
Williams Guillermo Álvarez Mejía
Director Escuela Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería
Presente.

Estimado Ingeniero Álvarez.

Informo a usted que he revisado el Informe final del trabajo de Graduación titulado:
"TRATAMIENTO QUÍMICO DE CUATRO ESPECIES DE BAMBÚ PARA SU PRESERVACIÓN, UTILIZANDO ACIDO BÓRICO-BÓRAX-DICROMATO DE SODIO POR EL MÉTODO DE INMERSIÓN Y BAÑO CALIENTE-FRÍO" de la estudiante universitaria **Elia Melina Monroy García**, carné No. **95-16072**.

Luego de la revisión efectuada el suscrito considera que la propuesta llena los requisitos para su aprobación.

Atentamente,

ID Y ENSEÑAD A TODOS

Ing. César Alfonso García Guerra
REVISOR



/gea
c.c archivo

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

“Todo por ti mi Carolingia Mía “
Dr. Carlos Martínez Duran
2006: Centenario de su nacimiento

El Director de la Escuela de Ingeniería Química Ing. Williams Guillermo Álvarez Mejía M. Sc. Después de conocer el dictamen del Asesor con el Visto Bueno del Jefe del Departamento al trabajo de Graduación de la estudiante **Elia Melina Monroy García** titulado: **“TRATAMIENTO QUÍMICO DE CUATRO ESPECIES DE BAMBÚ PARA SU PRESERVACIÓN, UTILIZANDO ACIDO BÓRICO-BÓRAX-DICROMATO DE SODIO POR EL MÉTODO DE INMERSIÓN Y BAÑO CALIENTE-FRIO”** procede a la autorización del mismo.

Ing. Williams Guillermo Álvarez Mejía
DIRECTOR ESCUELA INGENIERIA QUÍMICA



Guatemala, octubre de 2,006

ACTO QUE DEDICO A:

- Dios:** Eterno Padre Celestial y Jesucristo, por iluminarme con El Espíritu Santo en esta parte tan importante de mi vida terrenal.
- Mi madre:** Hermelinda García Herrarte como una pequeña compensación por tus sacrificios y abnegación.
- Mi padre:** Eleodoro Monroy Gonzales, por tu motivarme a buscar siempre la excelencia.
- Mi hermana:** Milvia Regina, por el amor que nos une al haber crecido teniéndonos la una a la otra; gracias porque siempre me brindaste tu apoyo.
- Un amigo especial:** José Luis García, gracias por todo el apoyo incondicional.
- Mis hijos:** Josué Jared, Daniel Mahonri, mis amados angelitos. Que este grado académico que hoy obtengo sea tan solo un peldaño en sus vidas futuras quiero que siempre recuerden que "...Si hay algo virtuoso, o bello, o de buena reputación, o digno de alabanza, a esto aspiramos" Art. De Fé No. 13.

- Mi esposo:** Douglas Roberto Ovando Granados, a ti mi amor que eres el centro de mi universo, mi punto de soporte, gracias por ser parte de mí.
- Mi abuelita:** Catalina Herrarte Aguilar, por adoptarme como una hija más al demostrarme tu amor siempre.
- Mi abuelita:** Regina Gonzales Peralta Q.E.P.D., gracias porque siempre confiaste en mí.
- Mis abuelos:** Rodrigo Monroy y German García Q.E.P.D. Para que puedan tener gozo en su simiente.
- Mi familia en general:** Para que esto sea solo el inicio de una gran cosecha de triunfos académicos en nuestra familia. Con cariño especial a Claudia Monroy.
- Mis amigos:** Alejandra, Rebeca, Carmen, Maco, Mauricio, Alejandro, Fito, Williams, Henry y Ana. Con todo mi respeto y cariño recordando aquellos hermosos tiempos, me alegro de tenerlos en mi vida.
- Mi asesora:** Inga. Telma Maricela Cano Morales, mi gratitud por su apoyo intelectual, moral y desinteresado que me lleva a la culminación de ésta meta.

Mis colaboradores:

Laboratorio de Química industrial de la Facultad de Ingeniería y Laboratorio de Microscopía de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala, mi agradecimiento por los recursos científicos proporcionados para llevar a cabo ésta investigación.

La Universidad de San

Carlos de Guatemala:

Gracias por cobijarme bajo tus enseñanzas

Y a cada uno de los que
me apoyaron en este recorrido.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
LISTA DE SÍMBOLOS.....	VII
GLOSARIO	IX
RESUMEN	XIII
HIPÓTESIS	XV
OBJETIVOS	XVII
INTRODUCCIÓN	XIX
1. EL BAMBÚ	
1.1 Origen y distribución geográfica.....	1
1.2 Ecología	2
1.2.1 Precitación pluvial	2
1.2.2 Temperatura	2
1.2.3 Humedad relativa	2
1.2.4 Altitud	3
1.2.5 Suelos	3
1.3 Clasificación	3
1.4 Morfología	4
1.4.1 Rizoma	4
1.4.1.1 Rizoma paquiformo	6
1.4.1.2 Rizoma leptiformo	6
1.4.1.3 Rizoma anfipodial	7
1.4.2 Culmo	7
1.4.2.1 Anatomía del culmo	8
1.4.3 Yema	10

1.4.4	Complemento de ramas	10
1.4.5	Hoja caulinar	11
1.4.6	Follaje	11
1.5	Floraciòn	12
1.6	Fruto	13
1.7	Hàbito	13
1.8	Usos	14
1.8.1	Alimento	14
1.8.2	Pulpa y papel	15
1.8.3	Medicinal	15
1.8.4	Muebles, artesanías e instrumentos varios.....	15
1.8.5	Construcción	16
1.8.6	Ecología	16
2.	INTRODUCCIÒN DEL BAMBÚ EN GUATEMALA	17
3.	DESCRIPCIÒN DE LAS ESPECIES SELECCIONADAS	
3.1	Gigantochloa vertisillata	19
3.2	Gigantochloa apus	19
3.3	Dendrocalamus asper	19
3.4	Guadua angustifolia	20
4.	LA MADERA, AGENTES DESTRUCTORES Y SU PRESERVACIÒN	
4.1	Agentes destructores de origen animal	21
4.1.1	Coleópteros	21
4.1.2	Termitas.....	22
4.1.3	Hormigas carpinteras	22
4.1.4	Moluscos	22
4.1.5	Crustàceos	22
4.2	Agentes destructores biológicos	23

4.2.1	Mohos	23
4.2.2	Hongos cromógenos	23
4.2.3	Hongos xilófagos.....	23
4.3	Desgaste mecánico	25
4.4	Destrucción por fuego	25
4.5	Preservación de la madera.....	25
4.5.1	Durabilidad	25
4.5.2	Propiedades de un preservante.....	26
4.5.3	Tipos de preservante.....	27
4.5.3.1	Aceites bituminosos	27
4.5.3.2	Preservantes superpuestos	28
4.5.3.3	Preservantes a base de disolventes orgánicos	29
4.5.4	Métodos de preservación	29
4.5.4.1	Tratamientos sin presión.....	29
4.5.4.1.1	Brocha, rodillos y aspersion	30
4.5.4.1.2	Inmersión	30
4.5.4.1.3	Baño caliente y frío	30
4.5.4.2	Tratamientos por difusión.....	30
4.5.4.3	Tratamientos por presión	31
4.5.4.3.1	Célula vacía	31
4.5.4.3.2	Célula llena	32
5.	PLAGAS Y ENFERMEDADES DEL BAMBÚ	
5.1	Plagas	33
5.2	Enfermedades.....	34
6.	PRESERVACIÓN DE BAMBÚ	37
6.1	Métodos tradicionales.....	38
6.1.1	Curado.....	38
6.1.2	Ahumado	38
6.1.3	Inmersión	39

6.2	Secado	39
6.3	Métodos químicos	40
6.3.1	Método del tanque abierto	40
6.3.2	Método Bucherie	40
6.3.3	Tratamiento con presión	41
7.	METODOLOGÍA	43
7.1	Ubicación	43
7.2	Recursos humanos	44
7.3	Recursos físicos	44
7.4	Equipo	45
7.5	Metodología de secado y preservación	45
7.6	Retención	47
7.7	Penetración... ..	47
7.7.1	Test colorimétrico de cúrcuma	47
7.7.2	Evaluación microscópica.....	47
7.8	Diseño experimental.....	48
7.9	Análisis estadístico.....	49
8.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS	51
	CONCLUSIONES	59
	RECOMENDACIONES	61
	BIBLIOGRAFÍA	63
	APÉNDICE	65

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1	Estructura del bambú	5
2	Anatomía microscópica del culmo	9
3	Macollas de <i>Gigantochloa verticillata</i>	43
4	Vista exterior de secador solar de la Facultad de Agronomía.....	43
5	Culmos de las diferentes especies a evaluar	44
6	Muestras de bambú dentro de secador solar	45
7	Tratamiento por inmersión durante 48 hrs	46
8	Tratamiento por baño caliente-baño frío.....	46
9	Concentración alta de preservante	53
10	Concentración mediana de preservante	54
11	Concentración baja de preservante	56
12	Preservante en parénquima de <i>Gigantochloa verticillata</i>	56
13	Preservante adherido a paredes celulares en <i>G. angustifolia</i>	57
14	Epidermis interna en <i>G. angustifolia</i>	57
15	Cerca de epidermis externa en <i>G. Apus</i>	58
16	Bambú sin preservar, coloración natural con aumento de 40X ...	67
17	Bambú sin preservar, coloración natural con aumento de 20X ...	68
18	Parénquima de bambú sin preservar con aumento de 10X	68

TABLAS

I	Análisis estadístico a realizar	49
II	Porcentaje de retención de preservante	51
III	Penetración en cortes transversales de bambú	52
IV	Detección microscópica de preservante en las células de bambú para el tratamiento de inmersión simple.....	55
V	Detección de preservantes en las células de bambú para el tratamiento por inmersión combinada.....	55
VI	Retención en el tratamiento de inmersión simple.....	65
VII	Retención en el tratamiento de inmersión combinada.....	65
VIII	Detección de preservante en las células de bambú por tratamiento de inmersión simple.....	66
IX	Detección de preservante en las células de bambú por tratamiento de inmersión combinada.....	66
X	Análisis de varianza para la penetración del preservante	67
XI	Costos.....	69

LISTA DE SÍMBOLOS

°C	Grado centígrado
cm	Centímetros
g	Gramos
mm	Milímetros
% w/w	Porcentaje en peso
h	Horas
a.m.	Antes del meridiano
mL	mililitros

GLOSARIO

Anova	Análisis de varianza, es una técnica en que la variación total de un conjunto de datos se divide en dos o más componentes y cada uno de ellos se asocia con una fuente específica de variación.
Ciclo de impregnación	Comprende todas aquellas operaciones destinadas a introducir el preservante en la madera
Culmo	Eje aereo segmentado del bambú que emerge de la tierra y lo comprenden el cuello, los nudos y los entrenudos.
Durabilidad	Mayor o menor capacidad de las especies maderables para mantener sus propiedades por cierto tiempo, cuando queda expuesta a la acción de los agentes de destrucción, en las condiciones normales de servicio.
Entrenudo	Porción del culmo comprendida entre dos nudos, en la mayoría de especies son huecos.
Fibras de bambú	Son células muertas cuyo espacio ha sido ocupado por lignina y celulosa. Su función es proporcionar dureza a la planta de bambú ya que están compuestos en un 40 a 50 % de tales fibras.

Macolla	Conjunto de plantas de bambú de una misma especie.
Madera preservada	Madera que ha sido sometida satisfactoriamente a un proceso de preservación.
Nudo	Puntos de unión de los entrenudos, normalmente ésta parte no es hueca en las especies.
Parénquima	Constituye la base del tejido celular conteniendo almidón y son en su mayoría verticalmente elongadas.
Preservación	Técnica para proteger y prolongar la vida útil de la madera, mediante la aplicación de sustancias químicas, que impiden su destrucción por agentes biológicos.
Preservante	Sustancia química que puede ser aplicada a la madera para evitar su destrucción por organismos y que además reúne ciertos requisitos de toxicidad, permanencia, estabilidad, viscosidad y no debe manchar la madera para permitir luego su pintado o acabado final.
Pudrición	Descomposición que sufre la madera por acción de organismos biológicos.

Toxicidad

Capacidad que tienen ciertas sustancias para destruir un organismo biológico.

Xilófago

Organismo que se alimenta de la madera, básicamente de celulosa y lignina.

RESUMEN

El bambú es uno de los recursos renovables que posee muchas ventajas sobre la madera, especialmente en el área de la construcción y la artesanía. Su crecimiento rápido comparado con un árbol maderable, las propiedades fisicomecánicas que posee además de existir con más de 1000 especies en todo el mundo lo califican como una excelente opción, incluso en la construcción de puentes, viviendas, muebles, entre otros. Sin embargo, existe la necesidad de preservar el bambú para agregarle valor y calidad a sus productos.

Con el objetivo de generar propuestas económicas y accesibles, se realiza a nivel de laboratorio el tratamiento químico de diversas especies, enfocado a la penetración del preservante en las células de parénquima.

Para que las especies *Gigantochloa apus*, *Gigantochloa verticillata*, *Dendrocalamus Asper* y *Guadua angustifolia* fueran receptivas al líquido preservante se inició con el secado de las muestras. La impregnación con Acido bórico-Bórax-Dicromato de sodio se realizó por el método de inmersión a través de la colocación de las muestras en la solución preservante durante 48 horas; y también por el método de inmersión en baño caliente-baño frío, en el cual primero se calienta el preservante y las muestras de bambú en un recipiente por un tiempo de 6 horas a una temperatura de 60 °C; posteriormente las muestras fueron trasladadas a un segundo recipiente con preservante a temperatura ambiente promedio de 25 °C, dejándolas reposar durante 18 horas.

La investigación tuvo por objeto, evaluar la penetración del preservante en el tejido celular, utilizando un análisis estadístico de diseño de bloques al azar con arreglo factorial; además, se observaron microscópicamente cada una de las especies para ambos tratamientos.

Según los resultados obtenidos se determinó que:

- a) No existe diferencia significativa, con un 5% de probabilidad de error entre los valores de penetración del preservante y las especies de bambú tratadas igual que con los tratamientos utilizados.
- b) La evaluación microscópica de la penetración del preservante indica que el tratamiento de baño caliente-baño frío tiene los mejores resultados en concentraciones altas de preservante que se localizó en el parénquima de cada especie.
- c) La especie *Dendrocalamus Asper* alcanzó el mejor cociente entre grosor de la muestra y penetración de preservante para ambos tratamientos: tanto del tratamiento de inmersión simple como de inmersión combinada además de una concentración mediana según la evaluación microscópica.

HIPÓTESIS

Hipótesis General

Existe diferencia significativa a la penetración de preservante en el sistema bambú-tratamiento como función de la especie y del tratamiento utilizado.

Hipótesis estadística

Sí existe diferencia significativa entre la penetración del preservante y los tratamientos utilizados.

Hipótesis nula ¹: Ho

No existe diferencia significativa entre la penetración del preservante y los tratamientos utilizados.

Hipótesis alterna ¹: Ha

Sí existe diferencia entre la penetración del preservante y los tratamientos utilizados

Hipótesis nula ²: Ho

No existe diferencia significativa entre la penetración del preservante y las especies preservadas.

Hipótesis alterna ²: Ha

Sí existe diferencia entre la penetración del preservante y las especies preservadas.

OBJETIVOS

- **General**

Comparar la respuesta de las especies de bambú: *Gigantochloa apus*, *Gigantochloa verticillata*, *Dendrocalamus Asper* y *Guadua angustifolia* al ser tratadas para su preservación por el método de inmersión y baño caliente-baño frío en solución preservante de Acido bórico-Bórax-Dicromato de sodio.

- **Específicos**

1. Determinar la retención del preservante para cada uno de los tratamientos aplicados y para cada especie tratada.
2. Obtener los valores de penetración del preservante dependiendo del tipo de especie.
3. Establecer los valores de penetración del preservante dependiendo del tratamiento utilizado.
4. Encontrar si existe relación entre el tratamiento-especie de bambú, que produzca mejores resultados en los valores de penetración.
5. Evaluar microscópicamente la penetración del preservante para cada uno de los tratamientos y para cada especie en el ensayo.

INTRODUCCIÓN

El bambú se considera como un recurso natural renovable de excelencia, sus múltiples usos se insertaron en la vida cotidiana de otros países (ejemplos: Japón, China como fuente de energía, vivienda, puentes, establos, galpones, cercas, artesanías, etc. Sin duda, el bambú es una gran opción para el desarrollo económico y social en nuestro país.

Hoy se le reconocen, técnica y científicamente, muchas cualidades, como oferta ambiental, potencial agroindustrial, etc. Su importancia y utilidad lo convierten en el mejor aliado de procesos para el desarrollo humano sostenible, que se relacionan con: Ecología, conservacionismo, economía, cultura, paisaje, artesanía, arquitectura, agroindustria.

Sin embargo, la preservación juega un papel muy importante para que su versatilidad sea aprovechada de una mejor manera. Por ello, es presentado el ensayo a nivel de laboratorio donde cuatro especies de bambú: *Gigantochloa apus*, *Gigantochloa verticillata*, *Dendrocalamus Asper* y *Guadua angustifolia* que son sometidas a preservación por los métodos de inmersión y baño caliente-baño frío con Acido bórico-Bórax-Dicromato de sodio, para su evaluación de la penetración cuantitativa por medio del análisis estadístico; y, su evaluación de la penetración del preservante cualitativamente por medio del análisis microscópico de las células que conforman el culmo.

1. EL BAMBÚ

Los bambúes son un elemento común en el continente americano, ha sido la planta más extensamente utilizada en Asia en el transcurso de los siglos, y actualmente con la ayuda de los avances tecnológicos se han mejorado los usos que se le dan al mismo.

Por su alta resistencia a la tensión, disponibilidad, fácil de trabajar, relativo bajo costo y una buena relación entre resistencia y peso; lo hacen apto como sustituto de otros materiales y métodos de construcción. Otros usos similares los comprenden las artesanías y mueblería.

Los bambúes son plantas con una gran diversidad morfológica; las hay de pocos centímetros y tallos herbáceos hasta bambúes de 30 metros de altura y tallos leñosos de 30 cm. de diámetro, tales dimensiones pueden alcanzarlas en un periodo de dos meses y son capaces de llegar a la madurez en un año; por lo que se les denomina plantas de rápido crecimiento. Debido a su naturaleza especializada y a su floración infrecuente, se le ha dado mucha importancia a estructuras morfológicas.

1.1 Origen y distribución geográfica

Su historia se remonta al comienzo de la civilización en el Asia, todos los continentes a excepción de Europa y la región Euro-Asiática poseen especies nativas de bambú.

En el mundo existe un total de 90 géneros y 1100 especies, que se distribuyen desde los 51° de latitud Norte (Japón) hasta los 47° de latitud Sur (Chile) y desde el nivel del mar hasta los 4300 metros de altura reportada en los Andes ecuatoriales en la formación conocida como Páramo. Los bambúes prefieren los hábitats húmedos de las selvas nubladas y selvas bajas tropicales aunque algunos crecen en hábitats secos. En América, existen 41 géneros y 451 especies, casi la mitad de la diversidad mundial, los cuales se distribuyen desde los Estados Unidos, a lo largo y ancho de Centro y Suramérica, en las Islas del Caribe, hasta el sur de Chile (2,7,9).

1.2 Ecología

1.2.1 Precipitación pluvial

Se desarrolla en zonas con precipitación anual de 6,350 mm como máximo y 762 mm como mínimo. Se reporta en un rango de 1,300 a 5,000 mm como la zona optima para su desarrollo.

1.2.2 Temperatura

La mayoría de las especies se desarrollan bien en temperaturas que varían de 9°C a 36°C; aunque se han reportado bambúes creciendo en climas con nieves perpetuas.

1.2.3 Humedad relativa

La mayoría de los bambúes se desarrollan en ambientes con humedad relativa entre 70 y 90 %.

1.2.4 Altitud

Para Latinoamérica se ha reportado crecimiento de especies en la cordillera andina a 4,500 msnm.; además crecimiento de algunas especies a la orilla de las playas en el caribe, en la zona asiática se han encontrado bambúes en el Himalaya a 3,500 msnm. Y en las playas de Oceanía (7).

1.2.5 Suelos

Los suelos que más favorecen el desarrollo de la guadua son los arenolimosos, francos, francos-arenosos, franco - limosos. Los perfiles de suelos ideales son los que presentan texturas gruesas y medias. Suelos pesados o arcillosos no son buenos para el desarrollo de la planta. En suelos ricos en materia orgánica, con buenos drenajes, húmedos pero no inundables.

La mayoría de los bambúes se encuentran en suelos derivados de cenizas volcánicas, con un porcentaje bajo de saturación de bases, pobres en Fósforo y mediano en Potasio (12).

1.3 Clasificación

A pesar de que el bambú ha sido explotado por el hombre de muchas maneras, aún se desconocen muchos de sus aspectos botánicos. La mayoría de las especies en América poseen los tallos lisos y generalmente huecos, con paredes relativamente delgadas y rigidizadas transversalmente por tabiques o nudos. Debido a su floración poco frecuente (30, 60 y hasta más de 100 años) es difícil clasificarlo como las demás plantas basándose en las características de sus flores y frutos.

El bambú está clasificado botánicamente como Bambusoide perteneciente a la familia de las Gramíneas, a dicha familia también pertenecen el maíz, la cebada, el trigo, el arroz, entre otros. El bambusoide a su vez está formado por dos grandes grupos; las gramíneas bambusoides herbáceas o bambúes herbáceos y las gramíneas bambusoides leñosas o arborescentes. Clasificado éste último como parte de las plantas leñosas por las características de sus tallos (4,9).

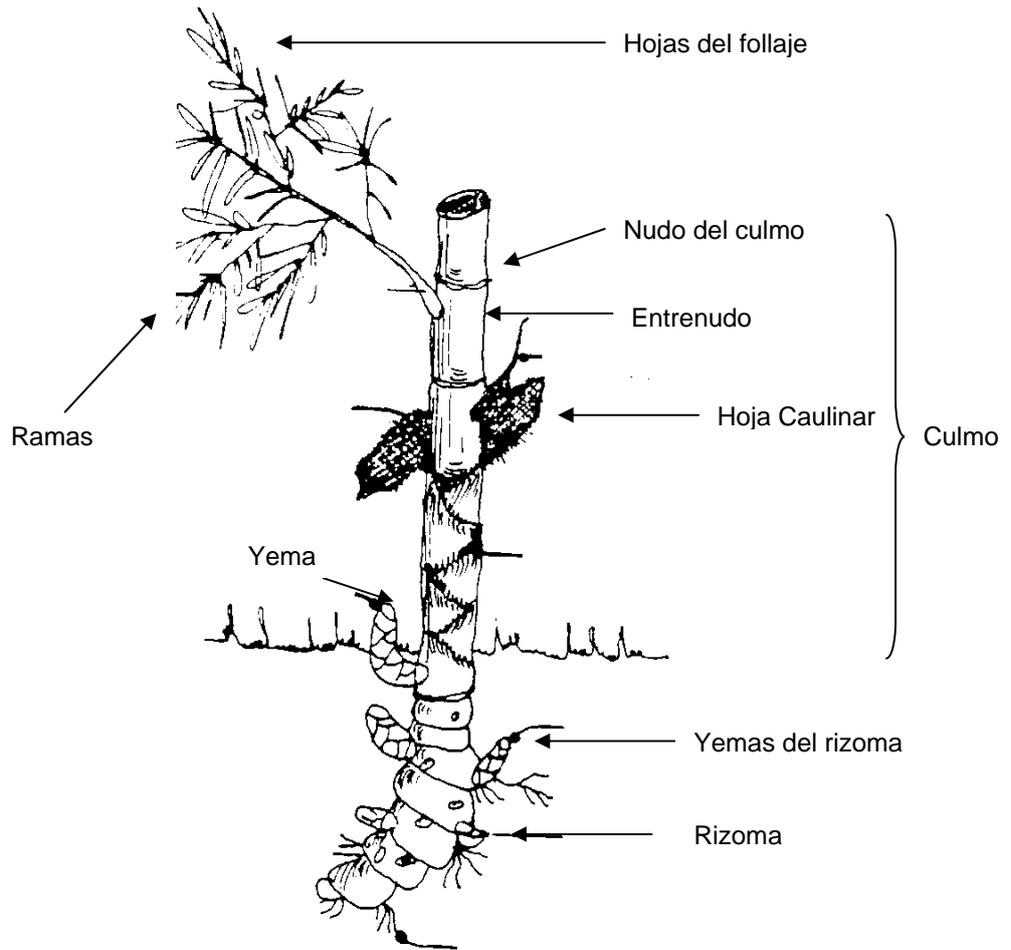
1.4 Morfología

Los bambúes son plantas con una gran diversidad morfológica; las hay de pocos centímetros y tallos herbáceos hasta bambúes de 30 metros de altura y tallos leñosos. Debido a su naturaleza especializada y a su floración infrecuente, se le ha dado mucha importancia a estructuras morfológicas tales como rizoma, culmo, yema, complemento de rama, hoja caulinar y follaje. Su estructura se muestra en la figura No.1

1.4.1 Rizoma

Es un eje segmentado típicamente subterráneo que constituye la estructura de soporte de la planta, y juega un papel importante en la absorción. Consta de tres partes: a) el cuello del rizoma, b) el rizoma en sí y c) las raíces adventicias. Existen tres formas básicas de rizoma: paquimorfo, leptomorfo y amfimorfo (2).

Figura 1. Estructura del bambú.



1.4.1.1 Rizoma paquimorfo

Es corto y grueso y se caracteriza por presentar: a) forma mas o menos curvo (raramente recto) y con un diámetro generalmente mayor que el del culmo en el cual se transforma apicalmente, b) los entrenudos son mas anchos que largos, sólidos y asimétricos (más anchos hacia el lado que sostiene la yema), c) los nudos no son elevados o inflados, d) las yemas laterales son solitarias y se transforman únicamente en rizomas, requisito indispensable para la formación de culmos; e) presenta proliferación de raíces adventicias en la parte mas baja del rizoma y aplanamiento de la parte dorsoventral del eje; f) el cuello del rizoma puede ser corto o elongado. Generalmente lo forman especies tropicales de climas cálidos que no se desarrollan bien a bajas temperaturas (7,2).

1.4.1.2 Rizoma leptiformo

Es elongado y delgado y se caracteriza por presentar: a) forma cilíndrica o subcilíndrica, ser mas o menos recto y con un diámetro generalmente menor que el del culmo en el cual se transforma apicalmente, b) los entrenudos son más largos que anchos, generalmente huecos (raramente sólidos), y relativamente simétricos, c) los nudos pueden ser o no elevados o inflados; d) las yemas laterales son solitarias, y se transforman directamente en culmos, y unas pocas se transforman en rizomas; e) las raíces adventicias pueden estar o no presentes, cuando están presentes se organizan en verticilos sencillos o bien esparcidas; f) el cuello del rizoma es siempre corto. Las especies de este grupo se desarrollan bien en regiones con inviernos no muy fríos (7,2).

1.4.1.3 Rizoma anfipodial

Es la combinación de los dos tipos de rizomas anteriores. Existen bambúes americanos con la capacidad de producir ambos tipos de rizoma en la misma planta; las yemas del segmento paquimorfo da origen a otro rizoma mientras que las del segmento leptomorfo dan origen a más culmos (7,2).

1.4.2 Culmo

Es el eje aéreo segmentado que emerge del rizoma. Este término se emplea principalmente cuando se hace referencia a los bambúes leñosos. El culmo consta de: a) cuello, b) nudos y c) entrenudos. Se le denomina cuello a la parte de unión entre el rizoma y el culmo; nudo a los puntos de unión de los entrenudos; y entrenudo a la porción del culmo comprendida entre dos nudos. Los nudos son la parte más resistente del culmo, pueden ser bien prominentes o casi imperceptibles. Los entrenudos puede ser huecos como en la mayoría de las especies, o sólidos como en la *Guadua*; o también pueden ser sulcados como en *Phyllostachys* y en algunas especies de *Guadua*, o totalmente cilíndricos. Otros caracteres importantes de observar en el entrenudo son la presencia o no de un exudado blanco sobre la superficie (cera), la presencia de agua en la cavidad interna, y el color y la textura de su superficie.

En un culmo la alternancia entre nudo y entrenudo es constante, sin embargo existen algunos bambúes en donde hay supresión de entrenudos y congestión de nudos. Generalmente en un culmo se observa un incremento gradual en la longitud del entrenudo de la base hacia la porción media y luego una reducción hacia el ápice.

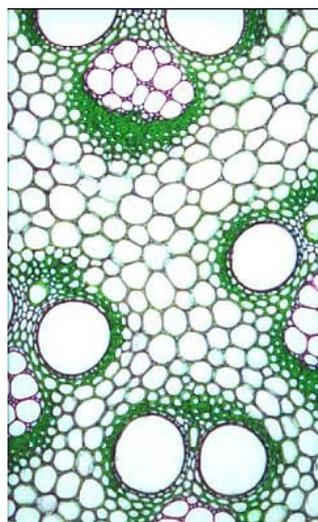
Con relación al hábito de los culmos, los bambúes se pueden agrupar en: a) estrictamente erectos, b) erectos pero arqueados en la punta, c) estrictamente escandentes y trepadores, y d) erectos en la base y escandentes en la parte superior (7,11).

1.4.2.1 Anatomía del culmo

Los bambúes carecen de tejido de cambium y por eso no presentan crecimiento secundario o incremento en diámetro, solamente tienen crecimiento primario o apical. En los entrenudos las células están axialmente orientadas, mientras que los nudos proveen la interconexión transversal. El tejido del culmo consiste de células parenquimatosas, de haces vasculares, y de fibras. Las células parenquimatosas constituyen la base del tejido y son en su mayoría verticalmente elongadas. Los haces vasculares están compuestos por: a) el xilema, con 2 grandes metaxilemas y, 1 o 2 mas pequeños elementos del protoxilema (vasos), y por b) el floema con paredes delgadas y tubos cribosos sin lignificar, los cuales están conectados a las células acompañantes o fibras. Las fibras constituyen el tejido esclerenquimatoso y se localizan alrededor de los haces vasculares o forman bandas aisladas en algunas especies; contribuyen con el 40-50% del total del tejido del culmo y con el 60-70% de su peso. La estructura anatómica del corte transversal de un entrenudo esta determinada por la forma, tamaño, organización y numero de los haces vasculares, los cuales contrastan con el tejido esclerenquimatoso (fibras) y parenquimatoso. En la periferia del culmo los haces vasculares son mas pequeños y mas numerosos, mientras que hacia la parte interna son mas grandes y mas escasos. Dentro de la pared del culmo el tamaño de haces vasculares decrece de la base hacia la punta mientras su densidad se incrementa al mismo tiempo.

Los elementos conductores de agua funcionan o trabajan toda la vida sin remplazar sus tejidos como en el caso de las maderas con tejido de cambium. En los culmos más viejos los vasos y los tubos cribosos pueden parcialmente llegar a impermeabilizarse debido a la deposición de una sustancia como goma, perdiendo así la conductividad, lo que causa la muerte del culmo viejo. La distribución porcentual de las células dentro del culmo muestra un patrón definido tanto en el sentido horizontal como en el vertical. En el sentido horizontal las células conductoras y el parénquima son más frecuentes en el tercio interno de la pared, mientras que en el tercio externo el porcentaje de fibra es notablemente más alto. En el sentido vertical la cantidad de fibra incrementa de la base hacia la punta mientras que la cantidad de tejido de parénquima decrece. La práctica común de dejar dentro del bosque el ápice del culmo que se corta y beneficia, es un desperdicio por el alto contenido de fibra que contiene. La figura 2 muestra los haces vasculares como los espacios mayores envueltos por una serie de fibras en un color verde y la presencia del parénquima que divide cada haz vascular con sus fibras.

Figura 2. Anatomía microscópica del culmo



1.4.3 Yema

Esta siempre protegidas por un profilo; puede ser activa o inactiva, de carácter vegetativo o reproductivo. En el culmo las yemas se localizan por encima de la línea nodal y en posición dística; rompen su inactividad generalmente cuando el culmo ha completado el crecimiento apical. En algunos bambúes las yemas basales permanecen dormidas indefinidamente mientras que en otros son las yemas del 1/3 medio las que no se desarrollan; a veces hay ausencia total de yemas en el primer tercio o en las 3/4 partes del culmo. Todos los bambúes americanos, con excepción de *Chusquea* tienen una sola yema por nudo.

Las yemas son importantes en los estudios taxonómicos pues ayudan a identificar especies, secciones y géneros. También cumplen un papel muy importante en el campo de la biotecnología para la propagación "in Vitro" (11,12).

1.4.4 Complemento de ramas

Las ramas se originan en la línea nodal, por encima de esta o sobre un promontorio. Su número y organización varían mucho. Existe desde una rama hasta más de 100 ramas por nudo, dispuestas en forma de abanico con una rama central dominante o sin ella. La ramificación de los bambúes varía mucho durante los diferentes estados de desarrollo de la planta, sin embargo, la forma más típica de ramificación se observa en la parte media de los culmos adultos. En algunos bambúes las ramas basales se modifican y llegan a transformarse en espinas como sucede en la mayoría de las especies de *Guadua*.

Las ramas apicales del culmo que generalmente se desperdician en los manejos silviculturales, tienen alto contenido de fibra y pueden ser aprovechadas en la fabricación de papel y de paneles (11,12).

1.4.5 Hoja caulinar

Es la estructura que nace en cada nudo del culmo y tiene como función proteger la yema que da origen a las ramas y al follaje. Presenta cambios progresivos en su tamaño, forma, consistencia y vestimenta a lo largo del culmo. Se consideran a las de la porción media del culmo como las más características de la especie. Las hojas caulinares pueden ser persistentes o deciduas, y en una misma especie se pueden observar hojas persistentes en la base y deciduas en la porción superior. Son un carácter diagnóstico importante a nivel de especies, secciones y géneros. Estas estructuras además de proteger las yemas del culmo, se utilizan para la fabricación de objetos artesanales y como elemento decorativo (7, 12).

1.4.6 Follaje

Es la principal fuente de elaboración de alimento en la planta. En la mayoría de las gramíneas la hoja esta constituida por vaina, lamina, y apéndices como aurículas y fimbrias. El follaje es importante en los estudios taxonómicos sobretodo a nivel anatómico (12).

1.5 Floración

La floración de los bambúes puede ser gregaria o esporádica. Se denomina gregaria cuando todos los miembros de una generación determinada, con un origen común, entran a la etapa reproductiva aproximadamente al mismo tiempo. En este tipo de floración todos los culmos de una especie florecen al mismo tiempo independiente de su edad y del lugar en que se encuentren. La longitud del ciclo de floración varía en cada especie, con un rango de fluctuación entre 3-60 años (Después de florecer y producir semillas, el culmo se seca, la planta se debilita y muere con el rizoma, ocurriendo la muerte total de grandes poblaciones de bambú, ocasionando desequilibrios ecológicos y a veces con implicaciones sociales (India y Bangladesh). En América, algunas especies presentan también este fenómeno de floración masiva y sus efectos son sobretodo ecológicos sin afectar a las poblaciones humanas adyacentes por no depender económicamente de ellas. Las múltiples investigaciones que se han realizado para entender este fenómeno han señalado que la edad del rizoma parece tener una gran influencia en el proceso de floración. Se denomina floración esporádica cuando todos los miembros de una generación determinada con un origen común, entran gradualmente a la etapa reproductiva en diferentes tiempos, o en intervalos irregulares. En este tipo de floración ni todos los individuos ni todos los culmos de una especie florecen simultáneamente; la floración puede darse en grandes manchas aisladas o únicamente pueden florecer algunos culmos del rodal como sucede con *Guadua angustifolia*. La longitud del ciclo de floración es irregular, puede ser anual, o presentar intervalos mayores. Después de la floración esporádica se observa un ligero amarillamiento de la planta, pero con emisión de brotes nuevos; la planta no se muere, y gracias a ello no se presentan desequilibrios ecológicos ni efectos sociales.

La mayoría de los bambúes herbáceos presentan este último tipo de floración, y algunos bambúes leñosos tales como *Guadua angustifolia* (7,11,12).

1.6 Fruto

Caracteres del fruto tales como la forma y tamaño del embrión, y la forma del hilum son muy significativos y sirven para distinguir grupos mayores dentro de las gramíneas y ayudan a delimitar taxonómicamente a la subfamilia Bambusoideae. La diversidad de formas en los frutos de los bambúes es muy amplia. Debido a lo extemporáneo y raro que es la floración en los bambúes, la información sobre sus frutos es aun incompleta.

Los frutos se utilizan principalmente como fuente alimenticia (7,11,12).

1.7 Habito

La forma típica y natural asumida por la parte aérea de una planta de bambú esta ligada directamente a su sistema rizomático y al hábito de crecimiento. Los bambúes con rizomas paquimorfos y cuellos cortos forman plantas compactas, definidas, y cespitosas; bambúes con rizomas paquimorfos y cuellos largos, como *Guadua angustifolia*, forman plantas menos compactas y definidas; y bambúes con rizomas leptomorfos, como por ejemplo *Phyllostachys aurea* forman plantas abiertas, indefinidas y no cespitosas.

La diversidad de formas y de hábitos hacen del bambú un elemento ideal en la ornamentación y el embellecimiento del paisaje, además de que juegan un papel muy importante como barreras rompevientos (7,11,12).

1.8 Usos

El bambú está considerado como una de las plantas más útiles del mundo e igual que la palma puede suplir las necesidades básicas del hombre. De acuerdo a la calidad de la madera los bambúes tienen diferente utilización. El estudio de las propiedades físico-mecánicas, que incluye contenido de humedad, peso específico, resistencia a la compresión, a la tensión y a la flexión, determinan si son aptos como elemento estructural en la construcción o para la elaboración de muebles; sus propiedades anatómicas son decisivas para determinar su uso en la fabricación de la pulpa de papel o la fibra textil (rayón); el análisis de la composición química y bioquímica, que implica proporciones de celulosa, hemicelulosa, y lignina, además de sustancias menores como: resinas, tainas, ceras, y sales orgánicas, y las variaciones de las mismas dependiendo de las condiciones de crecimiento, son informaciones que ofrece bases para nuevas posibilidades de uso (2,7).

1.8.1 Alimento

Los cogollos y las semillas han sido utilizados como alimento humano en Asia desde tiempos remotos. En América no existe el hábito cultural del consumo de los brotes de bambú. En los países Asiáticos, especialmente en China, Taiwán, Japón y Tailandia, los renuevos se consumen frescos, secos, ahumados o en encurtidos, y se venden generalmente enlatados en salmuera. En Tanzania se reporta el uso de una especie de vino elaborado por *Oxythenanthera braunii* a la altura de un (1) metro, recolectando la savia y dejándola fermentar; y en China, en la ciudad de Anji, se realiza la fabricación de cerveza a base de renuevos de bambú.

Se cree que la floración del bambú indica el inicio de épocas de sequía o hambre por lo que su semilla es recolectada y consumida igual que el arroz.

Las hojas sirven de alimento para animales en forma de forraje o heno, las hojas de algunos bambúes se comparan favorablemente con pastos convencionales sembrados bajo condiciones similares, siendo más altos en proteína y grasa y más bajos en fibras (7,11).

1.8.2 Pulpa y Papel

Muchos países aprovechan del bambú para la producción de pulpa y papel. Las ventajas para ésta utilización derivan de su rápido crecimiento, facilidad de cultivarlo y transportarlo (7).

1.8.3 Medicinal

Algunas comunidades indígenas americanas les han encontrado usos antimicóticos, ungüentos medicinales incluyendo contra mordedura de serpientes y la ceniza de sus hojas como cicatrizante (11,12).

1.8.4 Muebles, artesanías e instrumentos varios

Se utiliza para la fabricación de todo tipo de muebles, cestería, artesanías fabricación de flechas para la cacería; y los entrenudos los utiliza en la elaboración de instrumentos musicales. En países de América Latina como Colombia y Ecuador, los rizomas de *Guadua* se utilizan en la fabricación de muebles en general. Además del papel ecológico los rizomas pueden ser utilizados para la elaboración de artesanías (2,11, 12).

1.8.5 Construcción

La mayor aplicación del bambú se da en la construcción, éste puede emplearse para construir todas las partes de una casa y/o combinarse con otros materiales de construcción como otras maderas, arcilla, cal, cemento, hierro, entre otros; de acuerdo con su conveniencia relativa, disponibilidad y costo. Es un material tan versátil que se utiliza en la construcción de puentes.

Sus cualidades físicas, forma y liviandad para construcción han hecho su utilización diversa por personas de bajos recursos económicos tanto en países asiáticos como latinoamericanos. Sin embargo, en clases con niveles económicos superiores el bambú se utiliza arquitectónicamente en forma original y artística para decoración de interiores (2,7).

1.8.6 Ecología

Debido a la morfología de los rizomas y al sistema de red que constituyen en los primeros 50-100 cm. del suelo, los bambúes son un recurso ideal para la conservación del suelo, estabilización de las laderas, y prevención de la erosión producida por escorrentías, vientos fuertes o desmoronamientos. La especie asiática *Phyllostachys aurea* (leptomorfo), forma una red bajo la tierra tan fuerte y densa, que a veces no deja ni penetrar la lluvia; estas especies con sistemas de rizoma leptomorfo son ideales en la conservación de laderas muy empinadas. *Guadua angustifolia* (paquimorfo) aunque forma una red menos densa, y permite mas la percolación del agua, ayuda también a controlar la erosión amarrando el suelo y los barrancos a la orilla de ríos y carreteras (1,12).

2. INTRODUCCIÓN DEL BAMBÚ EN GUATEMALA

En Guatemala se consideran algunas especies como nativas y otras que fueron introducidas principalmente de Java. Durante el año de 1947 una compañía estadounidense contempló utilizar el bambú que se encontraba en los trópicos, por ello; en 1948 bajo la asesoría del Dr. En botánica Floyd A. McClure se sembraron 15 manzanas de bambú en Telemán y el Rosario, Alta Verapaz. El proyecto duró seis años, cuidando la plantación adecuadamente, tomando pruebas de crecimiento; los resultados de tales ensayos fueron muy buenos, tal es el caso de la *Bambusa vulgaris* que produce una pulpa de buena calidad y su tonelaje al año se puede comparar con el pino del sur de los Estados Unidos, ésta producción puede generarse después de seis a ocho años de haberse cultivado, tiempo relativamente corto si se compara con quince a veinte años de árboles de pino.

Otra especie que generó resultados positivos fue la *Gigantochloa verticillata*, al obtenerse 4 toneladas de celulosa secada al horno por acre por año; similares resultados se obtuvieron con *Melocanna bassifera* (2).

Como parte del mismo trabajo experimental en 1948 se sembraron 16 especies en las fincas Chocolá, Mocá y Panamá del departamento de Suchitepequez; siendo ésta finca un área rica en cenizas volcánicas donde la precipitación pluvial es cerca de las 200 pulg. Anuales, de estas especies algunas se han perdido o son conocidas con el nombre común que se les ha dado en la región (7).

Las plantas que se sembraron en Guatemala florecieron en 1957 y en 1958 se produjo una gran cosecha de semillas. Hasta el año 1959 las plantas son conocidas por ser monoperiódicas. Las plantas que dieron fruto murieron y las semillas que se recolectaron en Guatemala de las 50 especies en total fueron repartidas en los centros agronómicos del hemisferio occidental de las cuales 45 crecieron vigorosamente.

3. DESCRIPCIÓN DE LAS ESPECIES SELECCIONADAS

3.1 *Gigantochloa verticillata*

Bambú de rizomas paquiforme cuyo culmo alcanza una altura de 25 metros, con un diámetro de 10 cm, sus entrenudos son moderadamente largos, con un grosor de 1 a 2 cm. Sus culmos son utilizados principalmente para tejidos artesanales y como refuerzo en las construcciones de cemento (1).

3.2 *Gigantochloa apus*

Esta especie alcanza una altura que oscila entre los 10 y 20 metros aproximadamente, tiene un diámetro de 5 a 10 cm. y sus entrenudos varían entre los 45 y 65 cm de largo. Es nativa de Indonesia.

Sus culmos pueden ser utilizados para la construcción rural de viviendas, puentes y cualquier clase de artesanías al horno y también en la fabricación de muebles (1).

3.3 *Dendrocalamus Asper*

En ésta especie los culmos alcanzan de 20 a 39 metros de altura y un diámetro de 20 a 30 cm. las paredes del culmo tienen un grosor de 0.5 y 2.00 cm. y los entrenudos distan de 30 a 45 cm. Es nativa de la India, Birmania y Tailandia.

Sus culmos pueden ser utilizados en construcciones de viviendas, puentes rurales, cercas, conducción de agua, muebles, artesanías y otras industrias. Es ideal para artículos laminados, para artículos comprimidos, revestimiento, etc (1).

3.4 *Guadua angustifolia*

Bambú de rizoma paquiformo, nativo del sureste suramericano, particularmente de Colombia y Ecuador. Se encuentra en grupos de tallos espaciados, arqueados apicalmente; los tallos presentan color verde oscuro a verde claro y una banda blanquecina de 1.0 a 1.5 cm. De ancho en los nudos.

Una característica de ésta especie es su culmo que generalmente llega a medir 25 metros, con un diámetro de 15 cm y entrenudos que varían de 20 a 40 cm de largo, siendo sus paredes bastante gruesas.

La guadua se considera como un recurso natural renovable de excelencia, sus múltiples usos se insertaron en la vida cotidiana, como fuente de energía, vivienda, puentes, establos, cercas, artesanías, etc., hoy se le reconocen, técnica y científicamente, muchas bondades, como oferta ambiental y potencial agroindustrial.

Su importancia y utilidad la convierten en la mejor aliada para animar, tanto en el campo como en la ciudad, procesos para el desarrollo humano sostenible, que se relacionan con: ecología, economía, cultura, paisaje, artesanía, arquitectura, agroindustria (1,8).

4. AGENTES DESTRUCTORES DE LA MADERA

4.1 Agentes destructores de origen animal

La destrucción de la madera biológicamente en árboles o madera troceada es llevada a cabo particularmente por insectos, los que por lo general se ubican taxonómicamente como coleópteros con sus nombres comunes como escarabajos; e isópteros, conocidos como termitas (comejenes u hormigas blancas). También existen otros insectos que dañan la madera aunque en menor escala, este es el caso de las hormigas carpinteras, avispas y orugas lepidópteros. Otros agentes biológicos los constituyen los moluscos y crustáceos (5,10).

4.1.1 Coleópteros

Comprende 250,000 especies, generalmente de cuerpo endurecido; cuando son adultos se les llama escarabajos, pulgas, gorgojos, picudos, etc.; su tamaño varía desde muy pequeño hasta muy grande, predominando las especies de tamaño medio.

El aparato bucal es de tipo masticador y está provisto de mandíbulas fuertes. Se alimentan de materia vegetal vivo o muerta. En éste orden se localizan muchas plagas de la agricultura y de especies forestales.

Entre ellos se pueden mencionar la carcoma de ambrosía, de corteza, perforadores de cabeza redonda, de cabeza plana, etc. Depositán sus hueverillos en los poros de la madera de los cuales nace la larva que perfora túneles en el interior (3).

4.1.2 Termitas

Tanto subterráneas como no subterráneas, se alimentan de madera y la utilizan como habitación perforando túneles que la debilitan seriamente.

4.1.3 Hormigas carpinteras

Aunque no se alimentan de la madera la utilizan como habitación.

4.1.4 Moluscos

Las larvas de éstas especies son nadadores, se adhieren a la madera bajo la línea de agua y perforan haciendo pequeños orificios en el exterior, penetrando y quedando encarceladas de por vida. A medida que el animal crece, agranda su celda.

4.1.5 Crustáceos

Estos animales no se encarcelan en la madera, solamente la perforan (3).

4.2 Agentes destructores biológicos

Dentro de ésta categoría se encuentran los mohos y hongos cromógenos, estos organismos no afectan necesariamente la resistencia de la madera, ya que se alimentan del contenido de las celdillas y no de las celdillas mismas. Para que la madera sea atacada por los mismos, se requiere un contenido de humedad superior a la saturación de la fibra (27 a 32 % de contenido de humedad).

4.2.1 Mohos

Su presencia se hace evidente por un crecimiento algodonoso en la superficie de la madera. Su color varía desde el blanco hasta el negro. Aparecen cuando hay exceso de humedad. Cuando la madera está seca, los hongos pueden ser barridos o cepillados sin afectar seriamente la resistencia de la madera.

4.2.2 Hongos cromógenos

Penetran en la madera impartándole coloración y afectando ligeramente su resistencia física. Representantes típicos son ciertas especies de género *Ceratocystis*, causantes de la mancha azul.

4.2.3 Hongos Xilófagos

Estos organismos si afectan las propiedades físicas y químicas de las paredes de las células, minando seriamente la resistencia física de la madera.

Estos organismos provocan la llamada pudrición de la madera. La mayoría de estos hongos atacan la madera después de que el árbol ha muerto, pero hay algunas especies que atacan al árbol vivo, después de alguna herida o debilitamiento de su condición física causada por insectos. Según el efecto producido por el hongo, algunos autores consideran tres tipos de pudrición.

a) Pudrición suave o blanda

Es causada por hongos destructores de celulosa, pertenecientes a los grupos ascomicetos y hongos imperfectos. Se caracteriza por ser superficial degradando la madera hasta adquirir una consistencia grasosa, de color oscuro.

b) Pudrición blanca

Los hongos causantes de ésta pudrición son aquéllos que destruyen todos los componentes de la madera (lignina y carbohidratos), el material residual semeja un esqueleto de madera sin coloración oscura.

c) Pudrición parda

El tercer grupo comprende a los hongos que descomponen a la celulosa y sus pentosas asociadas, afectando poco o nada a la lignina. La parte atacada se contrae formando hendiduras perpendiculares u oblicuas que dan una apariencia cubicada a la madera podrida. Este tipo de hongos son los llamados basidiomicetos (3).

4.3 Desgaste mecánico

El desgaste en la madera puede ser causado por el movimiento continuo o repetitivo de una carga aplicada sobre ésta. Lo anterior se ejemplifica en los durmientes de la línea de ferrocarril, pisos de fábricas y en escaleras de madera. La falla mecánica debido al desgaste puede convertirse en un factor determinante de la vida útil de la estructura.

El tratamiento de la madera incrementa la resistencia al desgaste mecánico indirectamente, por la prevención a la pudrición de ésta, en cambio reduce la dureza original del material (3).

4.4 Destrucción por fuego

La facilidad con que una madera se inflama depende de la especie además de los factores decisivos tales como: grado de sequedad de la madera, temperatura de la fuente de calor, duración de la exposición, tamaño y forma de la madera y detalles de la construcción. La madera seca arde más fácilmente que la madera húmeda y la madera podrida más que la sana (3).

4.5 Preservación de la madera

4.5.1 Durabilidad

Debido a su carácter natural la madera es susceptible al ataque por agentes que la deterioran, destruyen o disminuyen su calidad.

Los preservantes son productos químicos que se depositan en la madera (impregnación) para darle una duración artificial, que dependerá de la “retención” o cantidad en peso del preservador y de la permeabilidad de las especies que definirá la penetración de dichos preservantes.

La temperatura, humedad, oxígeno y alimento son condiciones que favorecen el desarrollo de los agentes destructores de la madera. De los cuales, el alimento es el más controlable y el que se pretende modificar mediante los preservantes (3,5).

4.5.2 Propiedades de un preservante

No todos los preservantes poseen las mismas condiciones, las características escogidas de uno de ellos se basa en el uso final que se le dará a la madera y quizás algunas condiciones no son necesarias o deseables. A continuación las características más importantes:

- tóxico para hongos e insectos
- inocuo para el hombre y los animales
- capaz de penetrar efectivamente
- relativamente barato y de fácil obtención
- persistente
- fácil de aplicar
- ininflamable
- incoloro
- inodoro
- que permita el pintado y otros tipos de acabado y el encolado
- que no contamine los alimentos
- inofensivo para otro tipo de materiales como metales y plásticos

4.5.3 Tipos de preservante

Existen tres tipos básicos de preservantes:

- a) aceites bituminosos
- b) preservantes superpuestos
- c) preservantes a base de disolventes orgánicos

Con excepción de algunas formulaciones especiales, todos estos tipos son aptos para preservación contra insectos y hongos (5).

4.5.3.1 Aceites bituminosos

Son subproductos obtenidos de la carbonización de la hulla para la obtención de gas coque. Los aceites varían de viscosidad y de composición química y casi todos guardan relación con la creosota. Los tipos más viscosos de creosota se usan para la impregnación al vacío y requieren calentamiento, la mezcla más fluida es aplicada con brocha.

La creosota es un eficaz fungicida e insecticida y resistente a la lixiviación. No corroe metales y la solución fluida es de fácil aplicación. Lo anterior lo hace apto para usos finales de la madera al aire libre e inadecuado para usos de la madera en interiores debido a su penetrante olor y color además de no admitir fácilmente la pintura. Incrementa la inflamabilidad de la madera, efecto que se va perdiendo a medida que se volatizan los aceites. La creosota, hasta cierto punto es un repelente del agua, además; regula el contenido acuoso de la madera con los cambios de humedad y temperatura, es por ello que disminuye el deterioro físico de la madera expuesta al aire libre.

4.5.3.2 Preservantes superpuestos

Existen dos clases de preservantes superpuestos: los que no permanecen fijados en la madera y que se pueden lixiviar con ayuda de agua y los que quedan fijados por cambios químicos al penetrar en la madera y no quedan eliminados por la acción del agua. Los compuestos de boro constituyen un ejemplo de los primeros, y los que contienen sales de cobre, cromo o arsénico son los más característicos del segundo grupo.

Los compuestos de boro se emplean para preservar la madera recién talada. Las sales de boro se aplican a la madera sumergiéndola en una solución concentrada y apilándola en lugares cerrados hasta que las sales del baño impregnen la madera, secándola posteriormente. Las sales continúan solubles en la madera una vez seca. Este preservante no es aplicable para maderas que estén en contacto con una permanente fuente de humedad. La ventaja del método son las que las sales son incoloras y se puede pintar la madera tratada.

Los preservantes a base de cobre, cromo y arsénico (CCA) se aplican parcialmente a maderas ya secas mediante el proceso de impregnación al vacío. Las sales quedan depositadas en las paredes de las células de la madera de tal modo que resultan insolubles en agua y la madera tratada se puede exponer al exterior y se la puede poner en contacto con agua, como en las torres de enfriamiento.

Las sales de cobre, cromo y arsénico no son tóxicas para las plantas y animales una vez que han quedado depositadas en la madera.

4.5.3.3 Preservantes a base de disolventes orgánicos

Existe una gran cantidad de productos químicos disueltos en diluyentes orgánicos que se aplican a la madera una vez ésta ha sido secada, sus características comunes son:

- a) Con adecuado diluyente son capaces de ser absorbidos por la madera y, no obstante, se puede aplicar con brocha igual que por otros medios más sofisticados.
- b) Se puede pintar y encolar la madera después que el disolvente se ha evaporado.
- c) No ocasionan distorsiones en la madera.
- d) Normalmente no manchan.
- e) No ocasionan corrosión en los metales.
- f) Hacen que la madera de manera temporal resulte más inflamable que la madera que no ha sido tratada (5).

4.5.4 Métodos de preservación

Existen muchos métodos para el tratamiento en maderas, de los cuales se exponen los principales utilizados industrial y artesanalmente:

4.5.4.1 Tratamientos sin presión

Se trabajan a presión atmosférica cuando su uso no representa riesgos, son los más prácticos y económicos; sus formas de aplicación más conocidas son las siguientes:

4.5.4.1.1 Brocha, rodillos y aspersión

El preservante es aplicado en la superficie de la madera que debe tener un máximo de 20% de contenido de humedad, sin recubrimiento de cera, lacas, barnices, pinturas o corteza que puedan servir de barreras. Para una mejor cobertura es necesario aplicaciones consecutivas para el método con brocha o abundante preservante para la aspersión. Estos tratamientos brindan protección limitada y sólo se emplean como protección temporal (3).

4.5.4.1.2 Inmersión

La madera es sumergida en una solución de preservante que puede ser breve (segundos o minutos) o prolongada (horas o días). Luego de lo cual debe secarse para asegurar la fijación del producto (3,10).

4.5.4.1.3 Baño caliente y frío

La madera es sumergida al igual que en la inmersión, con la diferencia que primero se sumerge durante cierto tiempo en la solución preservante caliente y luego en otra a temperatura ambiente. La fijación del preservante se logra por la expansión durante el calentamiento y el vacío parcial durante el enfriamiento (3,10).

4.5.4.2 Tratamientos por difusión

Es aplicable a madera recién cortada cuyo contenido de humedad es mayor al 30%, las soluciones de preservantes se utilizan en altas concentraciones donde se sumerge la madera por varios días; luego, se apilan generando la difusión de los preservantes. Estos métodos aplican para soluciones hidrosolubles a base de boro (3,10).

4.5.4.3 Tratamientos por presión

4.5.4.3.1 Célula vacía

El proceso Rueping consiste en colocar la carga en el cilindro e inyectar primero aire a presión, con la presión constante se aplica la solución de preservante bombeando hasta alcanzar la presión hidráulica específica; luego se vacía el líquido y se efectúa el vacío final.

Otro proceso lo es el de Lowry, semejante al primero con la excepción de que no se inyecta aire a presión en el inicio del tratamiento. Aplican para éstos tratamientos la creosota y preservantes oleosos, se les llama así porque el preservante queda en las paredes celulares pero las cavidades celulares quedan vacías (6).

4.5.4.3.2 Célula llena

Para éste tratamiento la madera es colocada en una autoclave aplicando un vacío inicial. La autoclave se llena con preservante hasta alcanzar la presión hidráulica específica. Esta presión se mantiene el tiempo suficiente para obtener el grado de tratamiento deseado (retención y preservación). Luego la autoclave es drenada y se aplica opcionalmente un vacío final que limpia la superficie de la carga para facilitar su manejo. Aplican preservantes hidrosolubles y las células quedan con sus cavidades celulares llenas de líquido, que al evaporarse depositan los tóxicos en las paredes celulares (6).

5. PLAGAS Y ENFERMEDADES DEL BAMBÚ

Varios insectos y enfermedades se han reportado que atacan la planta viva de bambú durante los diferentes estados de desarrollo tanto en sus tallos como en sus hojas, los países asiáticos son los que más investigaciones han realizado en este aspecto. Los tallos de bambú son particularmente susceptibles a hongos y hupes con una humedad máxima al 18%; para gusanos y termitas entre 12 y 18 % de la humedad relativa. Estas dañan la estructura de tal manera, que ciertas partes serán inutilizables y tendrán que ser cambiadas. Particularmente las clases de Xilófagos (*Dinoderus*, *Bostrichidae*, *Lyctidae*), que perforan los tallos vivos cosechados, causando daños graves (12).

5.1 Plagas

En bambúes nativos del oriente del hemisferio, entre otros, se han reportado las siguientes plagas:

- El *Chrysomelidae Estigmina chinensis* atacando rebrotes. La larva penetra en el tallo joven causando acortamiento y torcedura de los entrenudos atacados, produciéndose la muerte del tallo cuando el ataque es severo.
- El *Curculionidae Cyrtotrachelus longipes* utiliza como alimento los tejidos tiernos de los rebrotes, ubicados en la parte más apical, ocasionando como resultado tallos deformes.
- Diminutos insectos como *Asterolecanium bambusae* e insectos perforadores como *Atrachea vulgaris* y *Chlorophorus annularis* atacan tejidos tiernos perforándolos para depositar sus huevos interiormente.

- Los culmos desarrollados comúnmente, son atacados por escarabajos, pero cuando están sobre maduros son especialmente afectados por el gorgojo de la familia Bostrychidae *Dinoderus minutus* que es el más serio peligro para todos los bambúes, ya que ataca tanto tallos cortados como en pie. La larva se alimenta principalmente de tejido parenquimático rico en almidón, luego en su estado adulto hace agujeros de 1 milímetro de diámetro ocasionando el daño. Existen registros de ataques *Dinoderus pilifrons*, *Bostrychus parallelus*, *stromatium barbatum* especialmente en tallos cortados.
- También se han notado ataques de langostas, termitas, áfidos e igualmente de ratas, puerco espines, ardillas, cabras, ciervos y micos que roen los rizomas o se comen los brotes tiernos.

5.2 Enfermedades

Muchas enfermedades se pueden presentar en los bambúes especialmente en sus hojas. Los tallos en sus primeras fases de desarrollo pueden ser afectados por manchas fungosas principalmente. Los culmos suelen mostrar unas manchas localizadas, las cuales les dan una apariencia decorativa siendo altamente apreciadas en China y Japón.

Condiciones pobres de manejo en almácigos pueden provocar ataques de hongos en las raíces y la mortalidad del bambú también es causada bajo condiciones de humedad excesiva.

En *Guadua angustifolia* se han determinado la incidencia y la intensidad de diferentes hongos especialmente causantes de manchas foliares. Se relacionan los más importantes, ninguno llega a nivel de daño económico:

- *Phyllacora* sp. Mancha de asfalto. Es la más potencial de daño económico.
- *Stagonospora* sp. Secamiento en las puntas.
- *Cercospora* sp. Mancha gris.
- *Cylindrosporium* sp. Pustula cerosa.
- *Albugo* sp. La roya blanca.
- Mosaico, probable por virus

6. PRESERVACIÓN DE BAMBÚ

La preparación del bambú se inicia con el corte apropiado del tallo, teniendo en cuenta su edad y grado de lignificación (madurez), del cual depende su resistencia física y su máxima dureza, que la adquiere entre los 4 y 6 años de edad.

La sabiduría campesina recomienda métodos de preservación natural que con el tiempo se han confrontado con la investigación aplicada. Se trata de las observaciones de campo que demuestran la relación entre el contenido de agua en los tallos de bambú y las fases de la luna. Por ello, se recomienda efectuar el corte en época de menguante o fase oscura y preferiblemente a la madrugada entre las 3:00 am y las 5:00 am, cuando hay menor luminosidad y lógicamente poca circulación de líquidos al interior de la planta, es decir, antes de iniciarse la función de fotosíntesis (12).

6.1 Métodos tradicionales

6.1.1 Curado

Los culmos se cortan en la base y se dejan por 1-3 semanas dentro del bambusal con sus ramas y sus hojas adheridas; durante este tiempo el contenido de almidón en el culmo se reduce. Como resultado a este tratamiento la resistencia al ataque de insectos perforadores se incrementa pero no la resistencia a ataque de termitas y hongos (11).

6.1.2 Ahumado

Los culmos se almacenan en sitios cerrados expuestos al humo, lo cual ocasiona un cambio de coloración en el culmo, con tendencia al color oscuro. Durante este tratamiento, algunas sustancias tóxicas se depositan al interior del culmo y contribuyen a que adquiera alguna resistencia. Por aquello del calor, el almidón depositado dentro de las células del parénquima puede destruirse. En Japón los culmos de bambú se colocan en cámaras de calor a 120-150 °C durante 20 minutos, lo que se considera efectivo para la protección contra el ataque de insectos. Con este método se pueden presentar fisuras, facilitando el ataque posterior de insectos (11).

6.1.3 Inmersión

Los culmos frescos se colocan en agua estancada o corriente durante varias semanas. Como la gravedad específica del bambú es menor a 1 se tiene que colocar piedras sobre los bambúes para mantenerlos sumergidos en el agua. Durante la inmersión, los almidones y azúcares de las células de parénquima son expulsados o degradados por bacterias de allí que la resistencia contra perforadores o insectos se incrementa. Este método no incrementa la durabilidad contra termitas y hongos y el agua estancada quizás tenga efectos negativos sobre el culmo (11).

6.2 Secado

Previene el ataque de hongos e insectos, mejora la aplicabilidad de los preservantes hasta llegar a un 10% a 15% de humedad. Los tallos de bambú se pueden secar naturalmente apilándolos horizontalmente bajo cubierta protegidos del sol y la lluvia por un lapso de dos meses con el fin de alcanzar la humedad requerida. El secado artificial puede realizarse en estufas o cámaras cerradas; o, a fuego abierto cuidando de girar continuamente los tallos a fin de conseguir un secado uniforme.

6.3 Métodos químicos

Son más efectivos que los no químicos pero no siempre son aplicables y económicos. Los preservantes no deben contener sustancias tóxicas tanto para hombres como para animales. El secado es una parte esencial de estos métodos.

6.3.1 Método del tanque abierto

Este tratamiento es económico y simple con un buen efecto protector. Los culmos previamente predimensionados se sumergen en una solución de agua y preservante por varios días. La solución penetra el culmo a través de los extremos del culmo y parcialmente hacia los lados por efecto de difusión (11).

6.3.2 Método Bucherie

Debe realizarse con bambú fresco o recién cortado. Consiste en forzar por gravedad o por presión neumática la penetración del preservante sustituyendo la sabia dentro del culmo. El tratamiento se termina cuando la solución que sale al final del culmo indica que hay una concentración alta del preservante.

La duración del tratamiento y la efectividad de este método dependen principalmente de la especie de bambú, del contenido de humedad y del tipo de preservante utilizado. Es un método eficiente, de fácil instalación y económicamente viable (11).

6.3.3 Tratamiento con presión

Se emplea en la industria de la madera. Requiere del uso de autoclave, aplicando presiones entre 0.5 y 1.5 N/mm². Este método da los mejores resultados en cuanto a la penetración del preservante pero necesita instalaciones especiales y costosas y no es económico para un material de bajo costo como el bambú (11).

7. METODOLOGÍA

7.1 Ubicación

- a) El muestreo se realizó en finca Panamá en Santa Bárbara, Suchitepequez, en la figura 3 se observan algunas plantaciones.

Figura 3. Macollas de *Gigancochloa verticillata* en la finca



- b) La parte previa a la experimentación se llevó a cabo en el secador solar de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala que se observa en la figura 4.

Figura 4. Vista exterior de secador solar de agronomía



- c) Se utilizó el laboratorio de ensayo fisicoquímico de la sección de Química Industrial del Centro de Investigaciones de Ingeniería de la Facultad de Ingeniería en la Universidad de San Carlos de Guatemala para la parte experimental de la preservación.
- d) La verificación de la penetración del preservante se llevó a cabo en el Laboratorio de Microscopía de la Facultad de Agronomía en la Universidad de San Carlos de Guatemala.

7.2 Recursos humanos

Investigadora: Elia Melina Monroy García
Asesora: Inga. Telma Maricela Cano Morales
Co - asesora: Msc. Ing. Agr. Myrna Herrera

7.3 Recursos físicos

- a) Culmos de bambú de las siguientes especies: *Gigantochloa apus*, *Gigantochloa vertisillata*, *Dendrocalamus asper* y *Guadua angustifolia*, que se trabajarán con 8 cm. de longitud donde se incluya el nudo para la preservación como se observa en la figura 5.

Figura 5. Culmos de las diferentes especies a evaluar



- b) Ácido bórico, Bórax y dicromato de sodio como preservantes.
- c) Alcohol etílico
- d) Cúrcuma
- e) Ácido salicílico
- f) Ácido clorhídrico

7.4 Equipo

- a) Recipiente de acero inoxidable con capacidad mínima de 3 litros.
- b) Beakers y espátulas para preparar soluciones
- c) Balanza
- d) Plancha de calentamiento
- e) Termómetro

7.5 Metodología de secado y preservación

- a) Secado de los culmos en el secador solar como en la figura 6

Figura 6. Muestras de bambú dentro de secador solar



- b) Inmersión a temperatura ambiente durante 48 horas con Ácido Bórico, Bórax y dicromato de sodio en relación 2 : 2 : 0.5 respectivamente como se observa en figura 7.

Figura 7. Tratamiento por inmersión simple durante 48 hrs.



- c) Inmersión combinada (6 horas a 60°C)-baño frío (18 horas) con los mismos preservantes y las mismas concentraciones que el método de inmersión como se observa en figura 8.

Figura 8. Tratamiento por inmersión combinada



7.6 Retención

Se utilizó el método de pesadas, determinando la masa del bambú a través del secado de las muestras no impregnadas, restándole la masa obtenida luego de la preservación y su respectivo secado; presentando los resultados en porcentajes en peso.

7.7 Penetración

7.7.1 Test colorimétrico de cúrcuma

- a) Se preparó la solución A al extraer, decantar y filtrar 10 g de cúrcuma con 90 g de alcohol etílico.
- b) Se preparó la solución B mezclando 20 ml de ácido clorhídrico concentrado, 83 ml de alcohol etílico y 13 g de ácido salicílico.

7.7.2 Evaluación microscópica

- a) Probetas de bambú preservado de 2 pulgadas cuadradas.
- b) Las probetas fueron sumergidas 24 horas en agua destilada.
- c) Se tomaron cortes histológicos de 35 micras de grosor para cada muestra.
- d) Al porta objeto fueron agregados adhesivo de Haupt's y Formalina, pasando a la plancha a una temperatura de 35°C durante 30 segundos, dejando secar durante 24 horas.
- e) Se agregó solución de A, un minuto después la solución B dejando un tiempo de reacción de 5 minutos.
- f) Se lavó el excedente de la tinción, se deshidrató y se fijó.

- g) Se agregó Permaunt para preservar permanentemente y se colocó un cubre objetos.
- h) Los montajes se secaron durante 48 horas a temperatura ambiente y luego se procedió a su observación en estereoscopio y microscopio.

7.8 Diseño experimental

Se estudiaron 4 especies de bambú X 2 métodos de aplicación = 8 tratamientos, con tres repeticiones cada uno. Se utilizó el arreglo factorial combinatorio 4 x 2 con un diseño en bloques al azar, donde se estudiaron simultáneamente los factores especies de bambú (factor A) y método de preservación (factor B). Se realizaron 3 repeticiones para cada factor, lo que generó un total de $4 \times 2 \times 3 = 24$ unidades experimentales.

El modelo estadístico utilizado fue:

$$Y_{jkl} = U + A_k + B_l + AB_{kl} + E_{jkl}$$

Donde Y_{jkl} es la variable respuesta (porcentaje de penetración en el bambú), donde U es el efecto de la media general (porcentaje promedio de penetración en el bambú); A_k es el efecto del factor A o especie utilizada; B_l es el efecto del factor B o método de preservación; AB_{kl} es el efecto de la interacción entre el factor A y el factor B y E_{jkl} es el componente del error aleatorio.

Las variables que se midieron en el experimento fueron: retención del preservante (% w / w) después del procedimiento de impregnación (variable independiente X), y porcentaje de penetración.

7.9 Análisis estadístico

Se aplicó un análisis de varianza para dos factores de acuerdo a lo siguiente:

Tabla I. Análisis estadístico realizado

Fuente de Variación	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Media de cuadrados	Fc
Tratamiento A	SCA	a-1	$CMA=SCA/a-1$	CMA/CME
Tratamiento B	SCB	b-1	$CMB=SCB/b-1$	CMB/CME
Interacción	SCAB	$(a-1)(b-1)$	$CMAB=SCAB/((a-1)(b-1))$	CMAB/CME
Error	SCE	$Ab(n-1)$	$CME=SCE/(ab(n-1))$	
Total	SCT	$Abn-1$		

Los resultados se compararon con un valor de una tabla F con un nivel de significancia del 5 % de error.

8. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Las diferentes especies de bambú utilizadas para el ensayo de preservación con ácido bórico, bórax y dicromato de sodio con el tratamiento de inmersión y baño caliente frío se comportan de forma similar cuantitativamente al ser sometidas al mismo ensayo, lo cual se puede observar en la retención de los preservantes utilizados.

Tabla II **Porcentaje de retención de preservante Ácido Bórico, Bórax y dicromato de sodio en relación 2 : 2 : 0.5 respectivamente**

Especie de bambú	Retención del preservante (% w/w)	
	Tratamiento de inmersión simple	Tratamiento inmersión combinada
<i>Gigantochloa apus</i>	7.79	7.28
<i>Gigantochloa verticillata</i>	7.11	7.06
<i>Dendrocalamus Asper</i>	7.44	7.69
<i>Guadua angustifolia</i>	7.91	7.73

En la tabla II se puede apreciar que no existe diferencia significativa en la retención del preservante respecto a las especies de bambú tratadas o del tratamiento utilizado; esto también se ve reflejado en la penetración del mismo.

Tabla III. Penetración de preservante Ácido Bórico, Bórax y dicromato de sodio en relación 2 : 2 : 0.5 respectivamente en cortes transversales de bambú

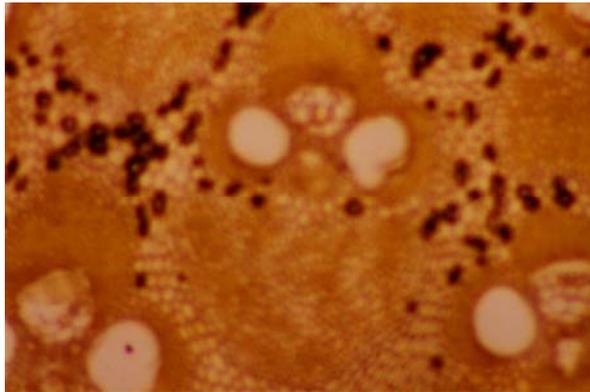
Especie de bambú	Porcentaje de penetración del preservante en cortes transversales	
	Tratamiento de inmersión simple (%)	Tratamiento de inmersión combinada (%)
<i>Gigantochloa apus</i>	57.79	57.39
<i>Gigantochloa verticillata</i>	55.65	58.28
<i>Dendrocalamus asper</i>	68.02	65.92
<i>Guadua angustifolia</i>	75.91	67.22

Con los resultados de la tabla III se realizó un anova, por medio del cual se determinó un 5 % de probabilidad de error que no existe diferencia significativa entre la penetración del preservante (ácido bórico, bórax y dicromato de sodio) y las especies tratadas (*Gigantochloa apus*, *Gigantochloa verticillata*, *Dendrocalamus Asper* y *Guadua angustifolia*) como tampoco existe diferencia significativa entre la penetración del preservante y los tratamientos utilizados (inmersión y baño caliente-frío).

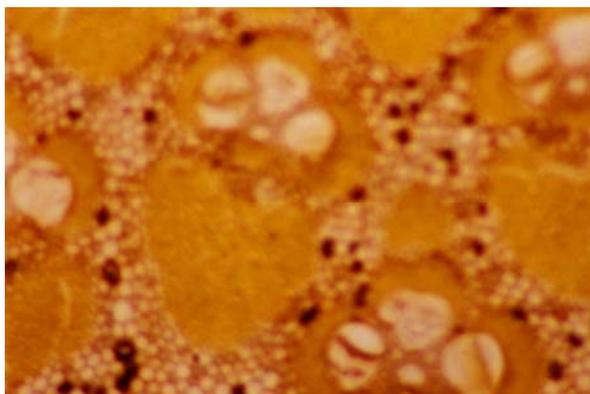
Las mediciones de la penetración se realizaron a partir de la epidermis interna hacia la epidermis externa, evaluando únicamente hasta que grosor en mm estaba presente el preservante.

La medición cualitativa se obtuvo en las observaciones microscópicas donde es posible evaluar concentraciones altas, medianas y bajas para cada una de las especies y para cada tratamiento.

**Figura 9. Concentración alta de preservante en *G. verticillata* por el tratamiento de inmersión combinada con aumento 4 X
Tinción: Cúrcuma al 10 % en etanol**



**Figura 10. Concentración mediana de preservante en *D. Asper* por el tratamiento de inmersión combinada con aumento 4 X
Tinción: Cúrcuma al 10 % en etanol**



**Figura 11. Concentración baja de preservante en *G. angustifolia* por el tratamiento de inmersión simple con aumento 1X
Tinción: Cúrcuma al 10 % en etanol**



En las figuras 9, 10 y 11 se puede apreciar el resultado de la tinción del preservante en un color naranja-pardo intenso especialmente en el área del parénquima, así como las diferentes concentraciones en que penetró, además estas concentraciones se clasifican en la tabla IV y V donde se analizó el cociente entre la penetración y el grosor de la muestra.

En la inmersión simple, se observa en tabla IV como la especie *Dendrocalamus Asper* logra el más elevado cociente con una concentración media.

En la inmersión combinada, se observa en tabla V como la especie *Dendrocalamus Asper* logra el más elevado cociente con una concentración media.

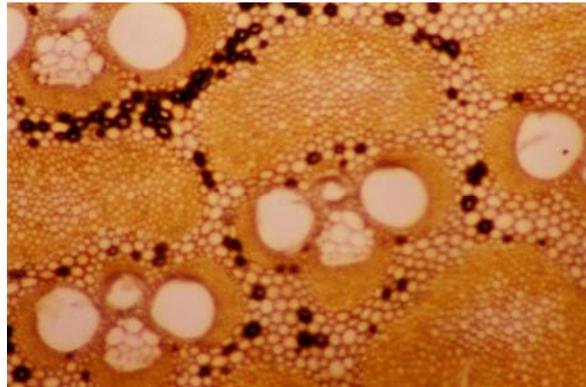
Tabla IV. Detección microscópica de preservante en las células de bambú para el tratamiento de inmersión simple

Especie	Repetición	Grosor total de la muestra (mm)	Penetración de preservante según tinción en la muestra (mm)	Cociente entre grosor de la muestra y penetración	Tipo de concentración
<i>Gigantochloa apus</i>	1	5.87	3.26	1.8	Baja
	2	5.38	4.52	1.19	Mediana
	3	6.0	2.03	2.96	Mediana
<i>Gigantochloa verticillata</i>	1	6.99	4.53	1.54	Alta
	2	4.46	2.34	1.91	Mediana
	3	4.45	2.21	2.01	Baja
<i>Dendrocalamus Asper</i>	1	6.73	1.51	4.46	Mediana
	2	7.68	6.04	1.27	Alta
	3	7.1	3.13	2.27	Mediana
<i>Guadua angustifolia</i>	1	4.75	2.85	1.67	Mediana
	2	5.21	1.75	2.98	Baja
	3	4.53	3.27	1.39	Mediana

Tabla V. Detección de preservantes en las células de bambú para el tratamiento por inmersión combinada

Especie	Repetición	Grosor total de la muestra (mm)	Penetración de preservante según tinción en la muestra (mm)	Cociente entre grosor de la muestra y penetración	Tipo de concentración
<i>Gigantochloa apus</i>	1	7.44	3.13	2.38	Alta
	2	7.35	4.32	1.7	Alta
	3	6.93	2.98	2.33	Alta
<i>Gigantochloa verticillata</i>	1	5.96	3.73	1.6	Alta
	2	6.01	2.3	2.61	Alta
	3	6.27	1.95	3.22	Alta
<i>Dendrocalamus Asper</i>	1	7.21	5.33	1.35	Mediana
	2	6.6	1.28	5.16	Mediana
	3	6.94	3.41	2.04	Mediana
<i>Guadua angustifolia</i>	1	5.55	2.04	2.72	Baja
	2	5.66	2.06	2.75	Mediana
	3	4.77	1.53	3.12	Mediana

**Figura 12. Preservante en parénquima en *G. verticillata* en tratamiento por inmersión simple con aumento 4 X
Tinción: Cúrcuma al 10 % en etanol**

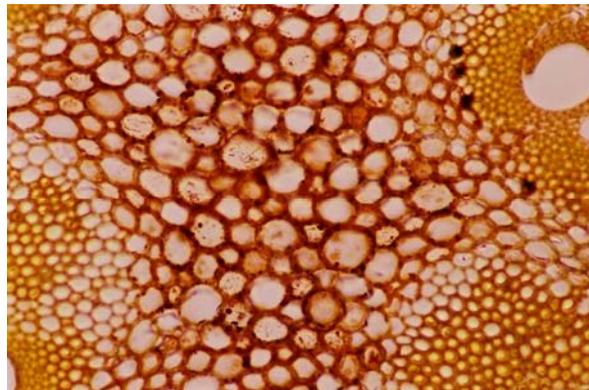


En la figura 12 se observa que el preservante se localizó especialmente en el parénquima de cada especie. Los vasos del metaxilema son los principales canales de penetración y circulan en una fuerte dirección axial o apical. En el entrenudo, estos vasos están aislados unos de otros por el parénquima. La circulación por los vasos se reduce tan pronto como el culmo es cosechado y madurado. Como reacción a la herida se desarrollan tiloses y limos en las células del parénquima vecino que se desplazan hacia los vasos, bloqueando la cavidad conductiva (11); por ello no existe presencia de preservante en los haces vasculares.

También es posible apreciar en la figura 12 que no hay preservante en las fibras. No existen células orientadas radialmente como si existen en la madera. Estas células radiales son esenciales en la madera para facilitar la movilización de líquidos desde la periferia hacia la parte interna. Por tal razón el movimiento horizontal de los preservantes desde los haces vasculares hacia el tejido de parénquima vecino y hacia las fibras se realiza únicamente por difusión y es muy lento (11).

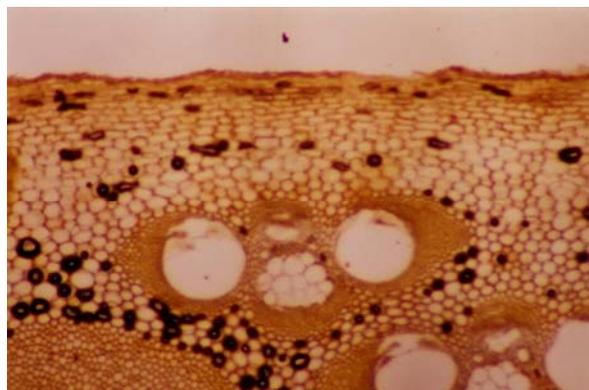
En la figura 13 se puede observar el preservante adherido a las paredes celulares del parénquima.

Figura 13. Preservante adherido a paredes celulares en *G. angustifolia* en tratamiento de inmersión combinada con aumento 1 X
Tinción: Cúrcuma al 10 % en etanol



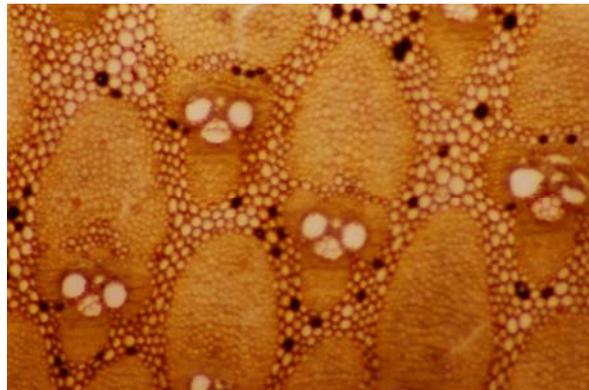
La difusión es llevada a cabo desde la pared interna del culmo donde existe más parénquima susceptible al ataque de insectos (por su contenido de almidón) y cuyas fibras son menores alrededor del haz vascular como se aprecia en la figura 14.

Figura 14. Epidermis interna en *G. angustifolia* en tratamiento por inmersión combinada con aumento 4 X
Tinción: Cúrcuma al 10 % en etanol



Luego, el preservante se difundió hasta la pared externa donde el contenido parenquimatoso es menor y las fibras mayores y alargadas alrededor del haz vascular como se observa en la figura 15.

**Figura 15. Cerca de epidermis externa en *G. Apus* en tratamiento por inmersión simple con aumento 4 X
Tinción: Cúrcuma al 10 % en etanol**



La naturaleza rígida de la epidermis externa impide la difusión del preservante a través de la misma, dejando únicamente como opción la difusión del mismo a partir de la epidermis interna, es decir se crea una limitante en el área del bambú; lo que se ha reflejado en las mediciones cuantitativas de retención y penetración.

CONCLUSIONES

1. No existe diferencia significativa, con un 5% de probabilidad de error entre los valores de penetración del preservante (Acido bórico-Bórax-Dicromato de sodio) y las especies de bambú tratadas (*Gigantochloa apus*, *Gigantochloa verticillata*, *Dendrocalamus Asper* y *Guadua angustifolia*).
2. No existe diferencia significativa, con un 5% de probabilidad de error entre los valores del preservante (Acido bórico-Bórax-Dicromato de sodio) y el tratamiento de impregnación utilizado (Inmersión y Baño caliente-frío).
3. La evaluación microscópica de la penetración del preservante indica que las concentraciones más altas de preservante fueron localizadas en el parénquima de cada especie.
4. La especie *Dendrocalamus Asper* alcanzó el mejor cociente entre grosor de la muestrtra y penetración de preservante para ambos tratamientos: tanto del tratamiento de inmersión simple como de inmersión combinada, además, de una concentración mediana, según la evaluación microscópica.

RECOMENDACIONES

1. Secar el bambú previo a su tratamiento de preservación tal como se realizó en el presente ensayo para obtener mejores resultados en la preservación del mismo.
2. Evaluar el proceso de impregnación con el preservante utilizado en ésta investigación, pero realizando una variación de tiempos en las etapas del tratamiento Baño caliente-baño frío para obtener mejores resultados.
3. Evaluar la penetración y retención del preservante Acido bórico-Bórax-Dicromato de sodio a diferentes concentraciones.
4. Someter el material tratado a la resistencia del ataque de coleópteros que actualmente invaden el bambú, según norma ASTM D 3345-74

BIBLIOGRAFÍA

1. Bambú. **Instituto técnico de capacitación y productividad.** Guatemala, 1984 p 5-7
2. Figueroa Calderón, Marco Tulio. **El bambú y el fibrocemento en la vivienda económica de Mazatenango.** Instituto técnico de capacitación y productividad. Guatemala, 1990 p 20-50
3. Godínez Mansilla, William Ramón. Ingeniería de la madera en Guatemala. Tesis Ing. Civil, Guatemala, universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 1996, p 80-84
4. Herrera Prera, Julio Roberto. Sistema constructivo a base de paneles de madera y bambú. Tesis Ing. Civil, Guatemala, universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 1989 p 9-14
5. Johnston, Daniel. **La madera, clases y características.** España: Ediciones CEAC, S.A., 1991 p 30-35, 40-44, 55-57
6. López Reyna, Ray Jorge Fabricio. Análisis comparativo de dos tipos de madera mediante el tratamiento de compuestos a base de boratos. Tesis Ing. Quím. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, p 15-29

7. Menéndez Cahueque, Raúl. Caracterización de 11 cultivares de bambú en la finca Chicolá, Suchitepequez. Tesis Ing. Agro. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía, 1983 p 4-5, 10-31, 52-53
8. Stamm, Jörg. Memorias seminario taller diseño y construcción de puentes en guadua. Universidad Tecnológica de Pereira. Colombia, 2000
9. Urrutia Revilla, Juan Francisco. Propiedades fisico-mecánicas de 6 especies de bambú de la finca Chicolá, Suchitepequez. Tesis Ing. Civil, universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 1983 p 15-40
10. Vivas Acevedo, Claudia del Carmen. Eficacia del tratamiento químico con pentaclorofenol, sales CCA-C y Wontrot en tres especies de madera contra el ataque de termitas subterráneas. Tesis Ing. Quím. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2000 p 16-24; 27-38
11. www.conbam.de **Construcción con bambú.** 25 de octubre de 2005.
12. www.gadua.biz **El portal de la Guadua.** 10 de enero de 2006.

APÉNDICE

Tabla VI. Retención del preservante Ácido Bórico, Bórax y dicromato de sodio en relación 2 : 2 : 0.5 respectivamente, en el tratamiento de inmersión simple

Especie de bambú	Masa antes de preservar	Masa después de preservar	Incremento de la masa original (g)
<i>Gigantochloa apus</i>	117.03	126.15	9.12
<i>Gigantochloa verticillata</i>	100.92	108.1	7.18
<i>Dendrocalamus Asper</i>	150.44	161.64	11.2
<i>Guadua angustifolia</i>	78.51	84.72	6.21

Tabla VII. Retención del preservante Ácido Bórico, Bórax y dicromato de sodio en relación 2 : 2 : 0.5 respectivamente, en el tratamiento de inmersión combinada

Especie de Bambú	Masa antes de preservar	Masa después de preservar	Incremento de la masa original (g)
<i>Gigantochloa apus</i>	91.65	98.32	6.67
<i>Gigantochloa verticillata</i>	72.23	77.33	5.1
<i>Dendrocalamus Asper</i>	119.97	129.2	9.23
<i>Guadua angustifolia</i>	48.76	52.53	3.77

Tabla VIII. Detección microscópica de preservante en las células de bambú para el tratamiento de inmersión simple

Especie	Repetición	Grosor total de la muestra (mm)	Penetración de preservante según tinción en la muestra (mm)	Cociente entre grosor de la muestra y penetración	Tipo de concentración
<i>Gigantochloa apus</i>	1	5.87	3.26	1.8	Baja
	2	5.38	4.52	1.19	Mediana
	3	6.0	2.03	2.96	Mediana
<i>Gigantochloa verticillata</i>	1	6.99	4.53	1.54	Alta
	2	4.46	2.34	1.91	Mediana
	3	4.45	2.21	2.01	Baja
<i>Dendrocalamus Asper</i>	1	6.73	1.51	4.46	Mediana
	2	7.68	6.04	1.27	Alta
	3	7.1	3.13	2.27	Mediana
<i>Guadua angustifolia</i>	1	4.75	2.85	1.67	Mediana
	2	5.21	1.75	2.98	Baja
	3	4.53	3.27	1.39	Mediana

Tabla IX. Detección de preservantes en las células de bambú para el tratamiento por inmersión combinada

Especie	Repetición	Grosor total de la muestra (mm)	Penetración de preservante según tinción en la muestra (mm)	Cociente entre grosor de la muestra y penetración	Tipo de concentración
<i>Gigantochloa apus</i>	1	7.44	3.13	2.38	Alta
	2	7.35	4.32	1.7	Alta
	3	6.93	2.98	2.33	Alta
<i>Gigantochloa verticillata</i>	1	5.96	3.73	1.6	Alta
	2	6.01	2.3	2.61	Alta
	3	6.27	1.95	3.22	Alta
<i>Dendrocalamus Asper</i>	1	7.21	5.33	1.35	Mediana
	2	6.6	1.28	5.16	Mediana
	3	6.94	3.41	2.04	Mediana
<i>Guadua angustifolia</i>	1	5.55	2.04	2.72	Baja
	2	5.66	2.06	2.75	Mediana
	3	4.77	1.53	3.12	Mediana

Tabla X. Análisis de varianza para la penetración del preservante

Fuente de Variación	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Media de cuadrados	Fc
Tratamiento de impregnación	927.46	3	309.15	F1 = 1.74
Especie	27.5	1	27.5	F2 = 0.16
Interacción Especie tratamiento de impregnación *	102.99	3	34.33	F3 = 0.19
Error	2847.19	16	177.95	
Total	3905.14	23		

Figura 16. Bambú sin preservar , coloración natural con aumento de 40X

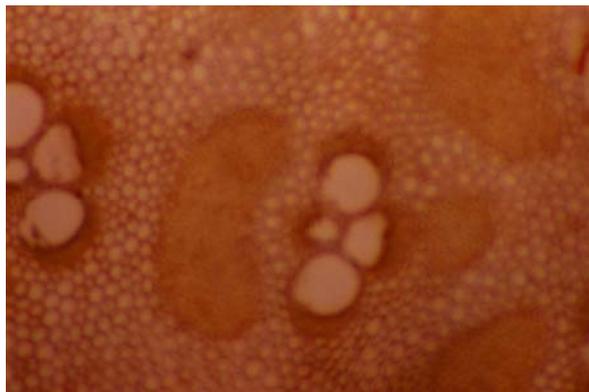


Figura 17. Bambú sin preservar , coloración natural con aumento de 20X

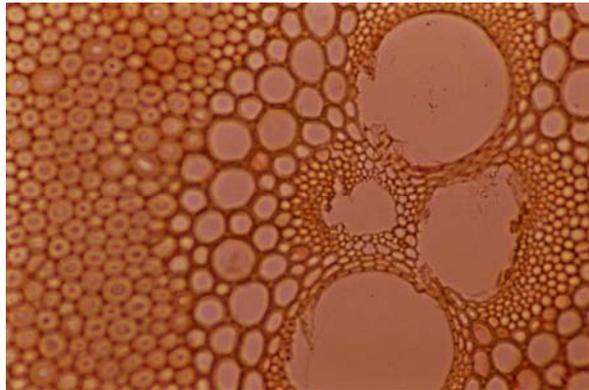
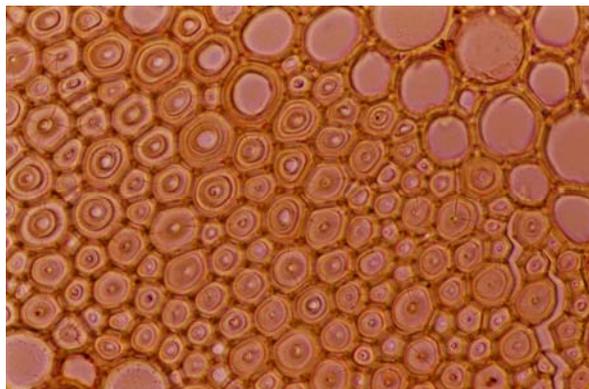


Figura 18. Parénquima de bambú sin preservar , coloración natural con aumento de 10X



COSTOS

Tabla XI. Costos de la investigación

Etapa	Costo
Fase de Investigación teórica	Q 500.00
Investigación de campo	Q 300.00
Parte experimental química	Q 1,000.00
Parte experimental microscopía	Q 2,000.00
Documentación e impresiones	Q 800.00
TOTAL	Q 4,600.00