



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

**EVALUACIÓN DE LA PRESERVACIÓN QUÍMICA POR EL  
MÉTODO DE IMPREGNACIÓN AL VACÍO CON ÓXIDOS CCA  
EN 4 ESPECIES DE BAMBÚ**

**Luis Alberto Sologaistoa Romero**

Asesorado por la Inga. Telma Maricela Cano Morales

Guatemala, septiembre de 2006



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**EVALUACIÓN DE LA PRESERVACIÓN QUÍMICA POR EL  
MÉTODO DE IMPREGNACIÓN AL VACÍO CON ÓXIDOS CCA  
EN 4 ESPECIES DE BAMBÚ**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

**LUIS ALBERTO SOLOGAISTOA ROMERO**

ASESORADO POR LA INGA. TELMA MARICELA CANO MORALES

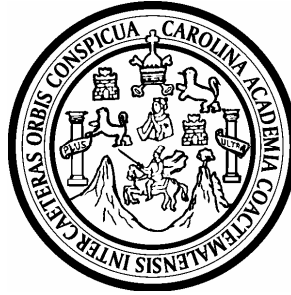
AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO QUÍMICO**

GUATEMALA, SEPTIEMBRE DE 2006



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

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

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Sydney Alexander Samuels Milson
EXAMINADOR	Ing. José Manuel Tay Oxoron
EXAMINADOR	Ing. José Eduardo Calderón García
EXAMINADOR	Ing. Jaime Domingo Carranza Gonzáles
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:

### **EVALUACIÓN DE LA PRESERVACIÓN QUÍMICA POR EL MÉTODO DE IMPREGNACIÓN AL VACÍO CON ÓXIDOS CCA EN 4 ESPECIES DE BAMBÚ,**

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

Luis Alberto Sologaistoa Romero





## **DEDICATORIA A:**

- Dios** Por llenar mi vida de bendiciones, darme la sabiduría para enfrentar las adversidades y por permitirme vivir momentos de tanta alegría junto a mis seres queridos.
- Mis padres** Luis Alberto Sologaistoa Recinos y Ana Leticia Romero de Sologaistoa, por ser los mejores padres que pude haber tenido, por enseñarme con su ejemplo a luchar en la vida y por brindarme su apoyo y amor incondicionalmente. Los amo con todo mi corazón.
- Mis hermanos** Licda. Ana Guisela Sologaistoa Romero y Oscar Ernesto Sologaistoa Romero, por ser mis dos grandes amores, gracias por estar conmigo siempre y por hacer de mí el hermano más dichoso y envidiado del mundo.
- Mi abuelita** Margarita Mérida de León, por ser mi ejemplo de madre y abuelita perfecta, por que siempre me brindó su amor y apoyo y por compartir conmigo en los momentos más importantes de mi vida.



**Mis sobrinos**

Karlita Palacios Sologaistoa, por llenar nuestras vidas de alegría y amor y por el angelito que viene en camino te estamos esperando con ansias para conocerte. A mi ahijado Pablo Roberto, por ser esa chispa de incontrolable alegría en su familia.

**Mis primos y tíos**

Por compartir conmigo los momentos más importantes de mi vida, haciéndome sentir orgulloso de ser parte de esta familia. En especial a mi prima Kandy, por ayudarme cuando más la necesite gracias.

**Mi novia**

Inga. María del Rosario Gudiel Sandoval, por estar conmigo en todo momento y por impulsarme a seguir adelante, gracias por llenar mi vida de alegría. Te quiero mucho mi amor.

**Mi cuñado**

Lic. Carlos Leonel Palacios, por querer y proteger como lo has hecho a mi hermana, y por brindarme tu apoyo en todo momento.

**Mis amigos**

Por compartir los momentos más inolvidables de mi vida.



## **AGRADECIMIENTOS A:**

- La Universidad de San Carlos de Guatemala** Por ser la casa de estudio a la que me llena de orgullo pertenecer y a la que representaré con mucha dignidad en mi desarrollo profesional.
- La Escuela de Ingeniería Química** Por proveerme de los conocimientos necesarios para desarrollarme como un profesional de la rama de Ingeniería Química.
- Mi asesora** Inga. Telma Maricela Cano Morales, por su tiempo desinteresado, apoyo incondicional y aporte científico en el desarrollo del presente trabajo de graduación.
- Mi revisor** Ing. César García Guerra, por sus invaluable aportes para la solidez del presente trabajo de graduación.
- La finca Panamá** Por ser el ente interesado en el desarrollo del presente estudio.
- La empresa Maderas y Machimbres, S.A.** Por su desinteresada ayuda en el desarrollo de la ciencia, en especial al Ing. Alvaro Samayoa.



**Al Laboratorio de Química Industrial del Centro de Investigación de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala**

Por proveerme de las instalaciones, equipo y reactivos necesarios para la realización de ensayos elaborados en el presente trabajo de graduación.

**Al Laboratorio de Microscopía de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala**

Inga. Myrna Ethel Herrera Sosa y el analista Juan Cecilio Palencia Martínez, por proveer una perspectiva complementaria al estudio, como lo es la microscopía, gracias por su arduo trabajo.









## ÍNDICE GENERAL

<b>ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....</b>	<b>VII</b>
<b>LISTA DE SÍMBOLOS.....</b>	<b>XIII</b>
<b>GLOSARIO.....</b>	<b>XV</b>
<b>RESUMEN.....</b>	<b>XXI</b>
<b>OBJETIVO.....</b>	<b>XXIII</b>
<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>XXV</b>
<b>1. ASPECTOS GENERALES.....</b>	<b>1</b>
1.1 El bambú.....	1
1.1.1 Descripción de órganos del bambú.....	2
1.1.2 Clasificación de las especies, según sus órganos y estructuras.....	6
1.1.2.1 Rizoma.....	6
1.1.2.2 Brote.....	6
1.1.2.3 Envoltura del tallo.....	7
1.1.2.4 Tallos y ramas.....	7
1.1.2.5 Hojas.....	7
1.1.3 Anatomía microscópica del bambú.....	8
1.1.4 Especies de bambú en estudio.....	10
1.1.4.1 Dendrocalamus asper.....	10
1.1.4.2 Gigantochloa verticillata.....	11
1.1.4.3 Guadua angustifolia.....	11
1.1.4.4 Gigantochloa apus.....	12
1.1.5 Usos y aplicaciones del bambú.....	12
1.1.5.1 Construcción.....	13

1.1.5.2	Industrialización.....	13
		14
1.1.6	Insectos dañinos al bambú.....	
1.1.6.1	Enrolladoras de la hoja: Crocidophor evonoralis Walker.....	14
1.1.6.2	Picudo Gigante de Taiwán (Rhynchophorus longimanus Fab).....	14
1.1.6.3	Afido de la hoja del bambú (Asterogopterys bambusifoliae takahashi).....	14
1.1.6.4	Afido del tallo (Pseudoregma Bambusicola, Takashi).....	15
1.1.6.5	Bostrychidae Rhizopertha Dominica.....	15
<b>2</b>	<b>PRESERVACIÓN DEL BAMBÚ.....</b>	<b>17</b>
2.1	Preservación natural.....	17
2.1.1	Elección del tiempo de cosecha.....	17
2.1.2	Corte.....	17
2.1.3	Curado.....	18
2.1.3.1	Curado en mata.....	18
2.1.3.2	Curado por inmersión.....	18
2.1.3.3	Curado por calentamiento.....	18
2.1.4	Secado natural y artificial .....	19
2.2	Preservación química.....	20
2.2.1	Preservantes .....	20
2.2.1.1	Preservantes hidrosolubles.....	21
2.2.1.1.1	Óxidos CCA.....	21
2.2.2	Factores relacionados al métodos de impregnación	22

	2.2.2.1	Tipo de preservante.....	22
	2.2.2.2	Presión.....	23
	2.2.2.3	Temperatura.....	24
	2.2.2.4	Tiempo.....	24
	2.2.3	Procesos con presión artificial.....	25
	2.2.3.1	Proceso Bethell.....	25
2.3		Evaluación de la impregnación.....	26
	2.3.1	Retención.....	27
	2.3.2	Penetración.....	28
2.4		Colorantes o indicadores.....	28
	2.4.1	Indicadores químicos o visuales.....	28
	2.4.2	Sustancias quelantes.....	30
	2.4.3	Cromo azurol S.....	32
2.5		Difusión.....	33
	2.5.1.1	Fundamentos de la transferencia de masa	34
	2.5.1.2	Generalidades del transporte de masa molecular .....	36
	2.5.1.3	Difusión molecular en sólidos.....	38
<b>3</b>		<b>METODOLOGÍA EXPERIMENTAL.....</b>	<b>41</b>
	3.1	Localización.....	41
	3.2	Recursos humanos.....	41
	3.3	Recursos materiales.....	42
	3.3.1	Reactivos.....	42

3.4	Equipo y critalería.....	42
3.4.1	Impregnadora al vacío.....	43
3.5	Procedimientos.....	45
3.5.1	Recolección y preparación de muestras.....	45
3.5.2	Impregnación.....	47
3.5.3	Determinación de la retención.....	48
3.5.4	Determinación de la penetración.....	48
3.5.5	Diagrama de flujo del procedimiento.....	52
3.6	Diseño del estudio.....	54
3.7	Manejo del estudio.....	55
3.8	Diseño experimental.....	56
3.8.1	Variables independientes.....	56
3.8.2	Variable respuesta.....	56
3.9	Hipótesis.....	56
3.9.1	Hipótesis nula.....	57
3.9.2	Hipótesis alternativa.....	57
3.10	Análisis estadístico.....	57
<b>4</b>	<b>RESULTADOS.....</b>	<b>59</b>
4.1	Retención.....	59
4.2	Penetración.....	60
4.2.1	Perfil de penetración .....	65
4.2.2	Penetración en tratamientos.....	66
4.3	Análisis estadístico.....	70
<b>5</b>	<b>DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....</b>	<b>73</b>
5.1.	Retención.....	73
5.2.	Penetración.....	75

5.3.	Índice de impregnación .....	77
5.4	Análisis estadístico.....	78
<b>CONCLUSIONES.....</b>		<b>81</b>
<b>RECOMENDACIONES.....</b>		<b>83</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>		<b>85</b>
<b>ANEXOS.....</b>		<b>91</b>





## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1	Órganos del bambú. ....	2
2	Vista completa del bambú. ....	3
3	Tipos de rizomas en el bambú. ....	4
4	Esquema detallado de rizomas.....	6
5	Partes de la anatomía microscópica del bambú.....	9
6	Vista microscópica de la anatomía del bambú.....	10
7	Esquema del coleóptero Bostrychidae Rhizopertha Dominica.	16
8	Etapas del proceso Bethell. ....	26
9	Estructura molecular de Cromo Azurol S.....	33
10	Esquema de la difusión en sólidos. ....	40
11	Cavidad interior de la impregnadora al vacío.....	44
12	Vista exterior de la impregnadora al vacío.....	44
13	Vista de varas de bambú enteras.....	46
14	Vista de vara perforada lateralmente en entrenudos.....	46
15	Vista de vara cortada lateralmente.....	47
16	Esquema de la toma de muestras a lo largo de la vara de bambú. . ....	49
17	Diagrama de la muestra a tomar en las varas de bambú.....	50
18	Esquema de metodología de medición para la penetración en las muestras de las varas de bambú.....	51
19	Retención promedio de las 4 especies de bambú en los tratamientos realizados.....	60

20	Cuadro comparativo de vistas de corte sin preservante con diferentes aumentos. ....	61
21	Cuadro comparativo en la anatomía microscópica de las 4 especies de bambú con lente de 4X. ....	62
22	Cuadro comparativo en la concentración de coloración en vista 4X. . ....	63
23	Vista macro de la concentración de tinción.....	64
24	Perfil de penetración en las 4 especies de bambú en varas completas impregnadas con óxidos CCA.....	66
25	Porcentaje de penetración promedio del preservante en los 3 tratamientos para las 4 especies de bambú.....	67
26	Cuadro comparativo para cortes de <i>Dendrocalamus Asper</i> para los 3 diferentes tratamientos con lente de 4X.....	68
27	Índice de impregnación del preservante en los 3 tratamientos para las 4 especies de bambú.....	69

## TABLAS

I	Porcentajes de los activos en diferentes tipos de óxidos CCA.....	22
II	Relación entre presión del tratamiento y tiempo de de aplicación en las variables de retención y penetración.....	23
III	Descripción de las muestras del estudio.....	55
IV	Retención promedio con su desviación estándar en gramos de preservante por gramo de bambú.....	59

V	Perfil de penetración en las 4 especies de bambú con la concentración de coloración observada.....	65
VI	Porcentaje de penetración promedio con su desviación estándar del preservante óxidos CCA en los diferentes tratamientos de las 4 especies de bambú.....	67
VII	Índice de impregnación (retención/penetración) del preservante óxidos CCA en los diferentes tratamientos de las 4 especies de bambú.....	69
VIII	Análisis estadístico para medias de la retención y penetración para las 4 especies de bambú.....	70
IX	Análisis estadístico para varianzas de la retención y penetración para las 4 especies de bambú.....	71
X	Fórmulas para análisis estadístico de igualdad de medias....	90
XI	Retención en gramos de preservante por gramo de bambú para la especie <i>Gigantochloa Apus</i> , con tratamiento de vara completa.....	93
XII	Retención en gramos de preservante por gramo de bambú para la especie <i>Gigantochloa Apus</i> , con tratamiento de vara perforada lateralmente. ....	93
XIII	Retención en gramos de preservante por gramo de bambú para la especie <i>Gigantochloa Apus</i> , con tratamiento de vara cortada longitudinalmente. ....	94
XIV	Retención en gramos de preservante por gramo de bambú para la especie <i>Gigantochloa Verticillata</i> , con tratamiento de vara completa. . ....	94
XV	Retención en gramos de preservante por gramo de bambú para la especie <i>Gigantochloa Verticillata</i> , con tratamiento de vara perforada lateralmente. . ....	95

XVI	Retención en gramos de preservante por gramo de bambú para la especie <i>Gigantochloa Verticillata</i> , con tratamiento de vara cortada longitudinalmente. . . . .	95
XVII	Retención en gramos de preservante por gramo de bambú para la especie <i>Guadua Angustifolia</i> , con tratamiento de vara completa. . . . .	96
XVIII	Retención en gramos de preservante por gramo de bambú para la especie <i>Guadua Angustifolia</i> , con tratamiento de vara perforada lateralmente. . . . .	96
XIX	Retención en gramos de preservante por gramo de bambú para la especie <i>Guadua Angustifolia</i> , con tratamiento de vara cortada longitudinalmente. . . . .	97
XX	Retención en gramos de preservante por gramo de bambú para la especie <i>Dendrocalamus Asper</i> , con tratamiento de vara completa. . . . .	97
XXI	Retención en gramos de preservante por gramo de bambú para la especie <i>Dendrocalamus Asper</i> , con tratamiento de vara perforada lateralmente.....	98
XXII	Retención en gramos de preservante por gramo de bambú para la especie <i>Dendrocalamus Asper</i> , con tratamiento de vara cortada longitudinalmente.....	98
XXIII	Perfil de penetración de óxidos CCA en porcentaje de penetración, para las 4 especies de bambú.....	99
XXIV	Penetración del preservante en los diferentes tratamientos para las 4 especies de bambú.. . . .	100
XXV	Índice de impregnación para los diferentes tratamientos en las 4 especies de bambú.....	101
XXVI	Sumatorias para el análisis estadístico de medias para la retención de la especie <i>Gigantochloa Verticillata</i> .....	102

XXVII	Análisis estadístico de medias para la retención para la especie <i>Gigantochloa Verticillata</i> . . . . .	102
XXVIII	Sumatorias para el análisis estadístico de medias para la penetración de la especie <i>Gigantochloa Verticillata</i> . . . . .	103
XXIX	Análisis estadístico de medias para la penetración para la especie <i>Gigantochloa Verticillata</i> . . . . .	103
XXX	Datos para el análisis estadístico de varianza para la retención de la especie <i>Gigantochloa Verticillata</i> . . . . .	104
XXXI	Datos para el análisis estadístico de varianza para la penetración de la especie <i>Gigantochloa Verticillata</i> . . . . .	104
XXXII	Sumatorias para el análisis estadístico de medias para la retención de la especie <i>Gigantochloa Apus</i> . . . . .	105
XXXIII	Análisis estadístico de medias para la retención para la especie <i>Gigantochloa Apus</i> . . . . .	105
XXXIV	Sumatorias para el análisis estadístico de medias para la penetración de la especie <i>Gigantochloa Apus</i> . . . . .	106
XXXV	Análisis estadístico de medias para la penetración para la especie <i>Gigantochloa Apus</i> . . . . .	106
XXXVI	Datos para el análisis estadístico de varianza para la retención de la especie <i>Gigantochloa Apus</i> . . . . .	107
XXXVII	Datos para el análisis estadístico de varianza para la penetración de la especie <i>Gigantochloa Apus</i> . . . . .	107
XXXVIII	Sumatorias para el análisis estadístico de medias para la retención de la especie <i>Guadua Angustifolia</i> . . . . .	108
IXL	Análisis estadístico de medias para la retención para la especie <i>Guadua Angustifolia</i> . . . . .	108
XL	Sumatorias para el análisis estadístico de media para la penetración de la especie <i>Guadua Angustifolia</i> . . . . .	109

XLI	Análisis estadístico de medias para la penetración para la especie <i>Guadua Angustifolia</i> . .....	109
XLII	Datos para el análisis estadístico de varianza para la retención de la especie <i>Guadua Angustifolia</i> .....	110
XLIII	Datos para el análisis estadístico de varianza para la penetración de la especie <i>Guadua Angustifolia</i> .....	110
XLIV	Sumatorias para el análisis estadístico de medias para la retención de la especie <i>Dendrocalamus Asper</i> . .....	111
XLV	Análisis estadístico de medias para la retención para la especie <i>Dendrocalamus Asper</i> . .....	111
XLVI	Sumatorias para el análisis estadístico de medias para la penetración de la especie <i>Dendrocalamus Asper</i> . .....	112
XLVII	Análisis estadístico de medias para la penetración para la especie <i>Dendrocalamus Asper</i> . .....	112
XLVIII	Datos para el análisis estadístico de varianza para la retención de la especie <i>Dendrocalamus Asper</i> .....	113
IL	Datos para el análisis estadístico de varianza para la penetración de la especie <i>Dendrocalamus Asper</i> .....	113

## LISTA DE SÍMBOLOS

$\alpha$	Nivel de significancia.
$\mu$	Media poblacional.
$\sigma^2$	Varianza poblacional.
B	Factor calculado para distribución Barlett.
F	Factor calculado para la distribución F.
g	Gramos.
mm	Milímetros.
Pn	Penetración.
$Pn_{i \text{ PROM}}$	Penetración promedio del i-ésimo tratamiento.
$Pn_{\text{PROM}}$	Penetración promedio de las nk muestras.
$PV_1$	Peso de la vara de bambú antes de la impregnación.
$PV_2$	Peso de la vara impregnada de bambú.
Re	Retención de preservante en la vara de bambú.
$Re_{\text{PROM}}$	Retención promedio de las nk muestras.
$Re_{i \text{ PROM}}$	Retención promedio del i-ésimo tratamiento.
S	Desviación estándar de las muestras.
$S^2$	Varianza de las muestras.





## GLOSARIO

<b>Acicular</b>	Se denominan así en botánica a las hojas largas, delgadas y puntiagudas a modo de aguja. El término procede del latín <i>aciculatus</i> .
<b>Bambú</b>	Planta de la familia de las gramíneas, se caracteriza por tener tallo leñoso, ramaje complejo, rizomas robusto, adaptable, floración infrecuente y existen variedades tanto caducas como de hoja perenne.
<b>Brote</b>	Crecimiento dentro de tallo del bambú que extiende su tamaño de tallo y número de ramas.
<b>Célula del mesófilo</b>	Cualquier célula situada entre la epidermis superior y la inferior de una hoja.
<b>Clorénquima</b>	Parénquima especializado en la realización de la fotosíntesis. Sus células están cargadas de cloroplastos. Se sitúan en zonas subepidérmicas. Otros nombres: parénquima clorofílico y parénquima fotosintetizador y parénquima asimilador.
<b>Cogollo</b>	Sinónimo de brote.
<b>Coleóptero</b>	(del griego <i>koleos</i> , estuche; <i>pteron</i> , alas) orden de insectos, cuya característica principal es que el primer par de alas se encuentran transformadas y endurecidas, protegiendo al segundo par.

<b>Curado</b>	Método de preservación natural en donde se busca eliminar la savia y humedad del bambú.
<b>Difusión</b>	La difusión es el movimiento de los átomos en un material. Los átomos se mueven de manera ordenada, tendiendo a eliminar las diferencias de concentración y producir una composición homogénea del material.
<b>Difusividad</b>	Resistencia se expresa como una constante de proporcionalidad entre la velocidad de transferencia y la diferencia de concentraciones
<b>Entrenudo</b>	Parte del tallo del bambú que se encuentra en medio de cada nudo.
<b>Epidermis</b>	Tejido protector de las partes jóvenes de la planta. Sus células suelen ser aplanadas y no dejan espacios intercelulares. La epidermis de las zonas aéreas de la planta segrega una capa orgánica exterior llamada cutícula. En las hojas suele presentarse una epidermis superior frecuentemente cutinizada y con escasos estomas y una epidermis inferior a menudo menos impermeable y con mayor densidad de estomas.
<b>Especie</b>	Variedad en las características físicas de un grupo de plantas que la hace diferente a las demás.

<b>Estomas</b>	Estructuras epidérmicas encargadas de controlar la transpiración en los tejidos frescos de la planta. Consta de dos células oclusivas que delimitan un orificio llamado ostiolo que se hace mayor cuando las células oclusivas están turgentes. Consta además de unas células anexas que rodean a las anteriores y que participan en la fisiología de la apertura y cierre del ostiolo.
<b>Floema</b>	Estructura vegetal ("tejido") formado por cuatro tipos celulares: Elementos de los tubos cribosos, células cribosas, fibras y parénquima. Su función es la conducción de un fluido concentrado de moléculas orgánicas tradicionalmente conocido como savia elaborada.
<b>Floración</b>	Período en donde el bambú es capaz de reproducirse y hacer crecer sus terminaciones de ramas, hojas y tallos.
<b>Gramínea</b>	Plantas que se reproducen por medio de rizomas.
<b>Haz vascular</b>	Conjunto de células xilemáticas y floemáticas especializadas en la conducción. Se presentan en los tallos y raíces jóvenes y formando los nervios de las hojas.
<b>Hoja</b>	Parte terminal de las ramas, cuya función principal es la de realizar la actividad de respiración de la planta.
<b>Humedad</b>	Gramos de agua que está contenida en 100 gramos del sólido.

<b>Impregnación</b>	Método físico en donde un líquido es absorbido por un sólido, haciéndolo parte integral de su estructura.
<b>Impregnabilidad</b>	Capacidad de absorción del líquido por el sólido.
<b>Indicador</b>	Sustancia química que toma diferentes tonalidades de colores con el fin de identificar la presencia o ausencia de otra sustancia química.
<b>Inmunizar</b>	Propiedad o característica que indica la resistencia al ataque de un agente externo.
<b>Lanceolado</b>	Que tiene una forma semejante al final de una lanza.
<b>Ley de Fick</b>	La ley de Fick es el modelo matemático que describe la transferencia molecular de masa, en sistemas o procesos donde puede ocurrir solo difusión o bien difusión más convección
<b>Lignina</b>	Polímero fenólico que crece en las tres dimensiones. Impregna de forma más o menos intensa la pared celular de muchas células vegetales confiriéndoles una alta resistencia mecánica a la compresión.
<b>Mesófilo</b>	Parénquima clorofiliano de las hojas, puede ser en empalizada, esponjoso o indiferenciado.
<b>Normas ASTM</b>	Conjunto de procedimientos que son estandarizados y avalados mundialmente por la institución ASTM, para el análisis de diferentes materiales.

<b>Parénquima</b>	Tejido vegetal de los denominados "fundamentales". La forma y función de las células parenquimáticas es muy variable, pero todas tienen en común el carecer de pared secundaria o tenerla muy fina y poco o nada lignificada y el ser células vivas con un metabolismo mas o menos activo.
<b>Paquimorfo</b>	Tipo de rizoma caracterizado por entrenudos conos, gruesos y típicos del género Guadua
<b>Porcentaje pérdida en peso</b>	Medida en porcentaje que analiza la diferencia en peso de la material con el transcurrir del tiempo al ser expuesto aun agente externo.
<b>Preservación</b>	Método cuya finalidad es prolongar la vida útil de un material en especial.
<b>Rizoma</b>	Raíces reproductivos por medio de la cual se reproduce las especies gramíneas, como bambú
<b>Sales y Óxidos CCA</b>	Preservante químico de maderas conformado por sales de cobre, cromo y arsénico.
<b>Secado</b>	Operación unitaria que consiste en remover el agua que se encuentra dentro de la composición de un sólido por medio de calor.
<b>Simpodial</b>	Tipo de crecimiento donde la yema lateral reemplaza a la yema terminal que muere cada año

<b>Tallo</b>	Estructura del cuerpo que da la forma, resistencia y verticalidad de las plantas como el bambú.
<b>Termita</b>	Las termitas (también conocidas como hormigas blancas) es un miembro del orden Isóptera, un término del latín que se refiere al hecho que las termitas adultas presentan un par de alas de igual tamaño
<b>Tratamiento</b>	Procedimiento realizado en el bambú previo a ser evaluado por el método de impregnación.
<b>Vacío</b>	Operación de fluidos en donde por medio de una bomba de succión se hace fluir el fluido hacia la posición física de la bomba.
<b>Vara</b>	Muestra tomada de una planta de bambú de aproximada 1.5m, con ausencia de hojas y ramas.
<b>Xilema</b>	Tejido vegetal formado por células conductoras (traqueidas y elementos de los vasos) parenquimáticas, y sustentantes (fibras)

## RESUMEN

Dentro de la búsqueda de nuevos productos que puedan proveer a nuestro país desarrollo tanto en tecnología como en economía, se encuentra la explotación de los recursos naturales con que se cuenta en el territorio. Partiendo de este principio se ha iniciado con la propuesta de la explotación de la vara de bambú como materia prima de mueblería, artesanía, y como sustituto del hierro en el campo de la construcción.

Para cumplir con las características necesarias requeridas en las aplicaciones mencionadas, es de vital importancia que la vara de bambú cuente con propiedades que garanticen una larga vida útil, contra el ataque de agentes externos como el agua, mohos e insectos además de conservar su apariencia física.

Para lograr la resistencia a los agentes externos de la vara de bambú es necesario realizar una preservación química, en el presente trabajo de graduación se evaluó el método por impregnación al vacío del preservante óxidos CCA (cobre, cromo y arsénico), en 4 especies de mayor cosecha en tierras del departamento de Suchitepequez en el municipio de Santa Bárbara.

La impregnación al vacío es uno de los métodos de mayor uso en la preservación de maderas, debido a su gran capacidad de producción. El método consiste en crear un vacío de 30 psi en una cámara donde posteriormente se bombea el preservante con una concentración de 0.25 a una presión de 150 psi sumergiendo la vara de bambú por tiempo de 6 horas.

Para la impregnación se realizaron modificaciones a la vara de bambú, con perforaciones laterales y corte longitudinal para compararlo con la vara completa por medio de dos variables la retención (gramos de preservante por gramo de vara) y la penetración. Llegando a concluir por medio del análisis estadístico que no existe una diferencia significativa en la retención y penetración entre las varas impregnadas con perforación lateral, corte longitudinal con la vara completa.

Para evaluar la penetración se utilizó la microscopía para determinar la superficie de la vara que presenta una menor resistencia a la difusión del preservante. Concluyendo que por la superficie interna de la vara de bambú se tiene una menor resistencia a la difusión del preservante.



## OBJETIVOS

### General

Evaluar el método de la preservación química por impregnación al vacío con óxidos de cobre, cromo y arsénico (CCA) en las especies de bambú: *Guadua Angustifolia*, *Gigantochloa Verticillata*, *Gigantochloa Apus* y *Dendrocalamus Asper*.

### Específicos

1. Determinar la retención de los óxidos CCA por impregnación al vacío con cada una de las 4 especies de bambú, según la norma ASTM de preservación de madera por bloques en laboratorio (D-1413 sección 10.5)
2. Determinar la penetración de los óxidos CCA por impregnación al vacío con cada una de las 4 especies de bambú, utilizando el indicador cromo azurol S en análisis de microscopía.
3. Comparar la retención en los tratamientos de vara perforada lateralmente, con corte longitudinal y completa en cada una de las 4 especies de bambú.
4. Comparar la penetración en los tratamientos de vara perforada lateralmente, con corte longitudinal y completa en cada una de las 4 especies de bambú analizadas por microscopía.

5. Determinar el mejor tratamiento (vara cortada, vara completa, vara perforada) para cada una de las especies de bambú analizadas.
6. Determinar un perfil del porcentaje de penetración a lo largo de la vara de bambú analizado por microscopía.
7. Determinar el índice de impregnación para los diferentes tratamientos en las 4 especies de bambú.
8. Comparar las ventajas y desventajas de la impregnación al vacío con óxidos CCA en las especie de bambú analizadas.

## INTRODUCCIÓN

El bambú es un recurso natural que ha sido explotado en muchos países de Latinoamérica y parte de Asia, siendo utilizado en aplicaciones industriales, artesanales y para la construcción.

Guatemala cuenta con condiciones climáticas apropiadas para el crecimiento del bambú, y de hecho, hoy en día existen fincas que cuentan con una amplia plantación. Predominando cuatro especies características de Latinoamérica, las cuales son: *Guadua Angustifolia*, *Dendrocalamus Asper*, *Gigantochloa verticillata*, *Gigantochloa Apus*.

Actualmente, se desea comercializar en nuestro país a escala industrial la vara de bambú, principalmente para el área de construcción y artículos para el hogar. Para lograrlo es necesario contar con un procedimiento de preservación que garantice una larga vida útil de la vara de bambú.

Dentro del tema de preservación, la utilización de sustancias químicas ha sido un campo de gran interés dentro de la ingeniería química.

La impregnación al vacío en maderas constituye uno de los métodos más eficientes dentro de la preservación química, el cual se adaptó para la preservación química del bambú. Consiste en colocar las varas dentro de una autoclave a vacío y se bombea a presión el preservante químico.

Para que la vara de bambú logre ser preservada es necesario lograr una difusión adecuada del preservante dentro de las paredes celulares que componen la anatomía del bambú.

Dentro de los preservantes de mayor uso están las sales y óxidos CCA (cobre, cromo y arsénico), el cual es efectivo contra el ataque de termitas y hongos, proporcionando al producto tratado una larga vida útil.

La dureza de la capa externa del bambú constituye una de las principales dificultades para su preservación, ya que ésta debe realizarse desde el centro de la vara hacia fuera de la misma, y constituye la principal barrera a la difusión del preservante dentro de la anatomía del bambú. Por el contrario la parte interna de la vara presenta características más apropiadas para la difusión con la dificultad que su área de contacto es menor.

Para evaluar la eficiencia de la preservación del bambú se evaluaron dos variables, las cuales son la retención y la penetración. Donde la retención indica la cantidad de preservante que fue absorbido por el bambú por unidad de masa del mismo, dicha prueba se realizó basándose en la norma ASTM preservación de madera por laboratorio en bloques sólidos (D-1413 en la sección 10.5). Y la penetración se realizó por medio de la utilización de un indicador llamado cromo azurol S, el cual reaccionó ante la presencia de cobre dando una coloración violeta al material.

Para cuantificar la penetración en las dos superficies, la externa y la interna, se realizaron medidas a nivel de microscopio del área penetrada en cada una de las superficies analizadas. Con esto se comparó la resistencia a la difusión en cada una de las superficies y concluir cual es la que favorece a la penetración del preservante en el bambú.

## 1. ASPECTOS GENERALES

### 1.1 El bambú

El bambú se encuentra en forma silvestre en Asia, África, Australia y América, en áreas tropicales, subtropicales y en algunas zonas templadas como es el caso de Chile y Argentina.

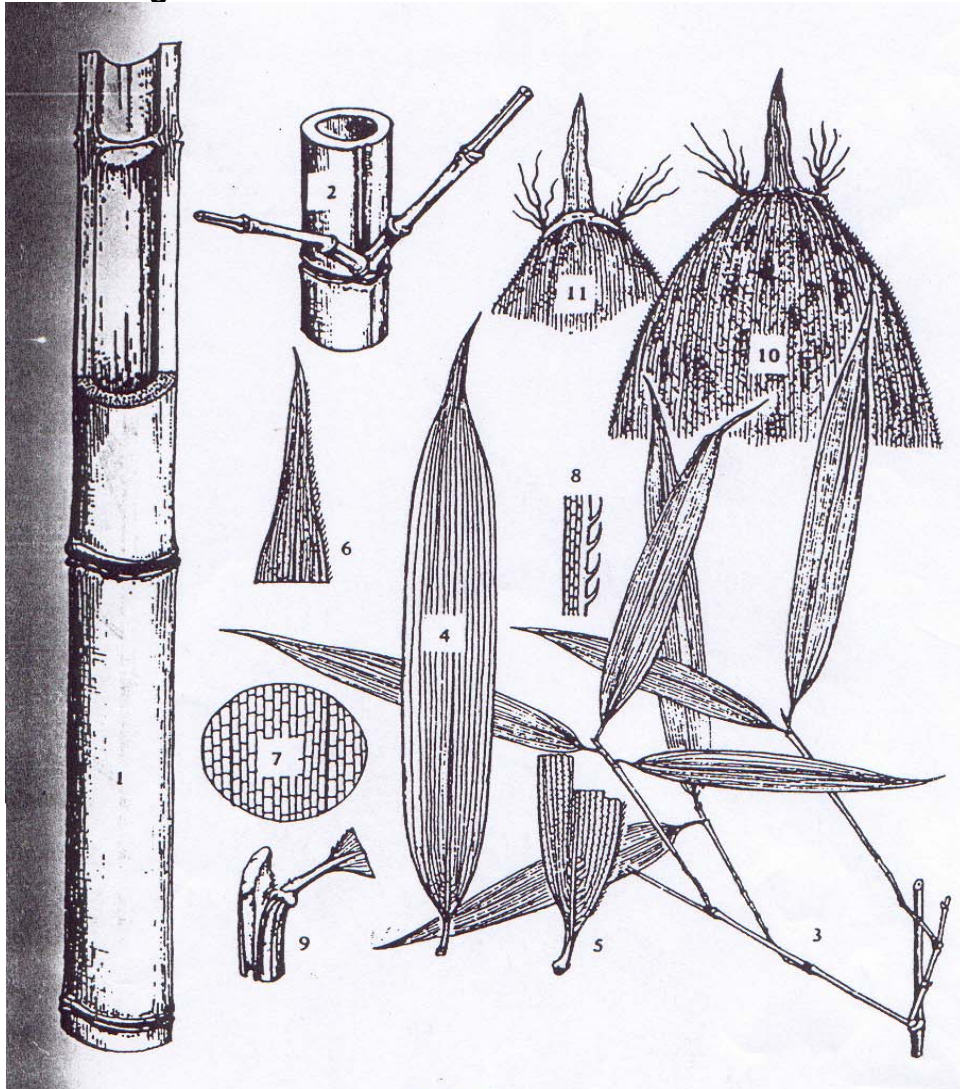
Estas especies corresponden al grupo más diverso de plantas que existe dentro de la familia de las gramíneas y a la más primitiva subfamilia, la cual se caracteriza por presentar un tallo leñoso, ramaje complejo, un sistema de rizomas generalmente robusto, es muy adaptable, de floración infrecuente con ciclos que fluctúan entre 15 y más de 100 años. Esta gramínea, destaca por ser el vegetal que registra una mayor velocidad de crecimiento, existiendo variedades capaces de brotar con diámetros que sobrepasan los 18 a 22 cm. y a las ocho semanas de haber terminado su crecimiento en altura, sobrepasan los 20 m (Crouzet, 1998) En Chile se ha medido incrementos en altura de 10 cm. diarios para *Chusquea culeou* durante su período de crecimiento.

Actualmente se estima que existen 107 géneros y más de 1300 especies de bambú en el mundo. En América se reconocen 42 géneros y 547 especies, en China se estima existen 500 de éstas especies incluidas en 39 géneros. Solamente 140 especies son utilizadas en forma industrial o artesanal.

El bambú también evita la movilización de tierra y conserva efectivamente los suelos, de allí que su siembra resulte ideal en áreas propensas a deslizamientos, derrumbes, erosión y remociones, sin contar su gran capacidad para el almacenamiento de agua.

### 1.1.1 Descripción de órganos del bambú

Figura 1. Órganos del bambú



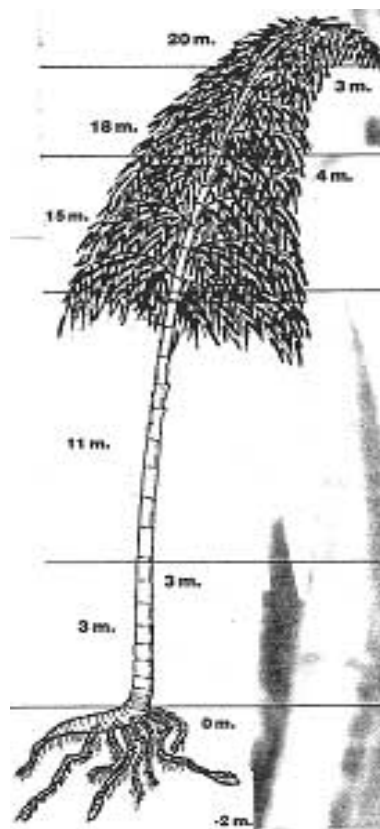
LAMINA 4  
PHYLLOSTACHYS LITHOPHILA Hayata

1.- Tallos en sección longitudinal; 2.- parte alta del tallo con 2 ramas en cada nudo; 3.- ramillas con hojas; 4.- lámina foliar; 5.- base de la lámina foliar; 6.- parte de la lámina foliar; 7.- venas y venillas; 8.- margen espinuloso-escabroso; 9.- peciolo foliar y punta de la envoltura foliar; 10.- exterior de la punta de la envoltura del tallo; 11.- interior de la punta de la envoltura del tallo.

Fuente: Referencias bibliográfica 5, página 68.

**Culmo-tallo:** El culmo una vez emerge del suelo lo hace con el máximo diámetro. Un tallo adulto tiene una altura entre 18 y 22 mts., es leñoso, recto, y ligeramente arqueado en la punta, formado por nudos y entrenudos huecos. De acuerdo a su variedad o forma presentan características especiales, (distancia entre nudos, diámetro, espesor de las paredes, color, entre otros)

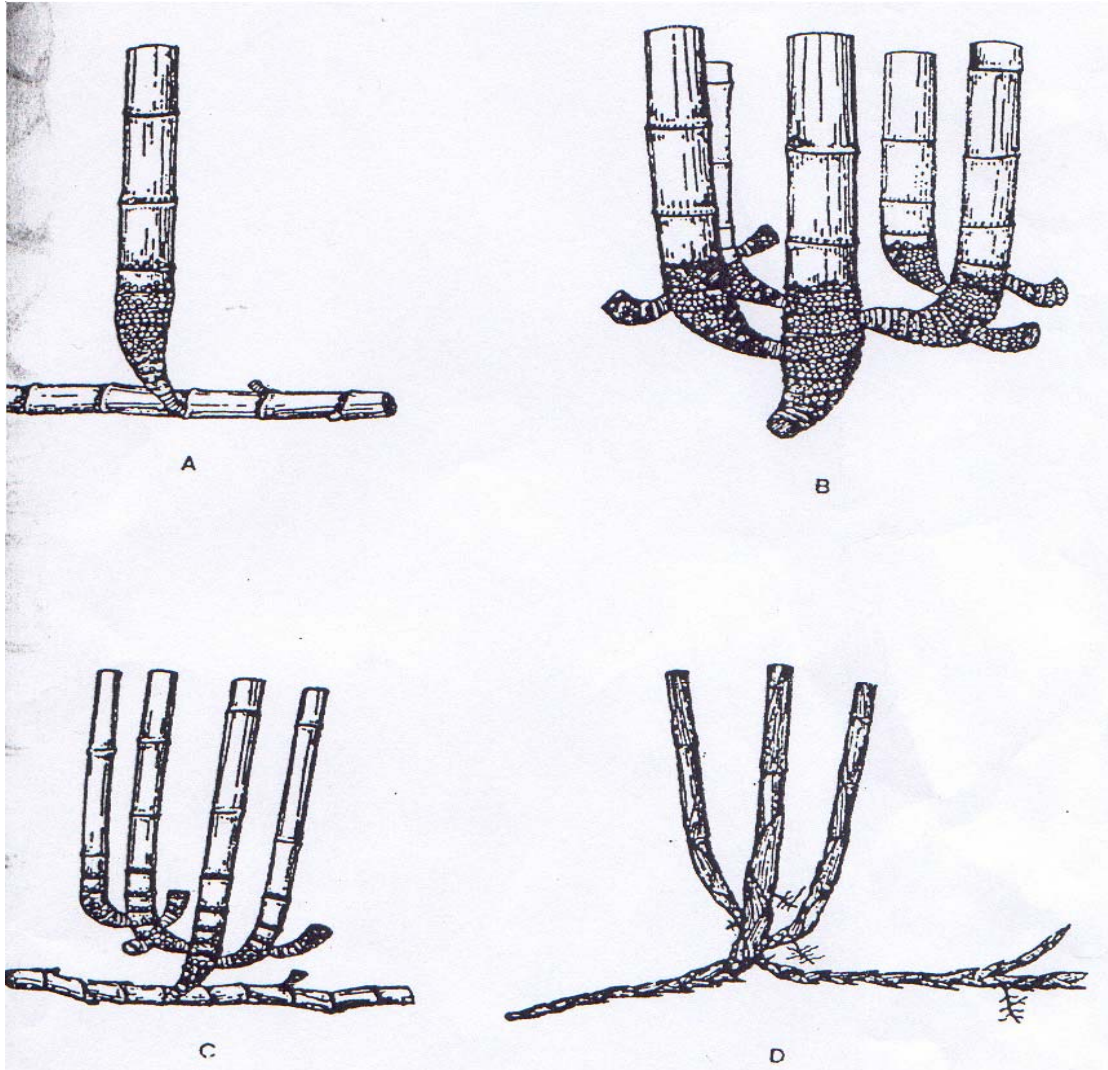
**Figura 2. Vista completa del bambú**



Fuente: Referencia electrónica 4.

**Raíces:** El sistema radicular está conformado por raíces adventicias y fibrosas, y por los rizomas que corresponden a modificaciones del tallo, de tipo paquimórfico (crece hacia afuera), en su conjunto son fuertes, abundantes y de la activación de las yemas se generan nuevos rizomas y por ende nuevos tallos.

**Figura 3. Tipos de rizomas en el bambú.**



LAMINA 1  
TIPOS DE RIZOMAS DEL BAMBU

A.- Rizomas del tipo leptomorfo; ejemplo: con rizomas trepadores que llevan tallos monopódicos; B.- rizomas del tipo paquimorfo; ejemplo: con rizomas gruesos; cortos portando tallos en grupos densos. C.- rizomas del tipo metamórfico I; ejemplo: con rizomas largos trepadores; portando tallos trepadores en racimos densos; D.- rizomas metamórficos del tipo II; ejemplo: con un rizoma trepador ramificado que forma tallos ascendientes en el ápice de las ramas.

Fuente: Referencias bibliográfica 5, página 70.



**Hojas:** Estas hojas son órganos foliares modificados, protegen al culmo-tallo en su crecimiento, mientras éste las conserva se denomina brote o renuevo. Son triangulares, de consistencia fuerte, presentan pubescencia en la parte externa y su interior es lustroso, sus dimensiones dependen de la parte donde se ubiquen.

**Hojas del follaje:** Las hojas de las ramas son lanceoladas alternas y simples, su longitud varía entre 8 y 20 cms., y su ancho entre 1.5 y 3.5 cms. Por el envés presenta pubescencias blanquecinas esparcidas.

**Flores:** El culmo una vez emerge del suelo lo hace con el máximo diámetro. Un tallo adulto tiene una altura entre 18 y 22 mts., es leñoso, recto, y ligeramente arqueado en la punta, formado por nudos y entrenudos huecos. De acuerdo a su variedad o forma presentan características especiales, (distancia entre nudos, diámetro, espesor de las paredes, color, entre otros). La Guadua, contrario de lo que se cree, sí florece, lo hace aproximadamente cada 6 meses, en inflorescencias (flores imperfectas) dispuestas en panículas pequeñas en los extremos de las ramas, son poco vistosas, de color rosado claro y además bisexuales.

**Semillas:** Son espigas que aparecen en los extremos de las ramas, se asemejan a un grano de arroz en su forma, tamaño y cubierta, tienen una viabilidad baja (tiempo en que la semilla está apta para germinar) y un porcentaje de germinación alto

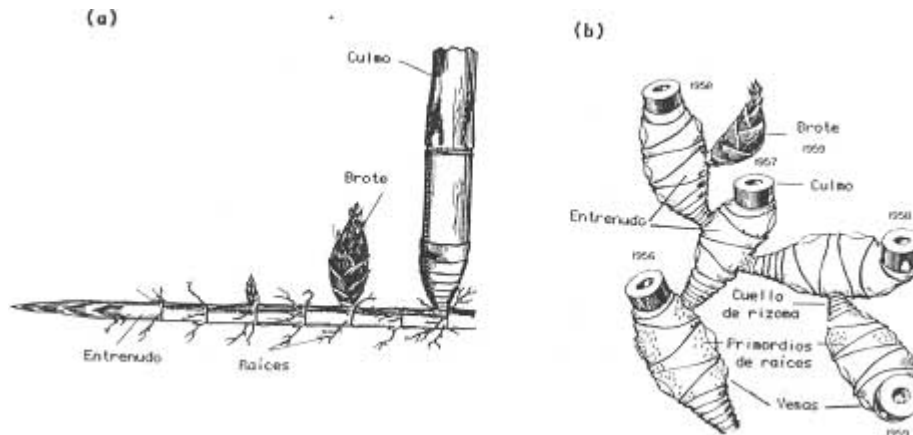
**Yemas:** Las yemas se presentan en tallos, ramas y rizomas lo que facilita su propagación vegetativa.

## 1.1.2 Clasificación de las especies según sus órganos y estructuras

### 1.1.2.1 Rizoma

- a. Rizoma horizontal con tallos laterales: *Phyllostachys* y *Tetragonocalamus*.
- b. Rizoma horizontal con tallos laterales simpodiales: *Pleioblastus*, *Pseudosasa*, *Shibataea* y *Sinobambusa*.
- c. Rizoma simpodiales: *Bambusa*, *Ileba*, *Dendrocalamus* y *Schizostachyum*.

Figura 4. Esquema detallado de rizomas



Fuente: Referencia electrónica 5.

### 1.1.2.2 Brotes

- a. Los brotes aparecen de marzo a mayo: *Phyllostachys*, *Pleioblastus*, *Pseudosasa*, *Schibatae* y *Sinobambusa*.

- b. Los brotes aparecen de junio a octubre: *Bambusa*,  
*Dendrocalamus*, *Schizostachyum*, *Teytragonocalamus*.

#### **1.1.2.3 Envoltura del tallo**

- a. Aciculares o linear lanceoladas: *Phyllostachys*, *Pleioblastus*,  
*Pseudosasa*, *Shibataea*, *Sinobambusa*.
- b. Triangular, triangular corto, triangular ancho
- c. Ovalado y ovalado lanceolados: *Dendrocalamus*
- d. Sin hoja: *tetragonocalamus*.

#### **1.1.2.4 Tallos y Rama**

- a. Tallo erecto: *Phyllostachys*, *Pseudosasa*, *Sinobambusa*,  
*Bambusa*, *Dendrocalamus*, *Pleioblastus*.
- b. Tallos cuadrangulares: *Tetragonocalamus*.
- c. Tallos trepadores: *Schizostachyum diffusum*.

#### **1.1.2.5 Hojas**

- a. Venas menores transversales sobresalientes de la superficie:  
*Phyllostachys*, *Pleioblastus*, *Pseudosasa*, *Shibataea*, *Sinobambusa*  
y *tetragonocalamus*.
- b. Venas menores transversales apenas discretas y paralelas:  
*Bambusa*, *Dendrocalamus*.

### **1.1.3 Anatomía microscópica del bambú**

El análisis al microscopio de detalles internos de la hoja, la flor y el culmo requieren de un conocimiento previo con énfasis en técnicas e interpretación de datos.

Al revisar las células de las hojas, nos podemos dar cuenta de la presencia de células características en todos los bambúes llamadas células fusoides y células armadas que forman parte del tejido conocido como mesófilo. Las células que conforman el clorénquima desempeñan la importante función de darle de comer a la planta del bambú a través del proceso conocido como fotosíntesis.

La epidermis de la hoja siempre lleva pequeñas aberturas llamada estomas, el intercambio gaseoso se lleva a cabo a través de ellos. La hoja también tiene diminutos cuerpos de sílice procedentes de las sales minerales absorbidas del suelo. Los cuerpos de sílice se encuentran en las células silíceas. Son importantes en los bambúes, puesto que existen en grandes cantidades y en diferentes formas y tamaños, han sido usados para diferenciar a los subgrupos de los bambúes existentes.

Sobre la hoja es fácil observar a numerosos pelillos microscópicos compuestos de dos células.

La planta de un bambú lleva agua desde las raíces hasta la última hoja de una rama, las células muertas del xilema sirven como conducto para este fin, y es a través de un conjunto de células llamado Haz Vascular que esto sucede.

Los haces vasculares de los bambúes siempre son más de uno e incluyen al floema que es el tejido encargado de conducir los alimentos en toda la planta. Los haces vasculares de los bambúes son observables cuando se hace un corte transversal del culmo, los huecos evidentes que existen son los vasos por donde el agua se trasporta y son parte del xilema.

**Figura 5. Partes de la anatomía microscópica del bambú**



Fuente: Referencia electrónica 6.

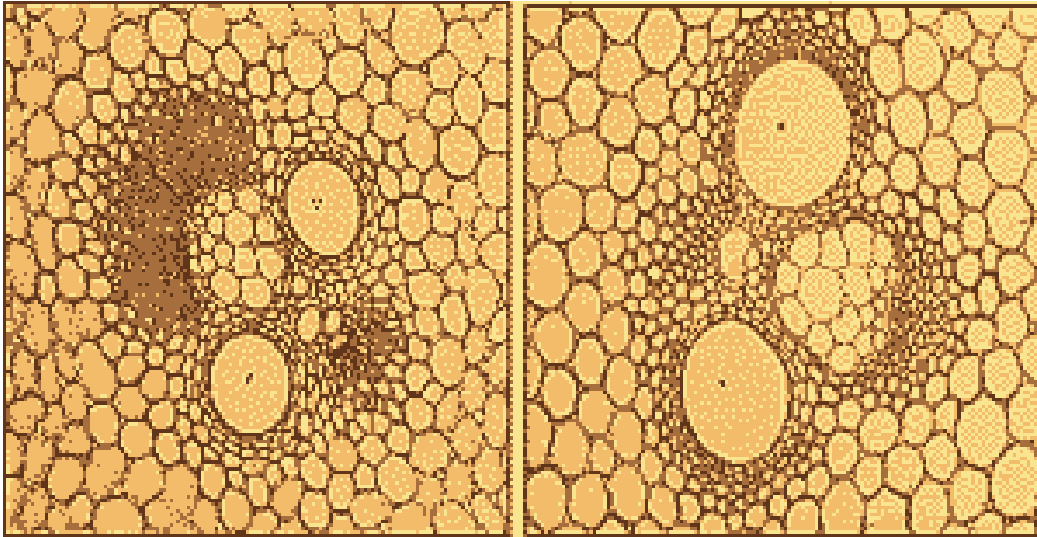
Alrededor de cada vaso se encuentran gran cantidad de fibras, estas son células muertas cuyo espacio ha sido ocupado por lignina y celulosa, los compuestos principales de la madera.

La función de las fibras es proporcionar la dureza a la planta de bambú. Los bambúes están compuestos por fibras en un 40 a 50 por ciento.

Las flores de los bambúes no tienen pétalos llamativos, el transporte de los granos de polen a otras flores es realizado por el viento. La florecilla tiene un solo pistilo (femenino) y tres estambres (masculino) en casi todos los bambúes, y está rodeada por hojas protectoras llamadas Glumas. Las diferentes glumas y la flor forman una Espiguilla. Cuando se observan las pequeñas florecillas de los bambúes, se aprecia la presencia de 3 lodículas, estas son diminutas hojas

en forma de escama dispuestas en la base de la flor, y el número de 3 es también constante en todos los bambúes.

**Figura 6. Vista microscópica de la anatomía del bambú.**



Fuente: Referencia electrónica 6.

#### **1.1.4 Especies de bambú en estudio**

##### **1.1.4.1 *Dendrocalamus asper***

Es una especie de rizoma de tipo paquimorfo. En esta especie, los tallos alcanzan de 20 a 39 metros de altura y un diámetro de 20 a 30 centímetros, las paredes del tallo tubular tienen un grosor de 0.5 y 2 centímetros y los entrenudos distan de 30 a 45 centímetros.

Es nativa de la India, Birmania y Tailandia, fue sembrada en la entrada del municipio de Santa Bárbara, Suchitepequez, a la altura del kilómetro 121 de la ruta al pacífico.

Los tallos pueden ser usados en construcciones de viviendas, puentes rurales, cercas, conducción de agua, muebles artesanales y otras industrias. Es ideal para hacer nuevos proyectos, tales como artículos laminados, arte de engomar, artículos comprimidos, revestimientos, etc.

#### **1.1.4.2 *Gigantochloa verticillata***

Es una de las especies cuyo tallo alcanza una altura de 25 metros, con un diámetro de 10 centímetros, sus entrenudos son moderadamente largos, con un grosor de 1 a 2 centímetros.

Esta especie fue introducida al país y sembrada en las fincas Chicolá, Santa Adelaida, San Felipe, vivero forestal Sub-Región IV-2.

El tallo es usado principalmente para tejidos artesanales y como refuerzo en las construcciones de cemento.

#### **1.1.4.3 *Guadua angustifolia***

Una característica de esta especie es su tallo que generalmente llega a medir 25 metros, con un diámetro de 15 centímetros y entrenudos que varían de 20 a 40 centímetros de largo, siendo sus paredes bastantes gruesas.

Nativa del noroeste de América del Sur, fue sembrada en las fincas Chicolá, Santa Adelaida, La Fortuna y Casa Blanca.

Los tallos son usados principalmente en la construcción de edificios, así como también se utiliza en la fabricación de artesanía.

En Ecuador y Colombia, se han realizado muchas construcciones con esta especie de bambú, obteniéndose resultados satisfactorios.

#### **1.1.4.4 *Gigantochloa apus***

El tallo de esta especie es el más corto de todas, llega a medir de 3 a 7 metros de largo, con un diámetro de 2 a 5 centímetros y sus paredes son relativamente delgadas.

Fue introducida y sembrada en las altas montañas de toda Guatemala. Fue, la primera especie que se introdujo satisfactoriamente en este país: se localizan plantaciones en las fincas San Ignacio, La Fortuna, Casa Blanca, Tanque de agua potable Cambray.

La tallos son usados en artesanía para la fabricación de muebles y algunos usos mas, incluyendo la construcción de casas, cuerdas para tender ropa, cañas de pescar, jaulas para aves, cercas, etc. Esta especie es ornamental, también se ha confinado su uso para cortinas rompevientos en lugares azotados por fuertes corrientes de aire.

#### **1.1.5 Usos y aplicaciones del bambú**

Es uno de los materiales de origen vegetal empleado por su versatilidad, disponibilidad y excelentes propiedades físicas y mecánicas presenta un estado de usos y aplicaciones que oscilan desde lo puramente artesanal (cercas, bancas, trinchos, canales, plazas de tiendas, palomeras y utensilios domésticos, etc.), elementos de diseño artesanía aplicados al interiorismo y expresiones de asomo a lo industrial, apoyados en variados niveles de investigación que paulatinamente se insertan en los procesos de aprovechamiento como un recurso natural, fundamental en el camino de la sostenibilidad y el equilibrio ambiental.



El sector de artesanías y artículos decorativos utilitarios, también tiene diseños muy sencillos utilizando la mayoría de las veces, la forma natural del bambú.

#### **1.1.5.1 Construcción**

Los sistemas constructivos de vivienda lideran los usos y aplicaciones del bambú, como pérgolas, iglesias, puentes, centros culturales.

Es un material supremamente versátil, de importantes características en su comportamiento físico mecánico en estructuras. La relación resistencia/peso la hace tan importante como las mejores maderas, con una ventaja a su favor y es la de ser un recurso natural renovable de rápido crecimiento y fácil manejo, que además aporta importantes beneficios ecológicos durante su crecimiento. Todas estas características y el haber incursionado ya en procesos de industrialización hacen del bambú un material con buenas expectativas hacia el futuro.

#### **1.1.5.2 Industrialización**

El bambú tiene fibras naturales muy fuertes que permiten desarrollar productos industrializados tales como paneles, aglomerados, pisos, laminados, esteras, pulpa y papel, es decir productos de calidad que podrían competir con otros materiales en el mercado internacional.

Es importante señalar que con el uso de la guadua en los procesos industriales anteriormente mencionados, se reduciría el impacto sobre los bosques nativos, porque el bambú pasa a ser un sustituto de la madera.

### **1.1.6 Insectos dañinos al bambú**

#### **1.1.6.1 Enrolladoras de la hoja: *Crocidophor evonoralis Walker***

Los adultos depositan sobre las hojas y las larvas se alimentan de las hojas, las cuales son enrolladas de mayo a octubre, empujando seguidamente dentro del cartucho.

#### **1.1.6.2 Picudo Gigante de Taiwán (*Rhynchophorus longimanus Fab*)**

Una generación ocurre en el año, emergiendo los adultos entre abril y octubre, consistiendo el daño en perforaciones hechas con el rostrum en la punta. El cogollo o brote del bambú y luego poniendo huevos en las perforaciones. Uno o dos huevos son depositados en cada agujero. El estadio de huevo dura de 4 a 5 días y la larva al emerger se alimenta del tejido interno.

#### **1.1.6.3 Afido de la hoja del bambú (*Asterogopterys bambusifoliae takahashi*)**

Este insecto se localiza en el envés de la hoja para succionar el jugo del hospedero e introducir así los virus o causar la Fumagina. Los brotes de esta

plaga ocurren severamente en la primavera y en el otoño, pero raramente en verano.

#### **1.1.6.4 Afido del tallo (*Pseudoregma Bambusicola*, Takashi)**

Se alimenta en los tallos, ramas y botones.

#### **1.1.6.5 *Bostrychidae Rhizophora Dominica***

Los Bostrychidae son coleópteros, que en la mayoría de los casos cumplen todo su ciclo biológico en la madera, ya sea seca o en troncos o ramas de árboles enfermos o caídos. Algunas especies, por sus hábitos alimenticios son consideradas plagas importantes, ya que atacan, además de la madera, productos almacenados, tales como harina y granos de cereales y leguminosas. Los adultos son insectos de color café oscuro a negrozco, cuerpo cilíndrico y su longitud es de 2 a 3 mm. La cabeza es grande y doblada hacia abajo, las mandíbulas son fuertes y capaces de cortar madera. La cabeza cubierta con una capucha y el margen anterior contiene filas de dientes; Los adultos son fuertes voladores que infestan desde el campo los lugares de almacenamiento.

Se distribuye en regiones tropicales y sub tropicales en climas cálidos, aunque se puede encontrar en climas templados. Las hembras adultas ovopositan durante cuatro meses de 100 a 400 huevecillos en hendiduras o superficies rugosas de las semillas.

Los insectos completan su ciclo de vida en 30 días y las condiciones óptimas para su desarrollo son temperaturas de 34° centígrados y humedades relativas del 50% al 60%.

Las larvas y los adultos barrenan y consumen una variedad de cereales enteros. Además de atacar granos enteros, pueden desarrollarse en arroz molido, harina de cereales y ciertas leguminosas como maní.

**Figura 7. Esquema del coleóptero *Bostrychidae Rhizopertha Dominica*.**



Fuente: Referencia electrónica 5.

## **2. PRESERVACIÓN DEL BAMBÚ**

### **2.1 Preservación natural**

#### **2.1.1 Elección del tiempo de cosecha**

La cosecha del bambú se muestra favorable una semana después de la luna llena. En este tiempo no hay tanta agua en los vasos capilares, debido a la ausencia de atracción lunar.

El bambú lo cosechan en las plantaciones los agricultores después del mediodía, puesto que el almidón se encuentra en las hojas y hay menos agua en el tallo. Por la mañana, debido a la fotosíntesis, se encuentra más agua en el tallo. Cuando más almidón exista en el vástago, más nutritivo es para los insectos que puedan atacarlo después de ser cortada la vara de bambú.

#### **2.1.2 Corte**

Alcanzada la edad óptima que se da entre los tres y cinco años, el bambú está listo para su uso en la construcción. Una vez determinados los tallos maduros, se procede a cortarlos, a una altura aproximada de 15 cm. a 30 cm. del suelo, por la parte inmediatamente superior del nudo, de forma que el agua no forme depósito y evitar que el rizoma se pudra. El corte debe ser lo más limpio posible, para lo cual deben utilizarse machetes.

### **2.1.3 Curado**

El curado es conocido por el método de eliminar la humedad del almidón de la vara de bambú, por tanto inmunizarlo contra el ataque de insectos. Puede realizarse con diferentes métodos:

#### **2.1.3.1 Curado en mata**

Los tallos cortados se dejan recostados verticalmente contra un caballete, aislándolos del suelo por un lapso de cuatro a ocho semanas.

#### **2.1.3.2 Curado por inmersión**

Se sumergen los tallos en agua, una vez cortados por un tiempo no mayor a cuatro semanas. Aun cuando se reduce considerablemente el ataque de insectos, el tallo se torna más liviano y quebradizo.

#### **2.1.3.3 Curado por calentamiento**

Los tallos recién cortados se rotan sin quemarlos sobre fuego, a cielo abierto.

Una alternativa de inmunización no tóxica es el ahumado. Consiste en poner dentro de una cámara por la cual circula humo obtenido por combustión incompleta de materia orgánica mejorando resistencia a la degradación por agentes externos del medio ambiente. Si se ahuma el bambú sobre un fuego, puede llegar a ser incomedible para los insectos; para ello se utilizan sus propias ramas y hojas. Con 50 a 60 grados de temperatura ambiental y humedad variable, se ahuman las varas de bambú.

Se intercambia entre un fuego lento y solo el calor, para la filtración del alquitrán en la madera de manera gaseosa. En Japón se tiene experiencia en como manejar este tratamiento.

Hay que perforar las varas, sin dejar los huecos alineados para evitar rasgaduras. La desventaja de ese tratamiento es, que los tallos huelen a humo.

#### **2.1.4 Secado natural y artificial**

El principio fundamental para inmunizar la vara de bambú es tenerla en estado seco con el propósito de que pueda ser absorbido el preservante; para ello se seca naturalmente el bambú bajo techo y al cabo de dos meses alcanza un valor aproximado del 16%, una humedad muy cercana a la de equilibrio con el ambiente y, por ende, no ganará ni perderá humedad, ya que se encuentra en equilibrio con la humedad del ambiente.

Para prevenir el ataque de hongos e insectos, mejorar las condiciones de aplicabilidad de los preservantes, reducir el peso de las piezas y hacerlas más fácil en su manipulación, es necesario reducir el contenido de humedad de los tallos, hasta alcanzar el 10% o el 15%.

Respecto al secado natural, los tallos se apilan horizontalmente, bajo cubierta, protegidos del sol y la lluvia por un lapso de dos meses, a fin de alcanzar la humedad requerida.

El secado artificial de los tallos puede hacerse en estufas o cámaras cerradas, similares a las que se utilizan para madera aserrada, o a fuego abierto, mediante la localización horizontal de las piezas a una distancia aproximada de 50 cm. de los carbones de maderas encendidas, cuidando de girar continuamente los tallos a fin de conseguir un secado uniforme.

Si uno calienta el tallo a 150° C por poco tiempo, la estructura de la pared tiende a cambiar, recibiendo resistencia contra los insectos. La desventaja es, que se pueden rasgar.

## **2.2 Preservación química**

Un buen preservante debe de contener las siguientes características:

- a. Ser tóxico a los agentes biológicos de destructores como xilófagos, termitas.
- b. No tóxico al ser humano.
- c. Tener larga vida útil.
- d. Ser químicamente estable.
- e. No alterar las características del bambú .
- f. Tener buena penetración y retención.
- g. No aumentar la inflamabilidad.
- h. Ser de fácil adquisición y precio accesible.

### **2.2.1 Preservantes**

Para el tratamiento del bambú, según el medio de disolución de los preservantes se diferencian dos grupos:

- a. Preservantes óleo solubles, tales como: creosota alquitranada, creosota alquitranada libre de cristales, aceite de antraceno, creosota obtenida por la destilación de la madera, aceite y vapor de agua, soluciones de creosota, nafteno de cobre.
- b. Preservantes hidrosolubles: Son sales disueltas en agua y que entre sus ingredientes activos están:

Cloruro de zinc, dicromato de sodio, cloruro de cobre, cromato de zinc clonado, ácido bórico, bórax, sulfato de amonio, Fluoruro de sodio, sulfato de cobre.



### **2.2.1.1 Preservantes hidrosolubles**

Son aquellos que utilizan al agua como vehiculo, siendo constituidos por sales metálicas. Incluyen en su formula química sustancias como arsénico, cromo, cobre, boro, zinc y flúor.

Los preservantes hidrosolubles son aplicados en forma de mezcla debido a que mejoran la fijación del preservante y reducen los efectos corrosivos contra la madera y protegen contra un mayor número de atacantes.

Dentro de los preservantes de mayor uso se encuentran :

- a. Pentaclorofenato de sodio (  $C_6Cl_5ONa$  )
- b. Pentaclorofenato de cobre (  $(C_6Cl_5O)_2Cu$  )
- c. Biclouro de mercurio (  $HgCl_2$  )
- d. Arseniato de cobre amoniacal  $CuO$  y  $As_2O_5$
- e. Sulfato de cobre (  $CuSO_4$  )
- f. Cromato de cobre acido
- g. Cloruro de zinc cromatado
- h. Arseniato de cobre cromatado (Oxidos CCA)

#### **2.2.1.1.1 Óxidos CCA**

También llamados arseniato de cobre cromatado, este puede ser impregnado en varias formulaciones ( Tipo A, B y C) cada uno conteniendo diferentes porcentajes de cobre, cromo y arsénico.

Debido a que el cromo provoca grandes precipitaciones de cobre y arsénico cuando estos son impregnados en madera. Estos últimos son tóxicos a varios organismos como xilófagos, termitas entre otros, provocando una

elevada eficiencia del preservante. Es introducido en maderas y bambú en métodos a presión.

Porcentajes de los ingredientes activos de las formulaciones de preservantes a base de CCA.

**Tabla I. Porcentajes de los activos en diferentes tipos de óxidos CCA.**

<b>Ingredientes</b>	<b>Tipo A (%)</b>	<b>Tipo B (%)</b>	<b>Tipo C (%)</b>
<b>Cr O<sub>3</sub></b>	65.5	35.3	47.5
<b>Cu O</b>	18.1	19.6	18.5
<b>As<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b>	16.4	45.1	34.0
<b>Total</b>	100.0	100.0	100.0

Fuente: Referencia bibliográfica 2, página 45.

## **2.2.2 Factores relacionados a los métodos de impregnación**

### **2.2.2.1 Tipo de preservante**

Depende del tipo de uso que se le quiera dar a la madera o bambú, debido a que la buena elección del tipo de madera o bambú impacta en sus características fisicoquímica al ser impregnado.

En condiciones iguales es probable encontrar mejor resultados en la penetración con preservantes hidrosolubles que con los óleo solubles, atribuida a la viscosidad del líquido..

Como se sabe en los tratamientos que son aplicados a presión se obtiene una penetración mas uniforme y profunda en la vara de bambú.

### 2.2.2.2 Presión

La presión a la que es impregnado el preservante influye significativamente en la penetración y retención. Cuanto mas elevada es la presión mas rápidamente el líquido se mueve a los espacios libres dando una mejor impregnación.

La relación entre la presión del tratamiento y el tiempo de aplicación en preservantes hidrosolubles se muestra a continuación.

**Tabla II. Relación entre presión del tratamiento y tiempo de de aplicación en las variables de retención y penetración.**

PRESION Kg/cm <sup>2</sup>	TIEMPO horas	RETENCION MEDIA Kg/m <sup>3</sup>	PENETRACION MEDIA (mm)	
			lateral	Extremos
7	2	88.0	5.0	170
	4	128.8	5.0	220
	6	163.2	74.0	285
	8	184.0	8.0	397
10.5	2	134.4	6.0	262
	4	153.6	6.0	235
	6	227.2	6.5	402
	8	240.0	9.5	455
14	2	145.6	6.0	245
	4	184.0	8.0	422
	6	216.0	9.7	425
17.5	2	142.4	5.0	335
	4	214.8	8.5	485
	6	256.0	10.0	750

Fuente: Referencia bibliográfica 2, página 52.

Ha sido comprobado que una presión baja y gradualmente aplicada favorece a conseguir una retención querida.

Generalmente las maderas han sido impregnadas con un valor de presión no mayor de 18 Kg/cm<sup>2</sup> y comúnmente entre 10 y 12 Kg /cm<sup>2</sup>.

### **2.2.2.3 Temperatura**

La temperatura del preservante, desempeña un papel más importante que la presión de impregnación o el tiempo de aplicación. Al disminuir la viscosidad del preservante ayuda a facilitar la preservación en madera.

La temperatura generalmente usada está dentro de un rango de 100 a 110 °C. Las temperaturas elevadas no son aconsejables para preservantes hidrosolubles ya que pueden generarse reacciones químicas alternativas antes de la preservación por lo que una temperatura no mayor a 60 °C es recomendable.

### **2.2.2.4 Tiempo**

Es difícil de combinar en forma exacta la relación entre presión y tiempo ya que depende de varios factores como la retención y la facilidad de impregnarse.

Esta combinación se basa en la experiencia y pruebas. Pero generalmente se tiene el comportamiento proporcional al aumentar el tiempo de aplicación aumentara la penetración y la retención del preservante.

### **2.2.3 Procesos con presión artificial**

Los procesos con presión artificial son los más eficientes, ya que los resultados obtenidos son superiores a los métodos que son realizados sin uso de equipo de presión.

Estos procesos requieren de equipos de impregnación bastante complejos, como un cilindro de autoclave, tanque de almacenamientos, tanque de medidor de mezcla de preservante, bombas de vacío, bombas de presión o compresores, válvulas sistema de transporte de carga etc.

#### **2.2.3.1 Proceso Bethell**

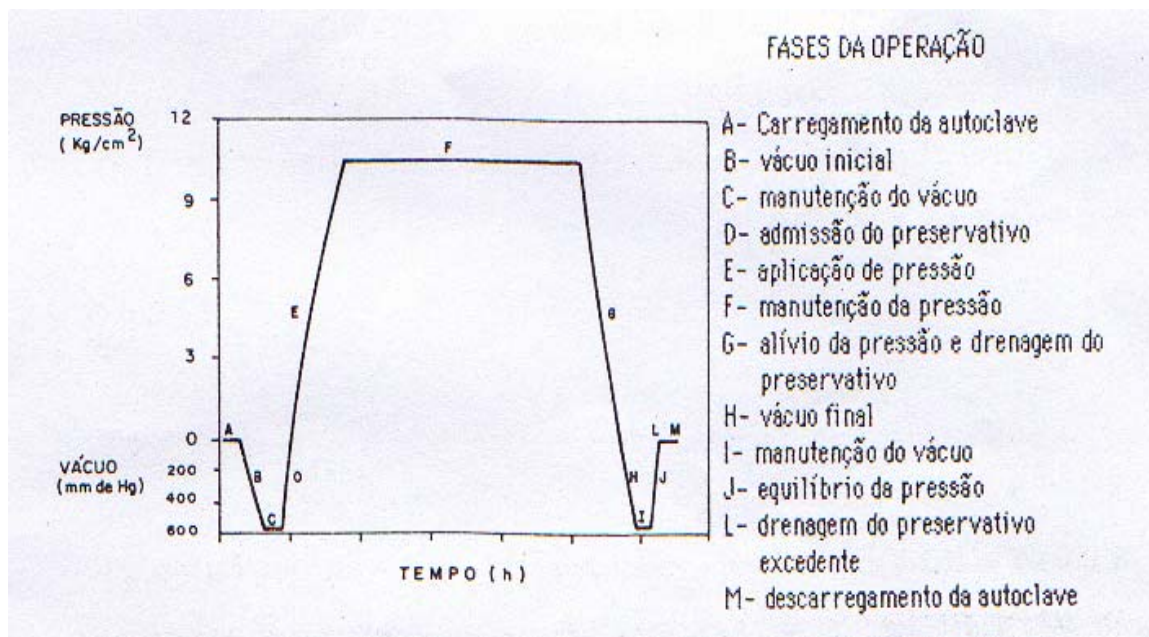
Este proceso fue patentado por Hohn Bethell en Inglaterra, en 1838, dentro de sus características esta la aplicación de presión en un cilindro.

Fases de la operación:

- a) Carga en la impregnadora: Se coloca la madera en la impregnadora, debidamente apiladas en la vagoneta
- b) Vacío inicial: Se aplica un vacío de aproximadamente 600mmHg por 30 minutos a 1 hora, con la ayuda de una bomba de vacío.
- c) Admisión del preservante: Es introducida en la impregnadora con el vacío del interior con una bomba de transferencia.
- d) Periodo de presión: La bomba de presión genera un a presión de 12 Kg/cm<sup>2</sup> durante 3 a 4 horas, dependiendo de la permeabilidad de la madera.
- e) Descarga del preservante: Se descarga el preservante por un cambio de presión.

- f) vacío final: Para la descarga del preservante en exceso para escurrir el producto.
- g) Descarga: Se descarga la madera de la impregnadora.

**Figura 8 Etapas del proceso Bethell.**



Fuente: Referencia Bibliográfica 2, página 81.

### 2.3 Evaluación de la impregnación

La eficiencia del tratamiento de preservación usualmente es evaluada con dos parámetros que son la penetración y la retención. Tanto uno como el otro deben de ser determinados después de cada tratamiento, para verificar si el producto se encuentra en los límites requeridos.

### 2.3.1 Retención

La retención se refiere a la cantidad de preservante que fue retenida por el producto después del tratamiento y se expresa generalmente en  $\text{Kg}/\text{m}^3$ , o  $\text{Kg}/\text{m}^2$ , o bien como,  $\text{Kg}$  de preservante/  $\text{Kg}$  de producto.

La cantidad retenida puede ser medida con la cantidad de preservante existente en el tanque antes y después del tratamiento, pero como se sabe esta depende de la temperatura a la que se encuentre el preservante.

Puede instalarse una balanza debajo de los recipientes de preservante pero con la salvedad que el dato obtenido corresponderá a la totalidad de producto que se encuentra dentro de la impregnadora.

Si se desea un análisis individual debe de tomarse el peso de producto antes y después del tratamiento tomando en cuenta que la medida debe de hacerse con el mismo contenido de humedad en el producto.

En Brasil el tratamiento de postes de eucalipto obtiene las siguientes retenciones:

- a) Para hidrosolubles  $6.5 \text{ Kg}/\text{m}^3$ .
- b) Para óleo soluble  $130 \text{ Kg}/\text{m}^3$ .
- c) Para pentaclorofenol  $6.5 \text{ Kg}/\text{m}^3$

En Estados Unidos las retenciones para hidrosolubles son fijadas en valores de 5 a  $16 \text{ Kg}/\text{m}^3$  pudiendo superar en ocasiones especiales este valor.

### **2.3.2 Penetración**

La penetración se refiere a la profundidad que el preservante penetra el producto, tanto axial como transversalmente.

Para confirmar la penetración se utilizan secciones transversales de discos recién cortados, que son cilindros retirados perpendicularmente en dirección de las fibras.

El cambio de color producido por los preservantes, posibilita el análisis de su distribución como medida de la profundidad alcanzada, para una mejor visualización, los límites de profundidad de penetración pueden ser destacados implementados por el analista.

La gran mayoría de los preservantes hidrosolubles, no producen una alteración en el producto, en esta situación, los agentes químicos pueden reaccionar colorimetricamente para determinar la profundidad de penetración.

## **2.4 Colorantes o indicadores**

### **2.4.1 Indicadores químicos o visuales**

En el caso de los indicadores químicos la propiedad que normalmente experimenta un cambio es la coloración, detectándose el punto final por el cambio de color de la disolución que se produce cuando varía el pH, potencial, se subdividen en:

- a. **Autoindicadores:** Cuando el propio valorante o el analito actúan de indicador. El ejemplo más típico es el del permanganato.



- b. **Indicadores coloreados**: Son los más utilizados; suelen incorporarse al sistema a valorar, introduciéndolos directamente en la disolución del analito, pero otras veces actúan externamente desde fuera de la disolución, extrayéndose entonces pequeñas fracciones de esta y ensayando frente al sistema indicador. Sus coloraciones deben ser intensas para percibir claramente el cambio aún cuando se añadan en muy pequeña proporción con objeto de que se consuman cantidades insignificantes de disolución valorada. Algunas veces una misma sustancia puede actuar de indicador en diversos tipos de reacciones.
- c. **Indicadores fluorescentes**: Su funcionamiento es parecido al de los indicadores coloreados, aunque son menos numerosos. El final de la valoración se pone de manifiesto por la aparición, desaparición o cambio de la fluorescencia de la disolución problema sometido a la luz ultravioleta.
- d. **Indicadores de adsorción**: Son sustancias que cambian de color al ser adsorbidas o desorbidas por los sistemas coloidales que se forman en el seno de la disolución problema como resultado de la reacción entre el analito y el valorante.

e. **Indicadores fisicoquímicos:** Con frecuencia se utilizan diversos instrumentos para seguir la variación de la propiedad física a lo largo de la valoración. El método de valoración suele recibir el nombre del sistema instrumental utilizado para detectar el punto final; valoraciones potenciométricas, conductimetrías, amperometrías, espectrofotométricas, termométricas..., siendo los métodos electroquímicos los más utilizados. Sin embargo los métodos físico-químicos de indicación de punto final retardan la volumetría al requerir el trazado de las curvas de valoración, con lo que suele disminuir la frecuencia de los análisis.

Frente a los indicadores químicos, los métodos instrumentales alcanzan una mayor sensibilidad, precisión, resolución y no interferencia de partículas en suspensión o de especies coloreadas. Además, se prestan a una automatización más sencilla ya que den directamente una señal fácil de manipular electrónicamente y capaz de ser digitalizada para analizarla con un ordenador.

El método de detección utilizado para cada caso particular depende de la reacción que tenga lugar y de la posible presencia de interferencias. Así para la valoración de un ácido fuerte con una base fuerte basta la fenolftaleína, pero si la disolución es coloreada puede ser preferible recurrir a la conductimetría.

#### **2.4.2 Sustancias quelantes**

El término quelar proviene de "khele", palabra griega que significa garra, por lo tanto estas sustancias tienen la propiedad de excavar y formar complejos internos captando los iones metálicos del complejo molecular al cual se encuentran entrelazados, fijándolos por unión coordinada denominándose

específicamente como quelación. El termino quelación hace referencia a la remoción de iones inorgánicos de la estructura dentaria mediante un agente químico, el cual lo que hace es captar iones metálicos tales como cobre, magnesio, calcio, sodio, potasio y litio, del complejo molecular a donde están adheridos.

Un material quelante adecuado debe contar con propiedades tales como ser solvente de tejido y detritos, tener baja toxicidad, tener baja tensión superficial, eliminar la capa de desecho dentinario, ser lubricante, inodoro y sabor neutro, ser de acción rápida, de fácil manipulación, incoloro, mecanismo de dosificación simple; tiempo de vida útil adecuado.

Lo ideal es crear una superficie dentinaria lo mas limpia posible; por tal razón la sustancia quelante es una ayuda para lograr este fin, ya que se usa como irrigante, a veces como lubricante al contar con componentes de glicerina o cera, y otras como decalcificante de conductos calcificados. Dentro de los quelantes mas usados en endodoncia están el EDTA (ácido etilendiaminotetraacetico), RC-prep, y EDTAC y el Gly Oxide.

Las soluciones quelantes son moléculas que se basan básicamente en el ácido etilendiaminotetraacetico (EDTA).

El EDTA fue mencionado y descrito en 1953 por Niniforuk al encontrar que el calcio era altamente quelante con pH por encima de 6 y su nivel mas alto de quelación fue con pH de 7.5, posteriormente en 1957 fue introducido por Östby como material quelante durante la terapia endodóntica, por ser disolvente de dentina en cualquier clase de conductos, disminuye el tiempo de preparación, hace fácil el paso de instrumentos fracturados y no es corrosivo para el instrumental. El EDTA, es un catión quelante divalente y no coloidal, el cual contiene un grupo etilendiamino donde se pegan cuatro grupos diacéticos.

El efecto de los agentes quelantes ha sido evaluado mediante una variedad de métodos tales como microscopia electrónica, medidas de microdureza y microradiográficamente, para evaluar la eficiencia de estos.

### **2.4.3 Cromo Azurol S**

Colorante orgánico utilizado para la detección de la presencia ausencia de cobre, en sistemas de madera tratados con óxidos CCA. Usualmente aplicado a las superficie que ha sido tratada con la finalidad de establecer la presencia del preservante.

El colorante cromo azurol S es un agente quelante que forma un complejo al interactuar con el ion de cobre, dando la tonalidad azul violeta indicando la presencia de cobre en la superficie analizada.

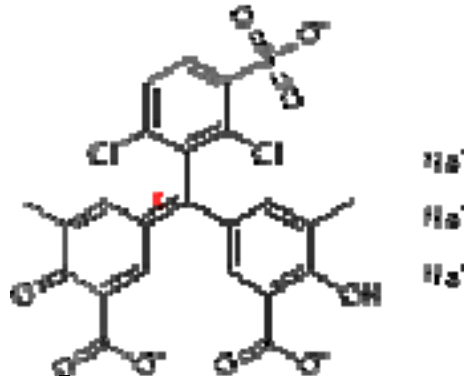
Fórmula molecular: C<sub>23</sub>H<sub>13</sub>Cl<sub>2</sub>Na<sub>3</sub>O<sub>9</sub>S

C<sub>23</sub>H<sub>13</sub>Cl<sub>2</sub>Na<sub>3</sub>O<sub>9</sub>S

C<sub>23</sub>H<sub>13</sub>Cl<sub>2</sub>Na<sub>3</sub>O<sub>9</sub>S

Peso Molecular: 605.28

**Figura 9 Estructura molecular de Cromo Azurol S**



Fuente: Referencia electrónica 7.

## 2.5 Difusión

Los fenómenos de transporte tienen lugar en aquellos procesos, conocidos como procesos de transferencia, en los que se establece el movimiento de una propiedad ( masa, momentum o energía) en una o varias direcciones bajo la acción de una fuerza impulsora. Al movimiento de una propiedad se le llama flujo.

Los procesos de transferencia de masa son importantes ya que la mayoría de los procesos químicos requieren de la purificación inicial de las materias primas o de la separación final de productos y subproductos. Para esto en general, se utilizan las operaciones de transferencia de masa. Con frecuencia , el costo principal de un proceso deriva de las separaciones ( Transferencia de masa). Los costos por separación o purificación dependen directamente de la relación entre la concentración inicial y final de las sustancias separadas; sí esta relación es elevada, también serán los costos de producción.

En muchos casos, es necesario conocer la velocidad de transporte de masa a fin de diseñar o analizar el equipo industrial para operaciones unitarias, en la determinación de la eficiencia de etapa, que debe conocerse para determinar el número de etapas reales que se necesita para una separación dada.

Algunos de los ejemplos del papel que juega la transferencia de masa en los procesos industriales son: la remoción de materiales contaminantes de las corrientes de descarga de los gases y aguas contaminadas, la difusión de neutrones dentro de los reactores nucleares, la difusión de sustancias al interior de poros de carbón activado, la rapidez de las reacciones químicas catalizadas y biológicas así como el acondicionamiento del aire, etc.

En la industria farmacéutica también ocurren procesos de transferencia de masa tal como la disolución de un fármaco, la transferencia de nutrientes y medicamento a la sangre, etc.

La ley de Fick es el modelo matemático que describe la transferencia molecular de masa, en sistemas o procesos donde puede ocurrir solo difusión o bien difusión más convección.

### **2.5.1 Fundamentos de la transferencia de masa**

La transferencia de masa cambia la composición de soluciones y mezclas mediante métodos que no implican necesariamente reacciones químicas y se caracteriza por transferir una sustancia a través de otra u otras a escala molecular. Cuando se ponen en contacto dos fases que tienen diferente composición, la sustancia que se difunde abandona un lugar de una región de alta concentración y pasa a un lugar de baja concentración.

El proceso de transferencia molecular de masa, al igual que la transferencia de calor y de momentum depende de una fuerza impulsora (diferencia de concentración) sobre una resistencia, que indica la dificultad de las moléculas para transferirse en el medio. Esta resistencia se expresa como una constante de proporcionalidad entre la velocidad de transferencia y la diferencia de concentraciones denominado: "Difusividad de masa". Un valor elevado de este parámetro significa que las moléculas se difunden fácilmente en el medio.

El mecanismo de transferencia de masa, depende de la dinámica del sistema en que se lleva a cabo.

Hay dos modos de transferencia de masa:

- a. molecular: La masa puede transferirse por medio del movimiento molecular fortuito en los fluidos ( movimiento individual de las moléculas ), debido a una diferencia de concentraciones. La difusión molecular puede ocurrir en sistemas de fluidos estancados o en fluidos que se están moviendo.
- b. convectiva: La masa puede transferirse debido al movimiento global del fluido. Puede ocurrir que el movimiento se efectúe en régimen laminar o turbulento. El flujo turbulento resulta del movimiento de grandes grupos de moléculas y es influenciado por las características dinámicas del flujo. Tales como densidad, viscosidad, etc.

Usualmente, ambos mecanismos actúan simultáneamente. Sin embargo, uno puede ser cuantitativamente dominante y por lo tanto, para el análisis de un problema en particular, es necesario considerar solo a dicho mecanismo. La transferencia de masa en sólidos porosos, líquidos y gases sigue el mismo principio, descrito por la ley de Fick.

### **2.5.2 Generalidades del transporte de masa molecular**

El transporte molecular ocurre en los 3 estados de agregación de la materia y es el resultado de un gradiente de concentración, temperatura, presión, o de aplicación a la mezcla de un potencial eléctrico.

A la transferencia macroscópica de masa, independiente de cualquier convección que se lleve a cabo dentro de un sistema, se define con el nombre de difusión molecular ó ordinaria.

El transporte molecular resulta de la transferencia de moléculas individuales a través de un fluido por medio de los movimientos desordenados de las moléculas debido a su energía interna. Podemos imaginar a las moléculas desplazándose en líneas rectas con una velocidad uniforme y cambiando su dirección al rebotar con otras moléculas después de chocar.

Entonces su velocidad cambia tanto en magnitud como en dirección. Las moléculas se desplazan en trayectorias desordenadas, y recorren distancias extremadamente cortas antes de chocar con otras y ser desviadas al azar. A la difusión molecular a veces se le llama también proceso de camino desordenado.

El mecanismo real de transporte difiere en gran medida entre gases, líquidos y sólidos, debido a las diferencias sustanciales en la estructura molecular de estos 3 estados físicos.

Gases: los gases contienen relativamente pocas moléculas por unidad de volumen. Cada molécula tiene pocas vecinas o cercanas con las cuales pueda interactuar y las fuerzas moleculares son relativamente débiles; las moléculas de un gas tienen la libertad de moverse a distancias considerables antes de



tener colisiones con otras moléculas. El comportamiento ideal de los gases es explicado por la teoría cinética de los gases.

Líquidos: los líquidos contienen una concentración de moléculas mayor por unidad de volumen, de manera que cada molécula tiene varias vecinas con las cuales puede interactuar y las fuerzas intermoleculares son mayores. Como resultado, el movimiento molecular se restringe más en un líquido. La migración de moléculas desde una región hacia otra ocurre pero a una velocidad menor que en el caso de los gases. Las moléculas de un líquido vibran de un lado a otro, sufriendo con frecuencia colisiones con las moléculas vecinas.

Sólidos: En los sólidos, las moléculas se encuentran más unidas que en los líquidos; el movimiento molecular tiene mayores restricciones. En muchos sólidos, las fuerzas intermoleculares son suficientemente grandes para mantener a las moléculas en una distribución fija que se conoce como red cristalina.

Para el caso de la transferencia de masa, la aplicación de la ecuación general de transporte molecular es la ley de Fick para transporte molecular exclusivamente. La rapidez con la cual un componente se transfiere de una fase a otra depende del coeficiente llamado transferencia de masa... El fenómeno de difusión molecular conduce finalmente a una concentración completamente uniforme de sustancias a través de una solución que inicialmente no era uniforme. La transferencia termina cuando se alcanza el equilibrio.

Los coeficientes de transferencia de masa tienen mucha importancia, por que al regular la rapidez con la cual se alcanza el equilibrio, controlan el tiempo que se necesita para la difusión.

Los coeficientes de rapidez para los diferentes componentes en una fase dada difieren entre si en mayor grado bajo condiciones en donde prevalece la difusión molecular. En condiciones de turbulencia, en que la difusión molecular

carece relativamente de importancia, los coeficientes de transferencia se vuelven mas parecidos para todos los componentes.

El gradiente de concentración puede considerarse por consiguiente como una fuerza impulsora. La magnitud numérica de la difusividad indica la facilidad con que el componente A se transfiere en la mezcla. Si la difusividad tiene un valor elevado, entonces hay mucha facilidad para el transporte de masa... El flujo del componente A se mide con relación a la velocidad molar promedio de todos los componentes.

La difusividad es una característica de un componente y su entorno (temperatura, presión, concentración; ya sea en solución líquida, gaseosa o sólida y la naturaleza de los otros componentes)

### **2.5.3 Difusión molecular en sólidos**

La difusión es el movimiento de los átomos en un material. Los átomos se mueven de manera ordenada, tendiendo a eliminar las diferencias de concentración y producir una composición homogénea del material.

En cualquier estudio del movimiento molecular en el estado sólido, la explicación de la transferencia de masa se divide automáticamente en 2 campos mayores de interés:

1. La difusión de gases o líquidos en los poros del sólido
2. La autodifusión de los constituyentes de los sólidos por medio del movimiento atómico.

La difusión en los poros se puede llevar a cabo por medio de tres o más mecanismos:

1. Difusión de Fick: si los poros son grandes y el gas relativamente denso, la transferencia de masa se llevará a cabo por medio de la difusión de Fick.
2. Difusión Knudsen: Ocurre cuando el tamaño de los poros es de el orden de la trayectoria media libre de la molécula en difusión; es decir si el radio del poro es muy pequeño, las colisiones ocurrirán principalmente entre las moléculas del gas y las paredes del poro y no entre las propias moléculas. La difusividad Knudsen depende de la velocidad molecular y del radio del poro
3. Difusión superficial: Esta tiene lugar cuando las moléculas que se han absorbido son transportadas a lo largo de la superficie como resultado de un gradiente bidimensional de concentración superficial.

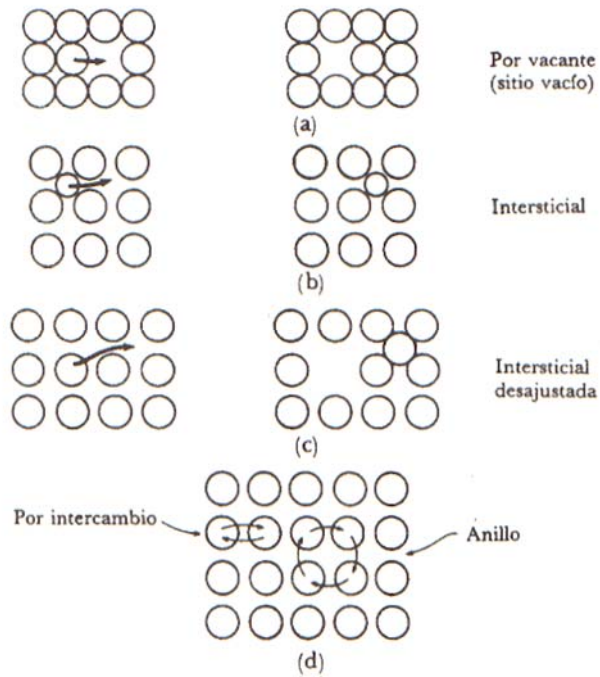
En la difusión superficial las moléculas una vez absorbidas pueden transportarse por desorción en el espacio poroso o por migración a un punto adyacente en la superficie.

Hay varios mecanismos de autodifusión por los cuales se difunden los átomos:

1. Difusión por vacantes: que implica la sustitución de átomos, un átomo deja su lugar en la red para ocupar una vacante cercana (creando un nuevo sitio vacío en su posición original en la red). Se presenta un reflujo de átomos y vacantes.
2. Difusión intersticial: Un átomo se mueve de un intersticio a otro. Este mecanismo no requiere de vacantes para llevarse a cabo. En ocasiones un átomo sustitucional deja su lugar en la red normal y se traslada a un intersticio muy reducido.
3. Difusión intersticial desajustada: Es poco común, debido a que el átomo no se ajusta o acomoda fácilmente en el intersticio, que es más pequeño.

4. Intercambio simple: Puede darse el intercambio simple entre átomos o por medio del mecanismo cíclico (desplazamiento circular).

**Figura 10. Esquema de la difusión en sólidos.**



Fuente: Referencia electrónica 7.

### **3. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL**

#### **3.1 Localización**

- a. La recolección de las varas de bambú, correspondientes a las 4 especies en estudio se efectuó en la finca Panamá, ubicada en el municipio de Santa Bárbara, Suchitepequez.
- b. El secado posterior al corte de la vara, se realizó en el secador solar de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala.
- c. La impregnación al vacío de los óxidos CCA en el bambú, se realizó en la impregnadora de la empresa Maderas y Machimbres, S.A.
- d. La evaluación de la retención en las varas de bambú correspondientes a las 4 especies se ejecutó en las instalaciones del laboratorio de Química Industrial del centro de Investigación de Ingeniería –CII/USAC- la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala.
- e. La evaluación de la penetración del preservante en las varas de bambú se realizó en el Centro de microscopía de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala, con la participación de la jefa del Laboratorio Inga. Myrna Ethel Herrera Sosa y el analista Juan Cecilio Palencia Martínez.

#### **3.2 Recursos humanos**

- a. Autor del trabajo de graduación: Luis Alberto Sologaitoa Romero.

- b. Asesora del trabajo de graduación: Inga. Qca. Telma Maricela Cano Morales.

### 3.3 Recursos materiales

Para la realización de la parte experimental se contó con los siguientes recursos materiales:

- a. Varas de bambú de las 4 especies en estudio.

#### 3.3.1 Reactivos

- a. Óxidos CCA al 60 % a una proporción de 0.25 en agua.

Óxidos de cobre (CuO),	28.5 %
Oxido de cromo (CrO <sub>3</sub> )	11.4%
Pentóxido de arsénico (As <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	20.1%
Otros	40.0%

- b. Cromo Azurol S.
- c. Alcohol etílico grado industrial.
- d. Alcohol etílico con 100 % de pureza.
- e. Xileno.

### 3.4 Equipo y critalería

- a. Secador Solar.
- b. Balanza analítica.
- c. Medidor de humedad en maderas.
- d. Portaobjetos y cubreobjetos.
- e. Microscopio.

- f. Cuchilla para montajes para microscopio.
- g. Impregnadora al vacío.

#### **3.4.1 Impregnadora al vacío**

Es una impregnadora ensamblada en Guatemala con una capacidad total de 7000 pies<sup>3</sup>, aunque regularmente trabaja con un arreglo para 5000 pies<sup>3</sup>.

La recámara es de 50 pies de largo y de 6 pies de diámetro con un grosor de pared de 25 cm. y compuerta con cierre hermético.

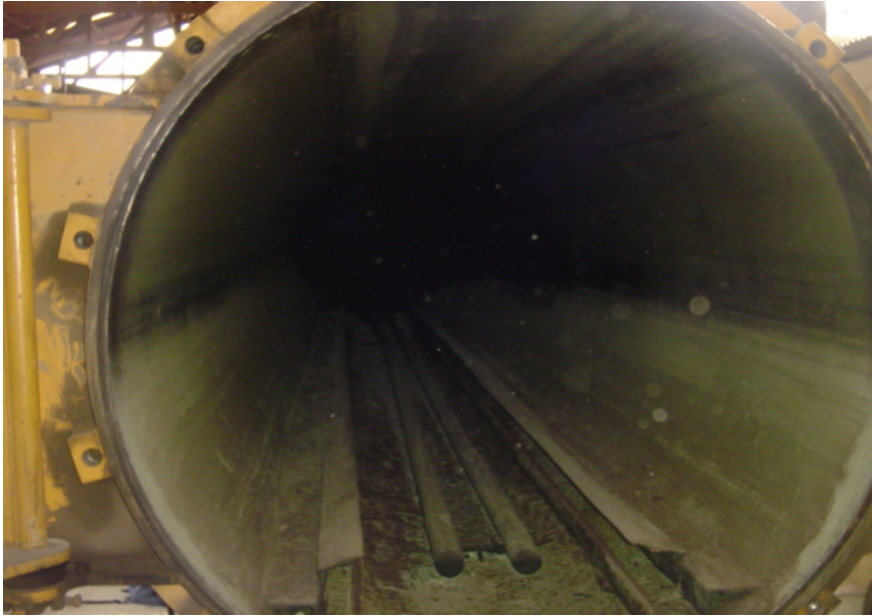
El material a impregnar es colocado sobre una base con un riel de transporte.

Cada tratamiento tiene aproximadamente una duración de 6 horas.

Para el sistema de bombeo cuenta con una bomba que provee 150 psi de presión al líquido que es recirculado dentro de la recámara. El vacío lo realiza un compresor el cual genera los 30 psi.

El líquido utilizado es el preservante de óxidos de CCA a una proporción de 0.25 con agua.

**Figura 11. Cavity interior de la impregnadora al vacío.**



Fuente: Trabajo de campo

**Figura 12. Vista exterior de la impregnadora al vacío.**



Fuente: Trabajo de campo



## **3.1 Procedimientos**

### **3.1.1 Recolección y preparación de muestras**

1. Cortar y Recolectar 15 varas de bambú de 1.5 m de largo para cada una de las 4 especies, en la siembras de la Finca Panamá en el municipio de Santa Bárbara departamento de Suchitepequez. Las varas deben de ser de 4 años de edad y de la parte inferior de la vara de bambú.
2. Secar al ambiente durante 2 semanas.
3. Secar mediante el secador solar durante 2 semanas, hasta una humedad del 7%.
4. Realizar el tratamiento previo de la impregnación, que consiste en tomar 3 varas y cortar longitudinalmente en la parte circular de la vara, a lo largo de la misma. Las siguientes 3 varas se realizarán perforaciones laterales con broca de 1/4 de pulgada en cada entrenudo. Las 3 varas restantes se quedaran sin tratamiento. Esto debe realizarse con las 10 varas de cada especie. Ver sección 3.8.3

- a. Varas enteras.

**Figura 13. Vista de varas de bambú enteras**



Fuente: Trabajo de campo

- b. Varas perforadas lateralmente en los entrenudos.

**Figura 14. Vista de vara perforada lateralmente en entrenudos.**



Fuente: Trabajo de campo

c. Varas cortadas longitudinalmente.

**Figura 15. Vista de vara cortada lateralmente**



Fuente: Trabajo de campo

5. Identificar cada vara por especie, tratamiento y número de vara.

### 3.1.2 Impregnación

6. Pesar cada una de las varas antes de la impregnación.
7. Realizar la impregnación al vacío durante 6 horas, tomando las 3 varas cortadas longitudinalmente, 3 varas perforadas lateralmente y 3 varas enteras de cada una de las especies.
8. Utilizar la solución a 0.25 de óxidos CCA.
9. Secar al ambiente por 2 semanas, para remover la humedad del preservante y alcanzar el 7% de humedad.
10. Pesar cada vara por especie después de tratamiento.

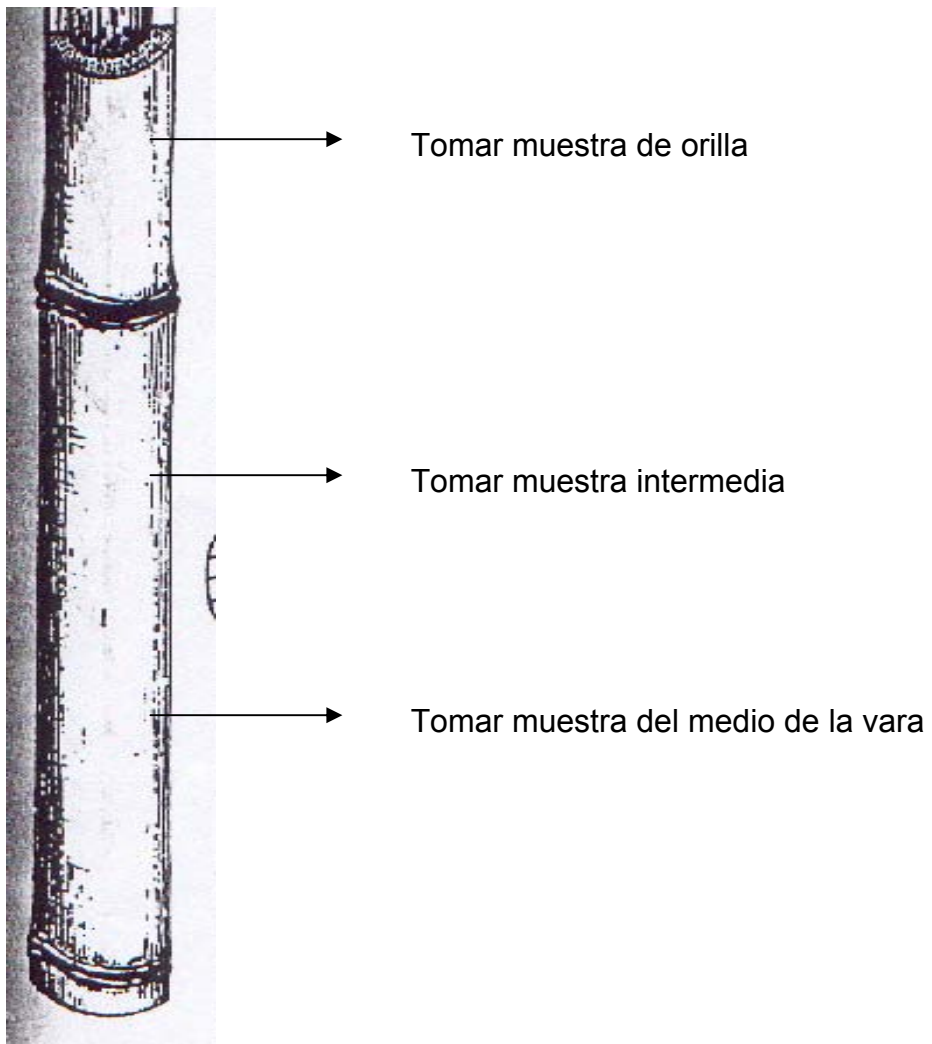
### **3.1.3 Determinación de la retención**

11. Tabular los pesos por vara para obtener la diferencia de peso antes y después de la impregnación.
12. Calcular la retención de preservante en cada una de las varas de bambú, por medio de la norma ASTM D-1413 de preservación de madera por bloques en laboratorio en la sección 10.

### **3.1.4 Determinación de la penetración**

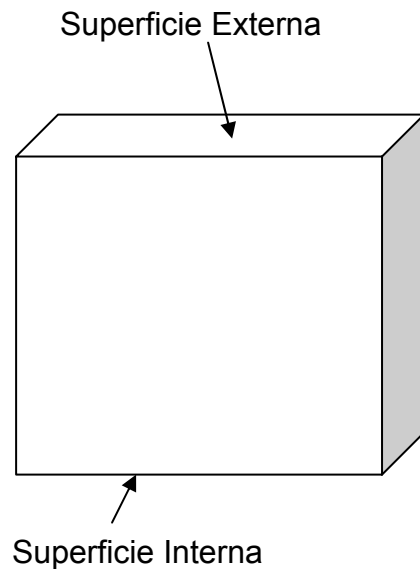
13. Tomar una vara entera impregnada de cada especie de bambú y sacar muestras de  $1\text{plg}^2$ , en tres posiciones en el entrenudo a lo largo de la vara de bambú, una a la mitad de la vara, una en la orilla y la última intermedia entre la orilla y la mitad de la vara.

**Figura 16. Esquema de la toma de muestras a lo largo de la vara de bambú.**



Fuente: Referencia bibliográfica 2, página22.

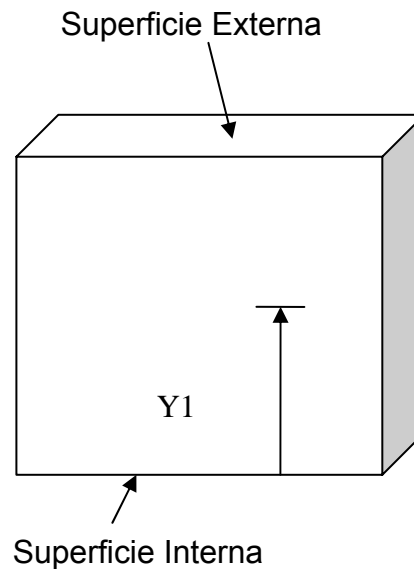
**Figura 17. Diagrama de la muestra a tomar en las varas de bambú.**



Fuente: Trabajo de campo.

14. Dejar en reposo la muestra de 1 plg<sup>2</sup> sumergida en agua destilada durante 1 día.
15. Con la ayuda de la cuchilla de montajes sacar cortes de películas de un grosor de 10 micras, corte transversal y longitudinal, de la muestra húmeda.
16. Sumergir los montajes en xileno, alcohol etílico grado industrial y alcohol etílico anhidro.
17. Sumergir los montajes en el colorante Cromo Azurol S, durante 2 días.
18. Colocar en el portaobjetos y colocarle la resina previo a la colocación del cubreobjetos.
19. Observar en el microscopios y proporcionar la medida de la penetración del preservante midiendo desde la superficie exterior y de la superficie interior.

**Figura 18. Esquema de metodología de medición para la penetración en las muestras de las varas de bambú.**



Fuente: Trabajo de campo.

- 20.** Tabular datos de penetración de acuerdo a especie, tratamiento y posición de la muestra en la vara de bambú.
- 21.** Tomar 2 varas completas, 2 varas cortadas longitudinalmente y 2 varas perforadas lateralmente de cada una de las especies y tomar una muestra de  $1 \text{ plg}^2$ .
- 22.** Repetir los pasos del 13 al 18 con cada una de las muestras del punto 19 de esta sección.

### 3.6.5 Diagrama de flujo del procedimiento

1. Cortar y Recolectar 15 varas de bambú de 1.5 m de largo para cada una de las 4 especies, en la siembras de la Finca Panamá en el municipio de Santa Bárbara departamento de Suchitepequez. Las varas deben de ser de 4 años de edad y de la parte inferior de la vara de bambú.

2. Secar al ambiente durante 2 semanas.

3. Secar mediante el secador solar durante 2 semanas.

4. Realizar el tratamiento previo de la impregnación, que consiste en tomar 3 varas y cortar longitudinalmente en la parte circular de la vara, a lo largo de la misma. Las siguientes 3 varas se realizarán perforaciones laterales con broca de 1/4 de pulgada en cada entrenudo. Las 3 varas restantes se quedaran sin tratamiento. Esto debe realizarse con las 10 varas de cada especie.

5. Identificar cada vara por especie, tratamiento y número de vara.

6. Pesar cada una de las varas antes de la impregnación y determinar la humedad de las varas.

7. Realizar la impregnación al vacío durante 6 horas, tomando las 3 varas cortadas longitudinalmente, 3 varas perforadas lateralmente y 3 varas enteras.



8. Secar al ambiente por 2 semanas, para remover la humedad del preservante y alcanzar la humedad de entrada.

9. Pesar cada vara por especie después de tratamiento.

10. Tabular los pesos por vara para obtener la diferencia de peso antes y después de la impregnación.

11. Calcular la retención de preservante en cada una de las varas de bambú, por medio de la norma ASTM D-1413 de preservación de madera por bloques en laboratorio en la sección 10.

12. Tomar una vara entera impregnada y sacar muestras de 1plg<sup>2</sup>, en tres posiciones en el entrenudo a lo largo de la vara de bambú, una a la mitad de la vara, una en la orilla y la ultima intermedia entre la orilla y la mitad de la vara.

13. Dejar en reposo la muestra de 1 plg<sup>2</sup> sumergida en agua durante 1 día.

14. Con la ayuda de la cuchilla de montajes sacar cortes de películas de un grosor de 10 micras, corte transversal y longitudinal, de la muestra húmeda.

15. Sumergir los montajes en el colorante Cromo Azurol S, durante 2 días.

16. Colocar en el portaobjetos y colocarle la resina previo a la colocación del cubreobjetos.

17. Observar en el microscopio y proporcionar la medida de la penetración del preservante midiendo desde la superficie exterior y de la superficie interior.

18. Tabular datos.

19. Tomar 2 varas completas, 2 varas cortadas longitudinalmente y 2 varas perforadas lateralmente de cada una de las especies y tomar una muestra de 1 plg<sup>2</sup>.

20. Repetir los pasos del 13 al 18 con cada una de las muestras del punto 19 de esta sección.

### 3.2 Diseño del estudio

La impregnación del preservante en la vara de bambú se obtiene al establecer condiciones aptas para la difusión del líquido preservante a través de las superficies de la vara de bambú. Esta difusión es cuantificable por medio de dos variables que son la retención y penetración, donde la retención cuantifica la masa de preservante absorbido por la vara de bambú y la penetración expresa la distancia recorrida por el preservante a través de cada una de las superficies de la vara. Para lo cual se realizarán repeticiones con cada uno de los tres tratamientos en las 4 especies de bambú.

### 3.3 Manejo del estudio

Se analizarán las especies de bambú que a continuación se describen:

- a. *Gigantochloa Apus*
- b. *Guadua Angustifolia*
- c. *Gigantochloa Verticillata*
- d. *Dendrocalamus Asper*

El tamaño de la muestra es de 15 varas correspondiente a cada especie las cuales serán tratadas de la siguiente manera:

**Tabla III. Descripción de las muestras del estudio.**

<b>Especie</b>	<b>Tamaño muestra</b>	<b>Tratamiento para impregnado</b>	<b>Impregnación</b>
<i>Gigantochloa Apus</i>	5	Completa	CCA vacío
<i>Gigantochloa Apus</i>	5	Corte Longitudinal	CCA vacío
<i>Gigantochloa Apus</i>	5	Perforación lateral	CCA vacío
<i>Guadua Angustifolia</i>	5	Completa	CCA vacío
<i>Guadua Angustifolia</i>	5	Corte Longitudinal	CCA vacío
<i>Guadua Angustifolia</i>	5	Perforación lateral	CCA vacío
<i>Gigantochloa verticillata</i>	5	Completa	CCA vacío
<i>Gigantochloa verticillata</i>	5	Corte Longitudinal	CCA vacío
<i>Gigantochloa verticillata</i>	5	Perforación lateral	CCA vacío
<i>Dendrocalamus Asper</i>	5	Completa	CCA vacío
<i>Dendrocalamus Asper</i>	5	Corte Longitudinal	CCA vacío
<i>Dendrocalamus Asper</i>	5	Perforación lateral	CCA vacío

Fuente: Trabajo de Campo

## **3.4 Diseño experimental**

### **3.4.1 Variables independientes**

Las variables independientes las constituyen el tamaño de muestra y el pre-tratamiento de impregnación, concentración del preservante, tiempo de impregnación, presión de vacío en la impregnadora y presión de bombeo del preservante, óxidos CCA.

### **3.4.2 Variable respuesta**

Las variables de respuesta corresponden a la retención y penetración de los óxidos de CCA en cada una de las varas de bambú analizadas

## **3.9 Hipótesis**

La impregnación al vacío de óxidos CCA preservará a las especies de bambú *Guadua Angustifolia*, *Gigantochloa Verticillata*, *Gigantochloa Apus* y *Dendrocalamus Asper*.

### **3.9.1 Hipótesis nula**

No existe una diferencia significativa en la media y varianza de la retención y penetración de los tres tratamientos previos a la impregnación al vacío de óxidos CCA al compararse los tratamientos en cada una de las 4 especies de bambú.

### **3.9.2 Hipótesis alternativa**

Existe una diferencia significativa en la media y varianza de la retención y penetración de los tres tratamientos previos a la impregnación al vacío de sales CCA al compararse los tratamientos en cada una de las 4 especies de bambú.

### **3.10 Análisis estadístico**

Se realizó un análisis estadístico de varianza, con la finalidad de comprobar la hipótesis que mejor se ajusta a la parte experimental del estudio, el cual se dividirá en dos partes análisis de la media y varianza de la penetración y la retención del preservante en el bambú. Se efectúa para cada una de las cuatro especies de bambú ya que éstas son independientes entre sí. (*Véase muestra de cálculo en el anexo A.3*).

Se comprueba si las hipótesis nula “No existe una diferencia significativa en la media y varianza de la retención y penetración de los tres tratamientos previos a la impregnación al vacío de óxidos CCA al compararse los tratamientos en las 4 especies de bambú”, o la hipótesis alternativa “Existe una diferencia significativa en la media y varianza de la retención y penetración de

los tres tratamientos previos a la impregnación al vacío de óxidos CCA al compararse los tratamientos en las 4 especies de bambú”, es la que mejor se ajusta a la parte experimental.

La idea de este método es expresar una medida de la variación total e un conjunto de datos como una suma de términos, que se pueden atribuir a fuentes o causas específicas de variación, en su forma más simple, se aplica a experimentos que se planifican como diseños completamente aleatorizados.

## 4. RESULTADOS

### 4.1 Retención

La retención se refiere a la cantidad de preservante que fue retenida por el producto después del tratamiento y se expresa en gramos de preservante/ gramos de producto.

Para el cálculo de la retención se utilizó la ecuación 1 del Apéndice A.1

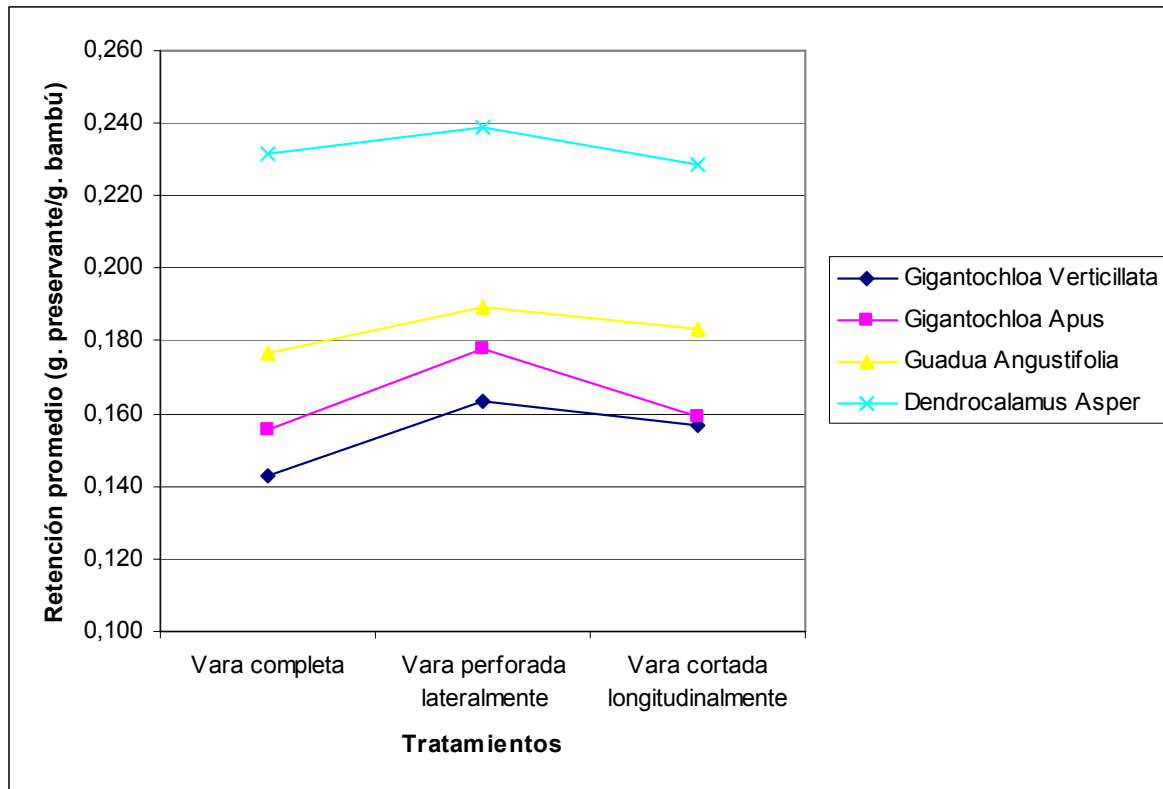
Este cálculo se realizó para las 5 repeticiones de cada tratamiento para las 4 especies de bambú en estudio, que posteriormente se calculó el promedio de cada una (*Véase muestra de cálculo en Anexo A.1*). Obteniéndose los siguientes resultados.

**Tabla IV. Retención promedio con su desviación estándar en gramos de preservante por gramo de bambú.**

	<i>Gigantochloa Verticillata</i>	<i>Gigantochloa Apus</i>	<i>Guadua Angustifolia</i>	<i>Dendrocalamus Asper</i>
<b>Vara completa</b>	0.143±0.009	0.155±0.032	0.177±0.02	0.231±0.01
<b>Vara perforada lateralmente</b>	0.163±0.0116	0.178±0.026	0.189±0.015	0.239±0.019
<b>Vara cortada longitudinalmente</b>	0.156±0.0116	0.159±0.007	0.183±0.01	0.229±0.015

Fuente: Datos calculados según anexo A.1

**Figura 19. Retención promedio de las 4 especies de bambú en los tratamientos.**



Fuente: Valores de la tabla IV, sección de resultados.

## 4.2 Penetración

La penetración se refiere a la profundidad que el preservante penetra el producto desde la superficie interna hasta la finalización de la zona de alta concentración de tinción.

El análisis de penetración se utilizó para estudiar la difusión del preservante en la vara de bambú en dos enfoques diferentes. El primero



consiste en analizar un perfil de penetración a lo largo de una vara de bambú analizando la penetración en diferentes puntos de la vara.

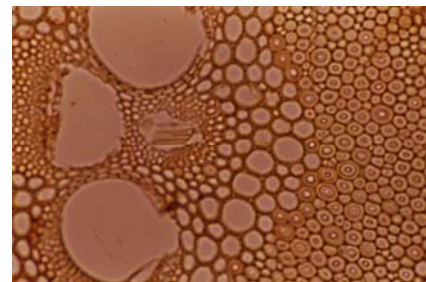
El segundo enfoque compara la penetración entre los diferentes tratamientos con la finalidad de determinar con que tratamiento se obtiene una mayor penetración.

El porcentaje de penetración se define como el porcentaje que fue penetrado por el preservante del grosor total de la vara de bambú.

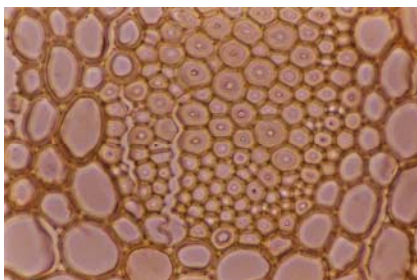
**Figura 20. Cuadro comparativo de vistas de corte sin preservante y con colorante.**



(a)



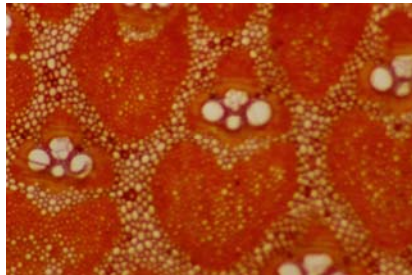
(b)



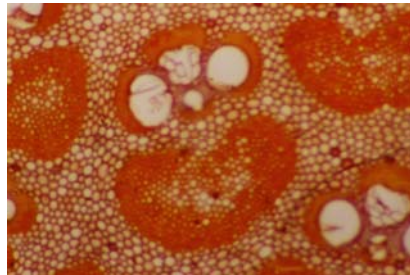
(c)

Fuente: Trabajo de campo, (a) Vista con lente 4X, (b) Vista con lente 10X, (c) vista con lente 20X., Fotografía tomada en el laboratorio de microscopía de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala por la Inga. Myrna Ethel Herrera Sosa.

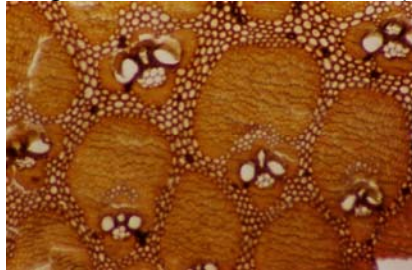
**Figura 21. Cuadro comparativo en la anatomía microscópica de las 4 especies de bambú con lente de 4X.**



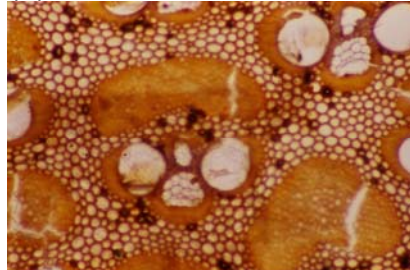
Gigantochloa Verticillata (a)



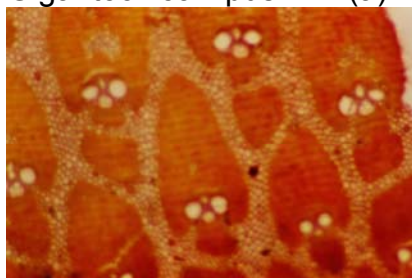
(b)



Gigantochloa Apus (a)



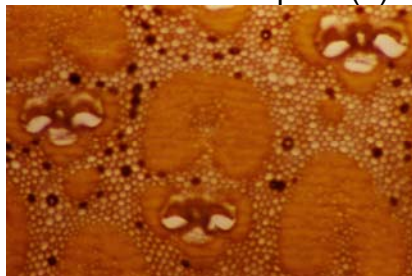
(b)



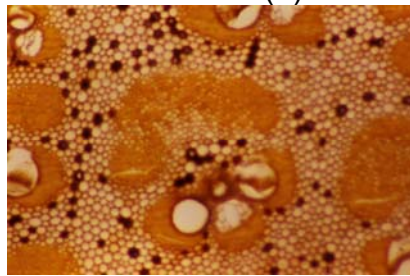
Dendrocalamus Asper (a)



(b)



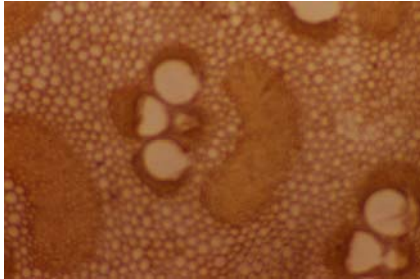
Guadua Angustifolia (a)



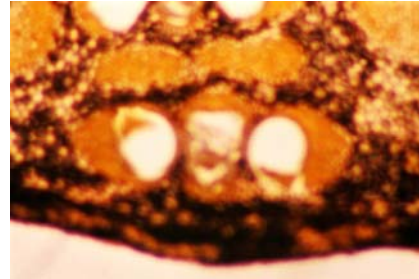
(b)

Fuente: Trabajo de campo. (a) Superficie externa, (b) Superficie interna, Fotografía tomada en el laboratorio de microscopía de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala por la Inga. Myrna Ethel Herrera Sosa.

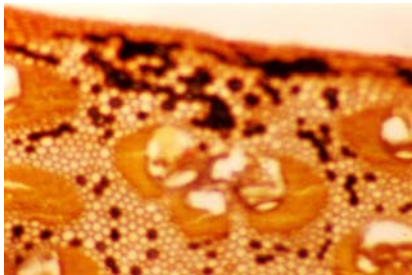
**Figura 22. Cuadro Comparativo en la concentración de coloración en vista 4X.**



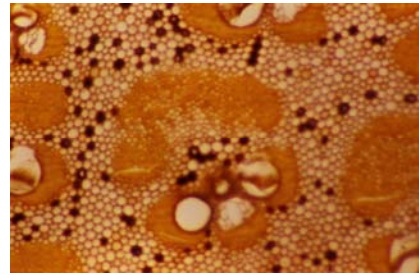
(a) Sin concentración



(b) Alta concentración



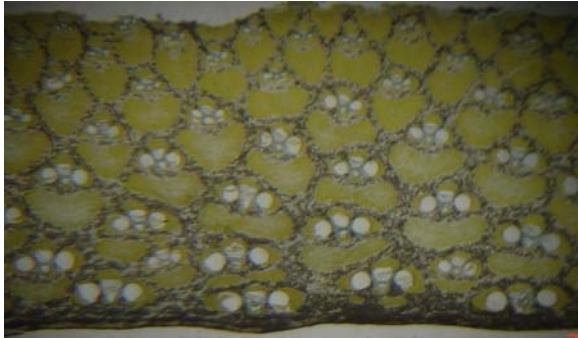
(c) Concentración media



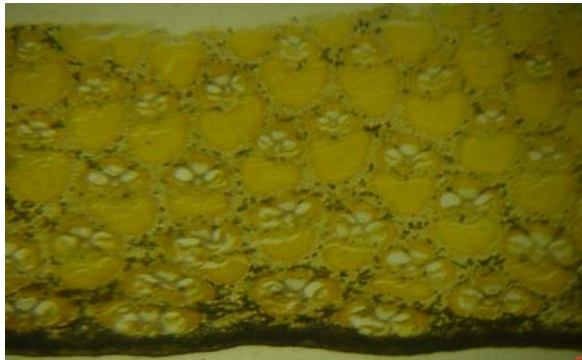
(d) Concentración Baja

Fuente: Trabajo de campo, (a) *Guadua Angustifolia* vara completa sin preservante, (b) *Gigantochloa Verticillata* con vara perforada lateralmente, (c) *Gigantochloa Verticillata* con vara cortada longitudinalmente, (d) *Guadua Angustifolia* con vara completa, Fotografía tomada en el laboratorio de microscopía de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala por la Inga. Myrna Ethel Herrera Sosa.

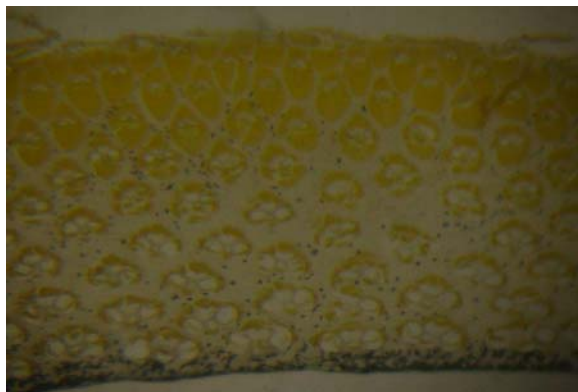
**Figura 23. Vista macro de la concentración de tinción.**



(a) Alta concentración



(b) Concentración Media



(c) Baja concentración

Fuente: Trabajo de campo, a) *Gigantochloa Verticillata* vara perforada, b) *Gigantochloa Apus* vara completa, c) *Guadua Angustifolia* vara completa, Fotografía tomada en el laboratorio de microscopía de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala por la Inga. Myrna Ethel Herrera Sosa.

#### 4.2.1 Perfil de penetración

Para determinar el perfil de penetración se analizaron 3 posiciones dentro de la vara de bambú, en el centro de la vara, en la orilla y en una posición intermedia de las anteriores. Esto se realizó con una vara completa posterior a la impregnación en cada una de las 4 especies en estudio, obteniéndose los siguientes resultados.

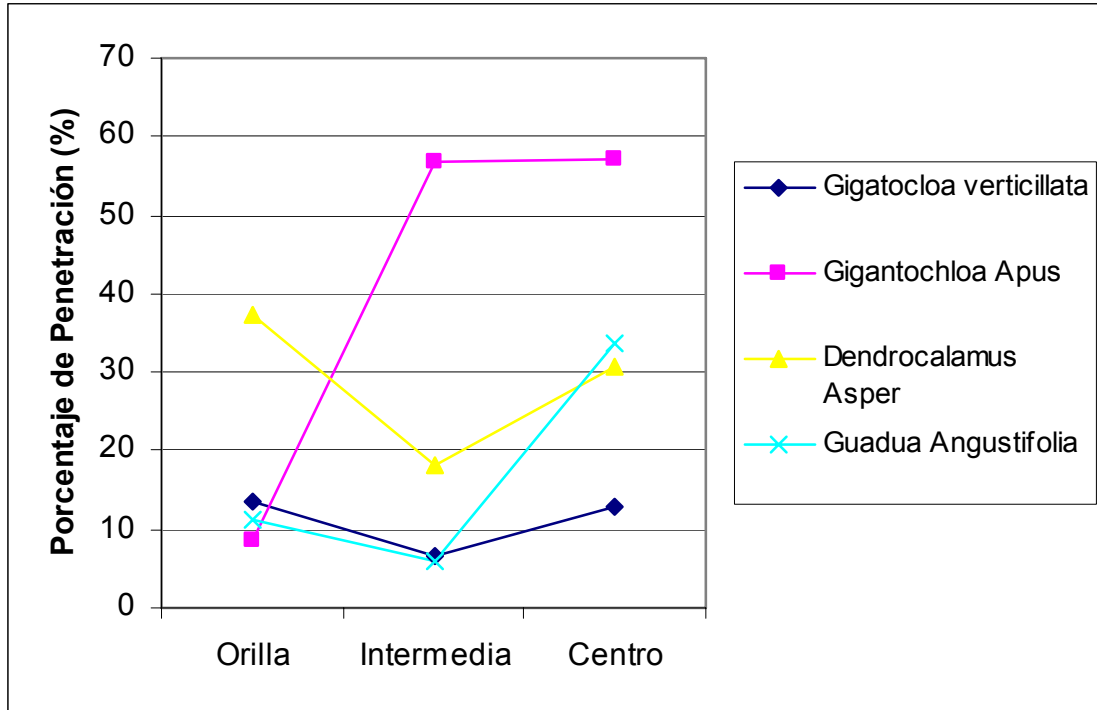
Cabe destacar que como se definió anteriormente la penetración se refiere a la profundidad que el preservante penetra el producto desde la superficie interna hasta la finalización de la zona de alta concentración de tinción y el porcentaje de penetración se define como el porcentaje que fue penetrado por el preservante del grosor total de la vara de bambú.

**Tabla V. Perfil de porcentaje de penetración en las 4 especies de bambú con la concentración de coloración observada**

	Orilla		Intermedia		Centro	
	Pn (%)	Conc	Pn (%)	Conc	Pn (%)	Conc
<b>Gigantochloa Verticillata</b>	13.59	B	6.46	B	12.75	B
<b>Gigantochloa Apus</b>	8.67	B	56.67	M	57.25	M
<b>Dendrocalamus Asper</b>	37.46	M	18.25	A	30.77	M
<b>Guadua Angustifolia</b>	11.07	B	5.87	M	33.69	B

Fuente: Trabajo de campo.

**Figura 24. Perfil del porcentaje de penetración en las 4 especies de bambú en varas completas impregnadas con óxidos CCA.**



Fuente: Valores de la Tabla V, sección de resultados.

#### 4.2.2 Penetración en tratamientos

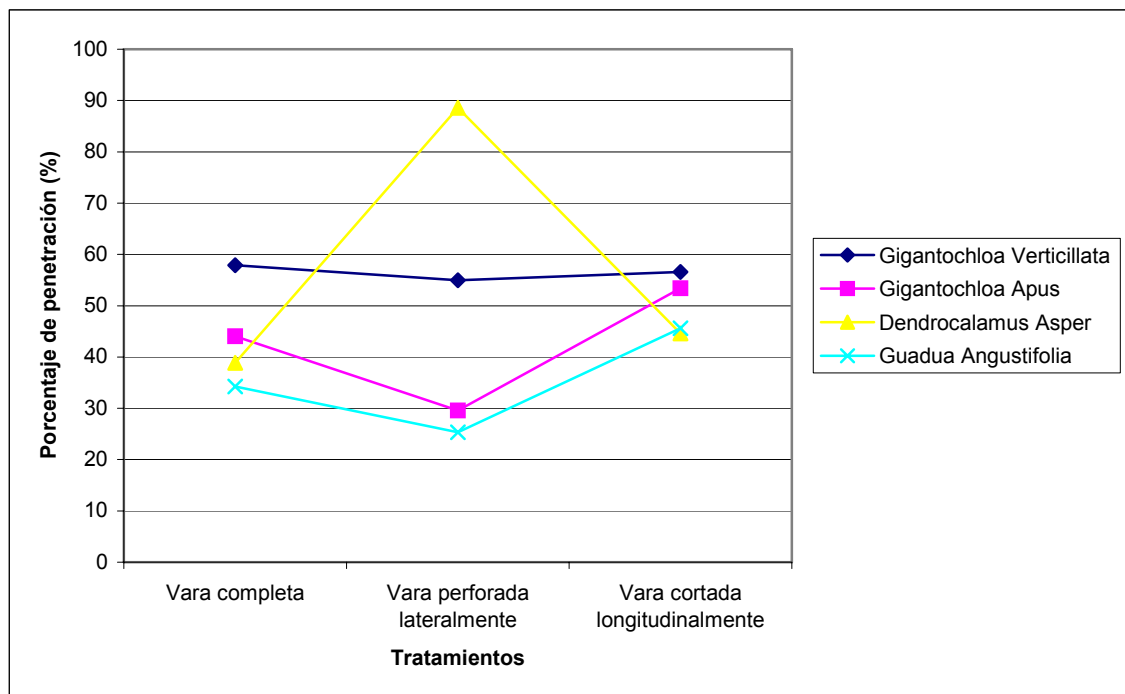
Se analizó la penetración 2 muestras de cada tratamiento en las 4 especies de bambú tabulados en la tabla XXIV del Anexo B.2, a los cuales se calculo la penetración promedio obteniéndose los siguientes resultados. (Véase muestra de cálculo en el Anexo A.2)

**Tabla VI. Porcentaje de penetración promedio con su desviación estándar del preservante óxidos CCA en los diferentes tratamientos de las 4 especies de bambú.**

	<b>Gigantochloa Verticillata</b>	<b>Gigantochloa Apus</b>	<b>Dendrocalamus Asper</b>	<b>Guadua Angustifolia</b>
<b>Vara completa</b>	57.885 $\pm$ 18.65	44.03 $\pm$ 8.118	38.85 $\pm$ 30.22	34.24 $\pm$ 21.8
<b>Vara perforada lateralmente</b>	54.97 $\pm$ 39.089	29.555 $\pm$ 8.775	88.58 $\pm$ 0.693	25.34 $\pm$ 2.28
<b>Vara cortada longitudinalmente</b>	56.56 $\pm$ 14.906	53.4 $\pm$ 13.407	44.62 $\pm$ 0.219	45.585 $\pm$ 0.41

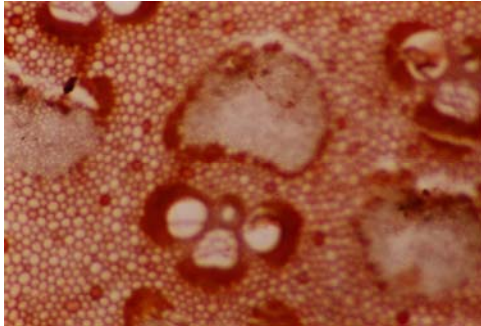
Fuente: Tabla XXIV, Apéndice A.2, datos calculados.

**Figura 25. Porcentaje de penetración promedio del preservante en los 3 tratamientos para las 4 especies de bambú.**

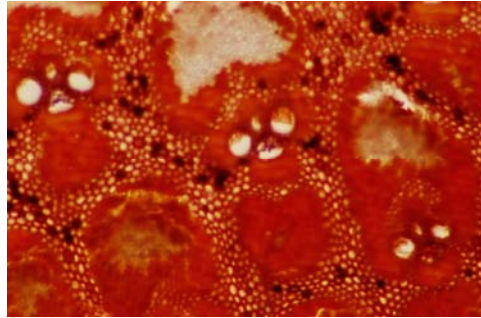


Fuente: Valores de la Tabla VI, sección de resultados.

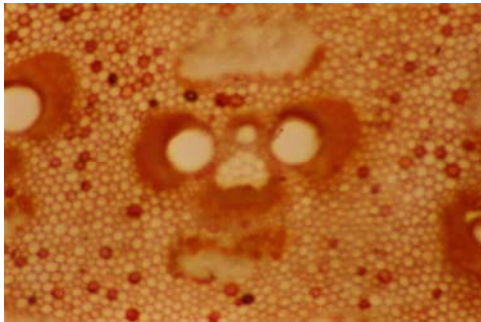
**Figura 26. Cuadro comparativo para cortes de *Dendrocalamus Asper* para los 3 diferentes tratamientos con lente de 4X.**



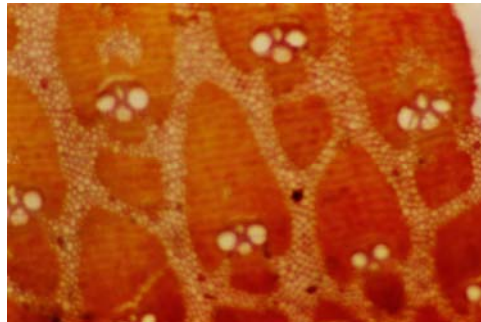
Vara perforada lateralmente (a)



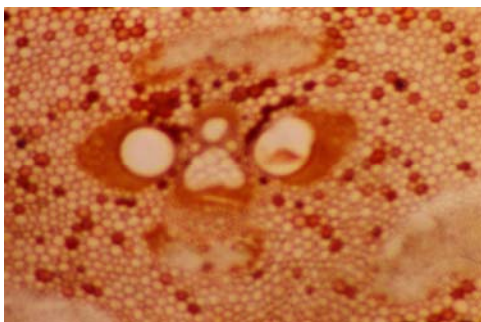
(b)



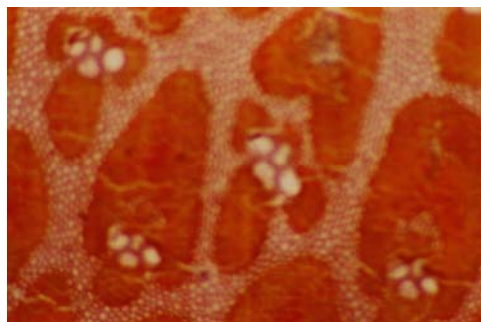
Vara completa (a)



(b)



Vara cortada longitudinalmente (a)



(b)

Fuente: Trabajo de campo, (a) Superficie interna, (b) Superficie externa, Fotografía tomada en el laboratorio de microscopía de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala por la Inga. Myrna Ethel Herrera Sosa.



### 4.2.3 Índice de impregnación.

El índice de impregnación se define como la relación entre la retención y la penetración, el cual proporciona un dato de la eficiencia en la impregnación de la vara de bambú. Véase apéndice A.3 para la muestra de cálculo.

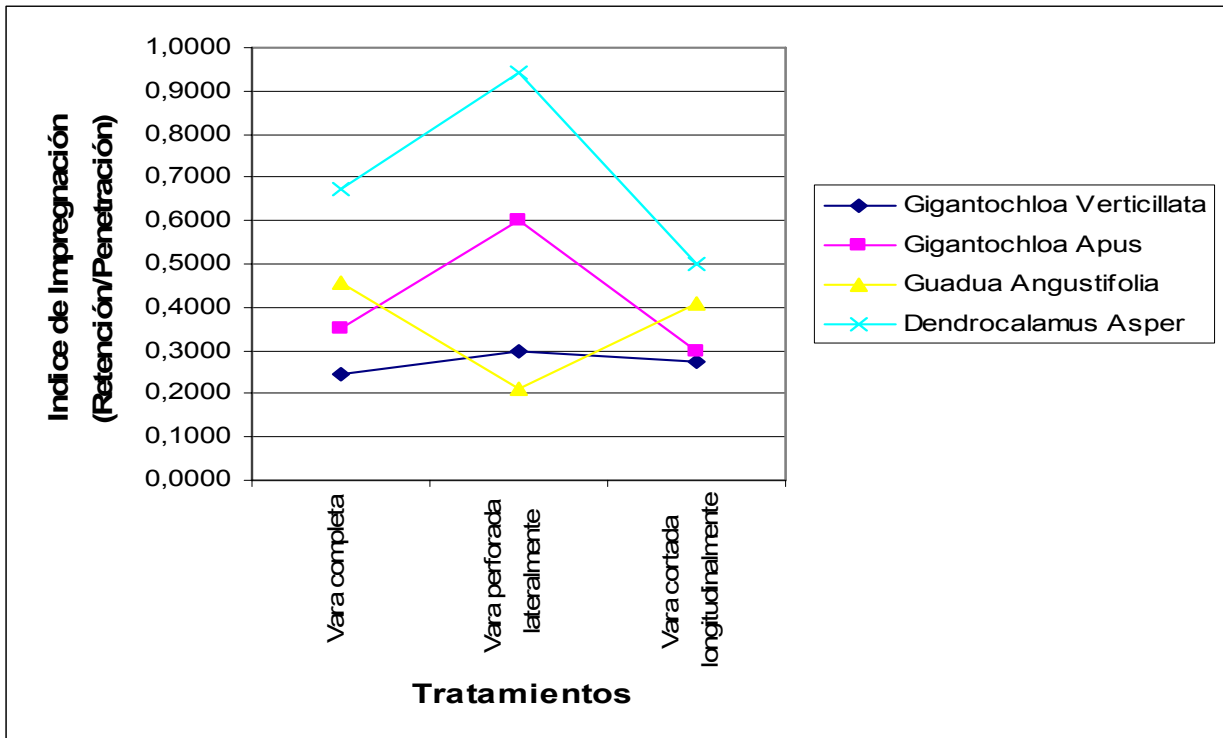
El índice de impregnación proporciona las unidades de masa de preservante que fue retenida por unidad de porcentaje de penetración en 100 unidades de masa de vara de bambú sin impregnación.

**Tabla VII. Índice de impregnación (retención/penetración, g preservante / (100 g de bambú \* porcentaje de penetración) del preservante óxidos CCA en los diferentes tratamientos de las 4 especies de bambú.**

	<b>Gigantochloa Verticillata</b>	<b>Gigantochloa Apus</b>	<b>Guadua Angustifolia</b>	<b>Dendrocalamus Asper</b>
<b>Vara completa</b>	0,2470	0,3520	0,4556	0,6746
<b>Vara perforada lateralmente</b>	0,2965	0,6023	0,2134	0,9432
<b>Vara cortada longitudinalmente</b>	0,2758	0,2978	0,4101	40,4995

Fuente: Tabla XXV, Apéndice A.2, datos calculados.

**Figura 27. Índice de impregnación (g de preservante/ g de bambu\* porcentaje de penetración) del preservante en los 3 tratamientos para las 4 especies de bambú.**



Fuente: Tabla VII, sección de resultados.

### 4.3 Análisis estadístico

El análisis estadístico de varianza, comprueba la hipótesis que mejor se ajusta a la parte experimental del estudio, el cual se divide en dos partes. Donde se analiza la media y la varianza de la penetración y retención del preservante en el bambú. Se efectúa para cada una de las cuatro especies de bambú ya que éstas son independientes entre sí. (Véase muestra de cálculo en el anexo A.3).

**Tabla VIII. Análisis estadístico para medias de la retención y penetración para las 4 especies de bambú.**

<b>Especie</b>	<b>Análisis Estadístico</b>	<b>F calculada</b>	<b>F tabulada</b>	<b>Hipótesis Nula</b>
<i>Gigantochloa Verticillata</i>	Retención	6.74412151	3.89	Rechazada
	Penetración	0.00613394	199.5	Aceptada
<i>Gigantochloa Apus</i>	Retención	1.07941084	3.89	Aceptada
	Penetración	2.6812911	199.5	Aceptada
<i>Guadua Angustifolia</i>	Retención	3.84772456	3.89	Aceptada
	Penetración	9.23951572	199.5	Aceptada
<i>Dendrocalamus Asper</i>	Retención	1.24119494	3.89	Aceptada
	Penetración	0.67613303	199.5	Aceptada

Fuente: Datos calculados, Anexo B.3.

**Tabla IX. Análisis estadístico para varianzas de la retención y penetración para las 4 especies de bambú.**

		<b>B</b>	<b>b<math>\alpha</math></b>	<b>Conclusión</b>
<b>Gigantochloa Verticillata</b>	Retención	0.973	0.576	Aceptada
	Penetración	0.697	0.206	Aceptada
<b>Gigantochloa Apus</b>	Retención	0.556	0.576	Rechazada
	Penetración	0.902	0.206	Aceptada
<b>Dendrocalamus Asper</b>	Retención	0.854	0.576	Aceptada
	Penetración	0.047	0.206	Rechazada
<b>Guadua Angustifolia</b>	Retención	0.891	0.576	Aceptada
	Penetración	0.009	0.206	Rechazada

Fuente: Datos calculados, Anexo B.3



## 5. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

El principal objetivo del presente trabajo de graduación es proporcionar un tratamiento efectivo de preservación química y el método de análisis para la medición y cuantificación de la eficiencia en la impregnación del preservante óxidos CCA a la vara bambú de las 4 especies características del municipio de Santa Bárbara Suchitepequez (*Gigantochloa Verticillata*, *Gigantochloa Apus*, *Guadua Angustifolia*, *Dendrocalamus Asper*). Adicionalmente, se quiso comparar la efectividad de la impregnación en 3 tratamientos, vara entera, perforada lateralmente y cortada longitudinalmente.

La impregnación al vacío es uno de los métodos más efectivos utilizado con el preservante de óxidos de cobre, cromo y arsénico (CCA) para producciones a nivel industrial, por su capacidad de producción y por su eficiencia de impregnación.

Para evaluar la eficiencia de la impregnación se calcularon la retención y la penetración, utilizadas internacionalmente y además determinaron los índices de impregnación, para cada tratamiento en cada una de las especies de bambú.

### 5.1 Retención

Para determinar la retención de preservante, la vara de bambú fué secada previo a la impregnación hasta una humedad de 7 %, humedad donde se recomienda para evitar el crecimiento de hongos y el ataque de termitas. Posterior a la impregnación se secó nuevamente hasta lograr la misma

humedad de 7 %, con ello se asegura que el peso ganado por la vara de bambú corresponde al preservante impregnado en la vara, es importante que no se debe pesar las varas de bambú en humedades diferentes ya que proporcionaría un error en el cálculo de la retención de preservante, ya que se incluiría una masa distinta de agua en la condición inicial y la final.

En cuanto a los resultados de retención obtenidos se observa que el tratamiento con mayor retención es el de la vara perforada lateralmente ( *Tabla IV , resultados, pag 59* ), debido a que los orificios facilitan la difusión del preservante a través de la vara de bambú, ya que dicho resultado fué obtenido en las 4 especies analizadas. Por el contrario, la vara entera presenta la retención mas baja de preservante, debido a que la absorción del preservante se realiza únicamente desde las superficie interna de la vara, la cual se encuentra en menor contacto con el preservante, como es el caso de la vara cortada longitudinalmente, que expone de manera directa a la superficie interna con el preservante.

De igual manera, la especie con mayor retención corresponde a *Dendrocalamus Asper*, coincidiendo con ser la especie con mayor peso en la vara de bambú con mayor grosor en el anillo de la vara de bambú, lo cual beneficia su capacidad de absorción debido a que la porosidad de la corteza facilitan la absorción del preservante, obteniendo aproximadamente 1.5 veces mayor retención que las otras especies. Por tanto la retención es característica de la anatomía de las especies, debido a que las especies *Gigantochloa Verticillata* y *Gigantochloa Apus*, son las especies que poseen las menores retenciones y de igual manera son las especies con menor grosor en las paredes y menor peso en las varas de bambú. Mientras que la *Guadua Angustifolia*, se coloca en el segundo lugar de mayor retención correspondiendo al grosor de paredes y peso de vara.

## 5.2 Penetración

En el análisis de la penetración se utilizó la microscopía como fuente de medición de la penetración, por la exactitud que proporciona sus resultados, ya que por estar basada en cambios de color en la muestra puede ser mal interpretado a simple vista, dicho riesgo es eliminado en la microscopía. Cabe hacer mención que el colorante utilizado, cromo azurol S, detecta la penetración del cobre únicamente, siendo este el parámetro de medición que se le dio para la interpretación de la penetración, descartando la penetración de los otros dos agentes, cromo y arsénico. Dentro de la tinción se presentaron problemas tiempos de tinción de hasta 4 días para obtener una buena tinción de las muestras, lo que representa un inconveniente para la presente metodología.

Se sometieron a tinción las muestras impregnadas y comparadas con un patrón que corresponde a una muestra sin preservante que fue sometida de igual manera a la tinción (Figura 22 y 23 , resultados, pag 63 ), con la finalidad de poder realizar una comparación en la coloración de las muestras y determinar la presencia del preservante.

Al observar microscópicamente las muestras se observó que la totalidad de la superficie analizada está impregnada con el preservante, aunque se observaban áreas con una alta concentración de tinción lo que indicaba una alta concentración de preservante en esa región, esto indica una concentración del preservante cerca de la superficie interna. Al analizar el proceso de impregnación se observa que el vacío realizado para remover los excedentes de líquido se realiza a presiones considerablemente grandes, 25 psi, lo que supone que realiza un proceso inverso a la penetración, o sea, un desalojo del preservante de la corteza del bambú, por lo tanto, podría ser conveniente

realizar esta parte del proceso a presiones de vacío menores con el fin de minimizar el desalojo del preservante y así obtener un mejor resultado en la penetración y retención del preservante.

Por tanto, la difusión del preservante se analizó utilizando como referencia las zonas de alta concentración, aunque como se mencionó el preservante fue observado en la totalidad de las muestras analizadas. Dichas zonas de alta concentración indicaba que cerca de la superficie interna se encontraba la concentración alta de tinción y que por tanto es la barrera que presenta la menor dificultad al preservante para su difusión dentro de la vara de bambú.

Dentro de los resultados obtenidos del perfil de penetración a lo largo de la vara de bambú, se obtuvieron resultados que variaban de una especie a otra, (*Figura 24, resultados, Pág. 66*), por lo que no se pudo determinar una tendencia común en las especies en estudio, si no una tendencia para cada una de las especies de bambú. El perfil de penetración es importante ya que muestra un panorama del desplazamiento del preservante dentro de la corteza a lo largo de una vara de bambú.

Por otro lado, en los resultados de penetración de los tratamientos se encontró que el tratamiento de vara perforada lateralmente presentaba áreas de mayor concentración en comparación con los otros tratamientos, esto de acuerdo a escala estipulada en la Figura 23 de la página 64 de la sección de resultados, esto coincide con los resultados obtenidos en la retención en donde dicho tratamiento posee los resultados más altos. Sin embargo, en los porcentajes obtenidos únicamente en la especie *Dendrocalamus Asper* presenta la mayor penetración en este tratamiento las demás especies coinciden con tener mayor penetración en la vara cortada longitudinalmente.



Adicionalmente, la especie *Dendrocalamus Asper* presenta áreas de media y alta concentración en comparación con las demás especies que presentan áreas de media y baja concentración, presentado un cuadro de mayor concentración para la especie.

### **5.3 Índice de impregnación**

El índice de impregnación proporciona una relación entre la retención y la penetración lo cual indicaría una medida tangible de la eficiencia de la impregnación, ya que proporciona una medida de que masa de preservante es retenida por cada porcentaje de penetración en un bloque de 100 unidades de masa de bambú sin impregnar.

Según la *Figura 27*, de la sección de resultados las especies presentan un mayor índice de impregnación en el tratamiento de vara perforada lateralmente, únicamente la especie *Guadua Angustifolia* presenta un comportamiento diferente, donde se obtuvo un mejor índice en el tratamiento de vara completa.

Además, la especie *Dendrocalamus Asper* es la que presenta un rango mayor para valores del índice de impregnación, coincidiendo con los resultados de retención, penetración de zonas de alta concentración, esto en comparación con las 3 especies restantes independientes del tratamiento.

Cabe hacer mención que la condición ideal para la eficiencia de impregnación sería una penetración del 100 % de zonas de alta concentración, o sea, una uniformidad en la distribución del preservante en la corteza del bambú. Esto lograrlo con la menor cantidad de preservante, siempre y cuando

sea la cantidad necesaria para proveer la protección requerida por la vara de bambú para garantizar su larga vida útil.

Por tanto, para evaluar la eficiencia de impregnación deben de existir parámetro que cumplir de retención, penetración e índice de impregnación. Ya que el índice de impregnación nos da un panorama de la relación entre estas dos variables, y no de la magnitud individual de cada una de ellas. Pero si cumplen con los parámetros de retención y penetración, el índice de impregnación debe de ser lo más bajo posible, o sea, lo más cercano a cero.

#### **5.4 Análisis estadístico**

Con respecto al análisis estadístico, se concluye que la hipótesis nula en la penetración es aceptada y que no se encuentra una diferencia significativa en las medias de los tratamientos de vara perforada lateralmente, vara entera y vara cortada longitudinalmente, para cada una de las 4 especies de bambú analizadas.

Mientras que en los resultados de análisis de medias de la retención se concluye que únicamente en la especie de *Gigantochloa Apus*, se encuentra una diferencia significativa y se rechaza la hipótesis nula, para las 3 especies restantes se acepta la hipótesis. (*Tabla VIII, resultados, pág 70*)

En contraposición, el análisis de igualdad de varianzas para la retención presenta a la especie *Gigantochloa Apus*, como la única especie que rechaza la hipótesis de igualdad de varianzas dentro de los 3 tratamientos y además la hipótesis de medias también fue rechazada por esta especie en el análisis de retención.

Por otro lado en la penetración se observa que 2 especies rechazan la hipótesis de igual, *Guadua Angustifolia* y *Dendrocalamus Asper*. Aunque en los datos de retención se encuentran datos de varianza elevados, lo que supone una variación de los datos obtenidos para tratamientos individuales, aunque el análisis de medias se aceptó en las 4 especies. (*Tabla IX, resultados, pág 71*)



## CONCLUSIONES

1. El tratamiento con vara perforada lateralmente es el que presenta mayor retención del preservante de óxidos CCA en la corteza de la vara, independiente de la especie de bambú y el que menor retención presenta es el tratamiento de la vara completa.
2. Según los análisis de microscopía la penetración de los óxidos CCA en la vara de bambú alcanza la totalidad de la corteza aunque no se impregna con igual intensidad en todas las partes de la corteza.
3. Del estudio de microscopía el tratamiento que presenta mayores zonas de alta concentración de óxidos CCA en su corteza es el de vara perforada lateralmente, independiente de la especie de bambú.
4. La especie que a nivel microscópico se observó que presenta mayor concentración, porcentaje de penetración, índice de impregnación y retención de óxidos CCA en su corteza es la especie *Dendrocalamus Asper*.
5. El mayor índice de impregnación en corteza en 3 especies, exceptuando la *Guadua Angustifolia*, se logró para el tratamiento de vara perforada lateralmente.
6. Según el análisis estadístico de igualdad de medias y varianzas para los 3 tratamientos las especies aceptaron las hipótesis de igualdad de

medias y varianzas para un nivel de confianza del 95%, a excepción de la especie *Gigantochloa Apus* que rechazó ambas hipótesis

7. Según el análisis estadísticos de medias en la penetración se acepta la hipótesis de igualdad de medias para un nivel de confianza del 95% independiente de la especie de bambú.
8. Para el análisis estadístico de igualdad de varianzas para la penetración se rechaza la hipótesis de igualdad para un 95 % de confianza para la especie *Dendrocalamus Asper* y *Guadua Angustifolia*.
9. La difusión (retención y penetración) del preservante dentro de la vara de bambú se realiza únicamente desde la superficie interna.

## RECOMENDACIONES

1. Para la obtención de datos representativos en la retención de preservante en la vara de bambú, es necesario tomar la medida de peso antes y después de la impregnación justo con la misma humedad.
2. Se sugiere que dentro del proceso de impregnación, los períodos de vacío se apliquen de modo gradual y en menor grado de vacío posterior a la impregnación, para evitar un proceso inverso de desalojo del preservante de la corteza de la vara de bambú.
3. Se aconseja buscar colorantes para la presencia de los tres diferentes componentes de los óxidos CCA y así, realizar una comparación en la eficiencia de impregnación para cada uno de los componentes (cobre, cromo y arsénico).
4. Se recomienda buscar métodos para acelerar el tiempo de tinción del colorante cromo azulol-S en la muestra de vara impregnada.
5. Para la cuantificación de la penetración y determinación de la concentración de coloración es necesario establecer una escala uniforme de medida para la obtención de datos significativos.
6. Se sugiere a las empresas interesadas en la comercialización de la vara preservada de bambú realizar estudios para determinar el tiempo de

impregnación y la concentración de preservante óptima con la finalidad de reducir los costos de operación para cada una de las especies de bambú.

7. Estudios de vara impregnada como la de caracterización de las propiedades físico-mecánicas; resistencia a fuego, hongos, termitas y coleópteros son necesarias para la descripción de las propiedades del producto que se desea comercializar y agregarle valor al mismo.



## **BIBLIOGRAFÍA**

### **Referencia bibliográfica**

1. American Society for Testing and Materials, "Annual Book of ASTM Standards", Part 22 Wood; adhesives, Estados Unidos, 1979. Normas ASTM D-1413 sección 7, y D-3345
2. Banco industrial de la Republica de Argentina, La industria de la preservación de la madera por impregnación. Estudio preliminar sobre su desarrollo en Argentina. Buenos Aires, Argentina, 1962.
3. Douglas Montgomery, "Diseño y análisis de experimentos" (México: Grupo Editorial Iberoamericana, 1991) páginas 135-140.
4. Wapole Ronald, "Probabilidad y estadística para ingenieros", México, Editorial Prentice Hall Hispanoamericana, S.A. 1999. pag 461.

### **Referencia de trabajos de graduación**

1. Claudia del Carme Vivas Acevedo, Eficacia del tratamiento químico con Pentaclorofenol, sales CCA y Wontrot en 3 especies de madera contra el ataque de termitas subterráneas, Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2000.

2. Juan Tones García Marroquín, Mercado de las artesanías y muebles de bambú en Guatemala, Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, 1992.
3. Julio Héctor Tejada Vásquez, Determinación de las propiedades físico-mecánicas de 4 especies de bambú. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, 1990.
4. María de los Ángeles Valiente Navarro, Utilización del Bambú en el diseño de viviendas para la región sur-oriente de Guatemala, Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, 1985.
5. Raúl Menéndez Cahueque, Caracterización de 11 cultivares de bambú en la Finca Chocóla, Suchitepéquez, Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, 1983.

### **Referencias electrónicas**

1. Alfredo Maggionari,  
[www.ceniap.gov.ve/publica/divulga/Fd49/babmbu.htm](http://www.ceniap.gov.ve/publica/divulga/Fd49/babmbu.htm), Investigador FONAIAD.
2. Ivonne Malaver, [www.analitica.com/vas/1999.12.3/ecología/50.htm](http://www.analitica.com/vas/1999.12.3/ecología/50.htm), Colombia El tiempo de Bogotá, 1999.
3. Jaime Salazar Contreras y Gustavo Díaz, Inmunización de la Guadua, [www.icfes.gov.co/revistas/ingeninue/No.38/Art2.htm](http://www.icfes.gov.co/revistas/ingeninue/No.38/Art2.htm) Universidad Nacional de Colombia, 1994.

4. Mario Álvarez Urueña, Plantemos bambú, [www.arqchile.cl/plantemos-bambu.htm](http://www.arqchile.cl/plantemos-bambu.htm), Chile, 2001.
5. Servicio de Información Agropecuaria de Ministerio de Agricultura y Ganadera,  
[www.sica.gov.ec/agronegocios/productos/%20para%20invertir/fibras/caña-colombia.htm](http://www.sica.gov.ec/agronegocios/productos/%20para%20invertir/fibras/caña-colombia.htm), Ecuador. Proyecto Sica, Banco Mundial.
6. [www.ecuadorexporta.org/producto-own/perfildelbambuenecuador320.pdf](http://www.ecuadorexporta.org/producto-own/perfildelbambuenecuador320.pdf)
7. <http://www.pasqualinonet.com.ar/Colorantes.htm> Café columbus 2006-03-24
8. [http://www.javeriana.edu.co/Facultades/Odontologia/posgrados/academico/i\\_a\\_revision26.html](http://www.javeriana.edu.co/Facultades/Odontologia/posgrados/academico/i_a_revision26.html)
9. <http://www.angelfire.com/ia2/ingenieriaagricola/index.html>
10. [www.bambumex.org/paginas/COLECTANDO.pdf](http://www.bambumex.org/paginas/COLECTANDO.pdf)
11. [www.infomadera.net/images/10166.pdf](http://www.infomadera.net/images/10166.pdf)



## ANEXOS

<b>A</b>	<b>MUESTRA DE CÁLCULO.....</b>	<b>93</b>
A.1	Retención.....	91
A.2	Penetración.....	92
A.3	Análisis estadístico.....	93
<b>B</b>	<b>DATOS CALCULADOS.....</b>	<b>97</b>
B.1	Retención.....	97
B.2	Penetración.....	103
B.3	Análisis estadístico.....	106
	B.3.1 <i>Gigantochloa Verticillata</i> .....	106
	B.3.2 <i>Gigantochloa Apus</i> .....	109
	B.3.3 <i>Guadua Angustifolia</i> .....	112
	B.3.4 <i>Dendrocalamus Asper</i> .....	115
<b>C</b>	<b>DISTRIBUCIÓN F.....</b>	<b>119</b>



## A. MUESTRA DE CÁLCULO

### A.1 Retención

Para calcular los resultados de la retención se utiliza la ecuación referida en la norma ASTM D-1413 sección 10.5, que utiliza las siguientes variables:

Re = retención en gramos de preservante absorbido por gramo de bambú.

PV<sub>1</sub> = Peso en gramos de la vara de bambú antes de la impregnación.

PV<sub>2</sub> = Peso en gramos de la vara de bambú impregnada.

$$\text{Retención} = \text{Re} = \frac{\text{PV}_2 - \text{PV}_1}{\text{PV}_1} \quad (1)$$

Nota: ambas mediciones del peso de las varas de bambú debe realizarse a la misma humedad, que para el presente estudio es de 7%.

Los datos del PV<sub>1</sub> y PV<sub>2</sub> se encuentran tabulados en la tabla IX a XX del Anexo B.1.

Posteriormente, se calcula la retención promedio para el grupo de resultados de retención para cada tratamiento en cada especie bambú, cada grupo contiene 5 resultados de retención.

$$\text{Re}_{\text{prom}} = \frac{\text{Re}_1 + \text{Re}_2 + \text{Re}_3 + \text{Re}_4 + \text{Re}_5}{5} \quad (2)$$

Los resultados de la retención promedio de cada tratamiento en las 4 especies de bambú se presentan en la tabla IV en la sección de resultados.

## A.2 Penetración

La penetración se definirá como el porcentaje penetrado en concentración de coloración perceptible por el preservante desde la superficie interna hasta donde se observa que termina la concentración visible del colorante.

$$P_n = \frac{\text{Penetración}}{\text{Grosor de muestra}} * 100\% \quad (3)$$

Los resultados de la penetración de cada tratamiento en las 4 especies de bambú se presentan en la tabla XXI y XXII. en la sección del anexo B.2.

Para determinar el índice de impregnación se utilizará la siguiente ecuación.

$$\text{Índice de Impregnación} = \frac{\text{Retención} * 100}{\text{Penetración}} \quad (4)$$



### A.3 Análisis estadístico

El análisis estadístico se dividirá en 2 partes, la primera analizará la retención y la segunda la penetración, comparando en ambos casos la igualdad tanto en la media como en la varianza de los resultados entre los diferentes tratamientos realizados.

Para comprobar la hipótesis nula de la igualdad entre las medias de los tratamientos para cada una de las especies de bambú se basa en la siguiente hipótesis:

Hipótesis nula

$$H_0 = \mu_1^2 = \mu_2^2 = \mu_3^2$$

Hipótesis alternativa

$H_1$  = No son iguales todas las medias,

Las formulas empleadas son las siguientes:

$$SST = \sum_{i=1}^K \sum_{j=1}^n (x_{i,j} - \bar{X})^2 \quad (5)$$

$$SSA = n * \sum_{i=1}^K (\bar{X}_i - \bar{X})^2 \quad (6)$$

$$SSE = SST - SSA \quad (7)$$

$$S_1^2 = SSA / (K-1) \quad (8)$$

$$S^2 = SSE / (K (n-1)) \quad (9)$$

En donde k representa el numero de tratamientos y n el numero de experimentos por cada tratamiento,  $x_{i,j}$  es el valor de la muestra j en el i-

ésimo tratamiento,  $X_i$  es la media del i-ésimo tratamiento de las n muestras,  $\bar{X}$  es la media de las nk muestras.

Con las formulas anteriores se construye la siguiente tabla para resumir los datos.

**Tabla X. Fórmulas para análisis estadístico de igualdad de medias.**

Fuente de Variación	Grados de libertad	Suma de Cuadrados	Medias de cuadrados	F calculada	F tabulada
<b>Tratamientos</b>	K-1	SSA	$S_1^2$	$S_1^2/S^2$	
<b>Error</b>	K(n-1)	SSE	$S^2$		
<b>Total</b>	Kn-1	SST			

Fuente: Referencia Bibliográfica 6, página 283.

Donde la F calculada debe de compararse con la F tabulada, la cual se calcula con un nivel de confianza del 95%.

Y se consideran como  $v_1 = K-1$  y  $v_2 = K(n-1)$ , ambos grados de libertad necesarios para el uso de la distribución F.

En donde si la F calculada > F tabulada se rechaza la Hipótesis nula.

Para comprobar la hipótesis de la igualdad en las varianzas, se utilizará las siguientes hipótesis.

Hipótesis nula

$$H_0 = \sigma_1^2 = \sigma_2^2 = \sigma_3^2$$

Hipótesis alternativa

$H_1 =$  No son iguales todas las varianzas

Para llevar a cabo la prueba para la homogeneidad de las varianzas se utiliza la prueba de Barnett para tamaños de muestras iguales, la cual se basa en un estadístico cuya distribución muestral proporciona valores críticos exactos para muestras de tamaños iguales.

Primero se calculan las  $k$  varianzas muestrales  $s_1^2, s_2^2, \dots, s_k^2$  de las muestras de tamaño  $n_1, n_2, \dots, n_k$  con  $N = \text{Sumatoria}(n_i)$ . Se combinan las varianzas muestrales para dar la estimación combinada

$$S_p^2 = \frac{\sum (n_i - 1) s_i^2}{N - k} \quad (10)$$

Ahora,

$$b = \frac{((s_1^2)^{n-1} (s_2^2)^{n-1} \dots (s_k^2)^{n-1})^{1/(N-k)}}{S_p^2} \quad (11)$$

Es un valor de una variable aleatoria  $B$  con distribución Barlett. Para caso especial cuando  $n_1 = n_2 = \dots = n_k$ , se rechaza  $H_0$  al nivel de significancia  $\alpha$  si

$$b < b_k(\alpha, n),$$

donde  $b_k(\alpha, n)$ , es el valor crítico que deja un área de tamaño  $\alpha$  en la cola izquierda de la distribución Barlett.

Donde  $\alpha$  será de 0.05, para un nivel de confianza del 95 %.



## B. DATOS CALCULADOS

### B.1 Retención

Tabla XI. Retención en gramos de preservante por gramo de bambú para la especie *Gigantochloa Apus*, con tratamiento de vara completa.

No. vara	Peso Inicial (g)	Peso final (g)	Preservante absorbido (g)	Retención (g absorbidos/g vara)
1	795	953	158	0.199
2	1103	1295	192	0.174
3	1006	1143	137	0.136
4	902	1038	136	0.151
5	1911	2135	224	0.117

Fuente: Trabajo de campo.

Tabla XII. Retención en gramos de preservante por gramo de bambú para la especie *Gigantochloa Apus*, con tratamiento de vara perforada lateralmente.

No. vara	Peso Inicial (g)	Peso final (g)	Preservante absorbido (g)	Retención (g absorbidos/g vara)
1	551	653	102	0.185
2	1345	1563	218	0.162
3	1259	1451	192	0.153
4	1593	1862	269	0.169
5	781	953	172	0.220

Fuente: Trabajo de campo.

**Tabla XIII. Retención en gramos de preservante por gramo de bambú para la especie *Gigantochloa Apus*, con tratamiento de vara cortada longitudinalmente.**

<b>No. de vara</b>	<b>Peso Inicial (g)</b>	<b>Peso final (g)</b>	<b>Preservante absorbido (g)</b>	<b>Retención (g absorbidos/g vara)</b>
1	458	526	68	0.148
2	322	373	51	0.158
3	784	915	131	0.167
4	371	431	60	0.162
5	771	895	124	0.161

Fuente: Trabajo de campo.

**Tabla XIV. Retención en gramos de preservante por gramo de bambú para la especie *Gigantochloa Verticillata*, con tratamiento de vara completa.**

<b>No. de vara</b>	<b>Peso Inicial (g)</b>	<b>Peso final (g)</b>	<b>Preservante absorbido (g)</b>	<b>Retención (g absorbidos/g vara)</b>
1	1596	1813	217	0.136
2	778	895	117	0.150
3	1432	1621	189	0.132
4	1468	1693	225	0.153
5	1411	1614	203	0.144

Fuente: Trabajo de campo.

**Tabla XV. Retención en gramos de preservante por gramo de bambú para la especie *Gigantochloa Verticillata*, con tratamiento de vara perforada lateralmente.**

<b>No. de vara</b>	<b>Peso Inicial (g)</b>	<b>Peso final (g)</b>	<b>Preservante absorbido (g)</b>	<b>Retención (g absorbidos/g vara)</b>
1	592	686	94	0.159
2	544	638	94	0.173
3	965	1105	140	0.145
4	803	941	138	0.172
5	914	1067	153	0.167

Fuente: Trabajo de campo.

**Tabla XVI. Retención en gramos de preservante por gramo de bambú para la especie *Gigantochloa Verticillata*, con tratamiento de vara cortada longitudinalmente.**

<b>No. de vara</b>	<b>Peso Inicial (g)</b>	<b>Peso final (g)</b>	<b>Preservante absorbido (g)</b>	<b>Retención (g absorbidos/g vara)</b>
1	492	569	77	0.157
2	521	601	80	0.154
3	440	514	74	0.168
4	513	598	85	0.166
5	462	526	64	0.139

Fuente: Trabajo de campo.

**Tabla XVII. Retención en gramos de preservante por gramo de bambú para la especie *Guadua Angustifolia*, con tratamiento de vara completa.**

<b>No. de vara</b>	<b>Peso Inicial (g)</b>	<b>Peso final (g)</b>	<b>Preservante absorbido (g)</b>	<b>Retención (g absorbidos/g vara)</b>
1	1668	1945	277	0.166
2	915	1085	170	0.186
3	689	802	113	0.164
4	579	699	120	0.207
5	570	661	91	0.160

Fuente: Trabajo de campo.

**Tabla XVIII. Retención en gramos de preservante por gramo de bambú para la especie *Guadua Angustifolia*, con tratamiento de vara perforada lateralmente.**

<b>No. de vara</b>	<b>Peso Inicial (g)</b>	<b>Peso final (g)</b>	<b>Preservante absorbido (g)</b>	<b>Retención (g absorbidos/g vara)</b>
1	1128	1353	225	0.199
2	988	1155	167	0.169
3	1048	1256	208	0.198
4	1356	1598	242	0.178
5	667	801	134	0.201

Fuente: Trabajo de campo.



**Tabla XIX. Retención en gramos de preservante por gramo de bambú para la especie *Guadua Angustifolia*, con tratamiento de vara cortada longitudinalmente.**

<b>No. de vara</b>	<b>Peso Inicial (g)</b>	<b>Peso final (g)</b>	<b>Preservante absorbido (g)</b>	<b>Retención (g absorbidos/g vara)</b>
1	351	421	70	0.199
2	442	522	80	0.181
3	174	206	32	0.184
4	162	191	29	0.179
5	226	265	39	0.173

Fuente: Trabajo de campo.

**Tabla XX. Retención en gramos de preservante por gramo de bambú para la especie *Dendrocalamus Asper*, con tratamiento de vara completa.**

<b>No. de vara</b>	<b>Peso Inicial (g)</b>	<b>Peso final (g)</b>	<b>Preservante absorbido (g)</b>	<b>Retención (g absorbidos/g vara)</b>
1	1259	1534	275	0.218
2	1706	2114	408	0.239
3	1123	1378	255	0.227
4	2318	2884	566	0.244
5	2102	2582	480	0.228

Fuente: Trabajo de campo.

**Tabla XXI. Retención en gramos de preservante por gramo de bambú para la especie *Dendrocalamus Asper*, con tratamiento de vara perforada lateralmente.**

<b>No. De vara</b>	<b>Peso Inicial (g)</b>	<b>Peso final (g)</b>	<b>Preservante absorbido (g)</b>	<b>Retención (g absorbidos/g vara)</b>
1	683	845	162	0.237
2	1120	1415	295	0.263
3	802	996	194	0.242
4	1027	1275	248	0.241
5	4863	5884	1021	0.210

Fuente: Trabajo de campo.

**Tabla XXII. Retención en gramos de preservante por gramo de bambú para la especie *Dendrocalamus Asper*, con tratamiento de vara cortada longitudinalmente.**

<b>No. de vara</b>	<b>Peso Inicial (g)</b>	<b>Peso final (g)</b>	<b>Preservante absorbido (g)</b>	<b>Retención (g absorbidos/g vara)</b>
1	911	1122	211	0.232
2	798	983	185	0.232
3	580	725	145	0.250
4	1020	1234	214	0.210
5	1233	1505	272	0.221

Fuente: Trabajo de campo.

## B.2 Penetración

Tabla XXIII. Perfil de penetración de óxidos CCA en porcentaje de penetración, para las 4 especies de bambú.

		Grosor (mm.)	Penetración (mm.)	Porcentaje	Concentración
<b>Gigantochloa Verticillata</b>	<b>Orilla</b>	8.17	1.11	13.59	B
	<b>Intermedia</b>	8.20	0.53	6.46	B
	<b>Centro</b>	7.45	0.95	12.75	B
<b>Gigantochloa Apus</b>	<b>Orilla</b>	6.00	0.52	8.67	B
	<b>Intermedia</b>	6.30	3.57	56.67	M
	<b>Centro</b>	6.48	3.71	57.25	M
<b>Dendrocalamus Asper</b>	<b>Orilla</b>	19.22	7.20	37.46	M
	<b>Intermedia</b>	14.52	2.65	18.25	A
	<b>Centro</b>	15.47	4.76	30.77	M
<b>Guadua Angustifolia</b>	<b>Orilla</b>	8.13	0.90	11.07	B
	<b>Intermedia</b>	9.03	0.53	5.87	M
	<b>Centro</b>	8.43	2.84	33.69	B

Fuente: Trabajo de campo.

**Tabla XXIV. Penetración del preservante en los diferentes tratamientos para las 4 especies de bambú.**

		<b>Grosor (mm.)</b>	<b>Penetración (mm.)</b>	<b>Porcentaje</b>	<b>Concentración</b>
<b>Gigantochloa Verticillata</b>	<b>Completa</b>	4.67	2.10	44.97	M
	<b>Completa</b>	4.52	3.20	70.80	M
	<b>Perforada</b>	5.75	4.75	82.61	<b>A</b>
	<b>Perforada</b>	5.16	1.41	27.33	<b>M</b>
	<b>Cortada</b>	4.52	2.08	46.02	M
	<b>Cortada</b>	5.35	3.59	67.10	M
<b>Gigantochloa Apus</b>	<b>Completa</b>	4.44	1.70	38.29	B
	<b>Completa</b>	4.38	2.18	49.77	M
	<b>Perforada</b>	7.28	1.70	23.35	<b>M</b>
	<b>Perforada</b>	7.13	2.55	35.76	<b>M</b>
	<b>Cortada</b>	5.20	3.27	62.88	M
	<b>Cortada</b>	5.26	2.31	43.92	M
<b>Guadua Angustifolia</b>	<b>Completa</b>	5.93	1.39	23.44	M
	<b>Completa</b>	5.86	3.18	54.27	M
	<b>Perforada</b>	5.51	4.97	90.20	<b>A</b>
	<b>Perforada</b>	5.22	4.54	86.97	<b>A</b>
	<b>Cortada</b>	3.34	1.50	44.91	M
	<b>Cortada</b>	5.03	2.23	44.33	B
<b>Dendrocalamus Asper</b>	<b>Completa</b>	6.06	0.78	12.87	B
	<b>Completa</b>	6.15	3.42	55.61	M
	<b>Perforada</b>	5.07	1.26	24.85	<b>M</b>
	<b>Perforada</b>	6.04	1.56	25.83	<b>M</b>
	<b>Cortada</b>	9.27	4.24	45.74	M
	<b>Cortada</b>	8.65	3.93	45.43	M

Fuente: Trabajo de campo.

**Tabla XXV. Índice de impregnación para los diferentes tratamientos en las 4 especies de bambú.**

		Retención (g preservante/ 100 g bambú)	Penetración (%)	Índice impregnación (Retención/Penetración)
<b>Gigantochloa Verticillata</b>	<b>Vara completa</b>	14,3	57,885	0,247
	<b>Vara perforada lateralmente</b>	16,3	54,97	0,297
	<b>Vara cortada longitudinalmente</b>	15,6	56,56	0,276
<b>Gigantochloa Apus</b>	<b>Vara completa</b>	15,5	44,03	0,352
	<b>Vara perforada lateralmente</b>	17,8	29,555	0,602
	<b>Vara cortada longitudinalmente</b>	15,9	53,4	0,298
<b>Guadua Angustifolia</b>	<b>Vara completa</b>	17,7	38,85	0,456
	<b>Vara perforada lateralmente</b>	18,9	88,58	0,213
	<b>Vara cortada longitudinalmente</b>	18,3	44,62	0,410
<b>Dendrocalamus Asper</b>	<b>Vara completa</b>	23,1	34,24	0,675
	<b>Vara perforada lateralmente</b>	23,9	25,34	0,943
	<b>Vara cortada longitudinalmente</b>	22,9	45,85	0,499

Fuente: Apéndice A.2, datos calculados.

### B.3 Análisis estadístico

#### B.3.1 *Gigantochloa Verticillata*

Tabla XXVI. Sumatorias para el análisis estadístico de medias para la retención de la especie *Gigantochloa Verticillata*.

	Re	Re prom	Re-Reprom	(Re-Reprom) <sup>2</sup>	Rei prom	Rei prom-Re prom	(Reiprom-Reprom) <sup>2</sup>
Vara completa	1.36E-01	1.60E-01	-2.40E-02	5.78E-04	1.43E-01	-1.69E-02	2.86E-04
	1.50E-01	1.60E-01	-9.62E-03	9.26E-05			
	1.32E-01	1.60E-01	-2.80E-02	7.85E-04			
	1.53E-01	1.60E-01	-6.74E-03	4.54E-05			
	1.44E-01	1.60E-01	-1.61E-02	2.60E-04			
Vara perforada lateralmente	1.59E-01	1.60E-01	-1.22E-03	1.50E-06	1.63E-01	3.17E-03	1.01E-05
	1.73E-01	1.60E-01	1.28E-02	1.64E-04			
	1.45E-01	1.60E-01	-1.49E-02	2.23E-04			
	1.72E-01	1.60E-01	1.18E-02	1.40E-04			
	1.67E-01	1.60E-01	7.39E-03	5.46E-05			
Vara cortada longitudinalmente	1.97E-01	1.60E-01	3.71E-02	1.38E-03	1.74E-01	1.37E-02	1.89E-04
	1.86E-01	1.60E-01	2.62E-02	6.85E-04			
	1.68E-01	1.60E-01	8.17E-03	6.68E-05			
	1.66E-01	1.60E-01	5.69E-03	3.23E-05			
	1.52E-01	1.60E-01	-8.49E-03	7.21E-05			
			SST	4.58E-03		Sumatoria	4.85E-04
						SSA	2.42E-03

Fuente: Datos calculados, Anexo A.3.

Tabla XXVII. Análisis estadístico de medias para la retención para la especie *Gigantochloa Verticillata*.

Fuente de Variación	Grados de libertad	Suma de Cuadrados	Medias de cuadrados	F calculada	F tabulada
Tratamientos	2	2.42E-03	1.21E-03	6.7441	3.89
Error	12	2.16E-03	1.80E-04		
Total	14	4.58E-03			

Fuente: Datos calculados con Anexo A.3

**Tabla XXVIII. Sumatorias para el análisis estadístico de medias para la penetración de la especie *Gigantochloa Verticillata*.**

	Pn	Pn prom	Pn-Pnprom	(Pn-Pnprom)2	Pni prom	Pni prom-Pnprom	(Pniprom-Pnprom)2
Vara completa	4.50E+01	5.65E+01	-1.15E+01	1.32E+02	5.79E+01	1.41E+00	1.99E+00
	7.08E+01	5.65E+01	1.43E+01	2.05E+02			
Vara perforada lateralmente	8.26E+01	5.65E+01	2.61E+01	6.83E+02	5.50E+01	-1.50E+00	2.26E+00
	2.73E+01	5.65E+01	-2.91E+01	8.49E+02			
Vara cortada longitudinalmente	4.60E+01	5.65E+01	-1.05E+01	1.09E+02	5.66E+01	9.04E-02	8.17E-03
	6.71E+01	5.65E+01	1.06E+01	1.13E+02			
			<b>SST</b>	2.09E+03		<b>Sumatoria</b>	4.26E+00
						<b>SSA</b>	8.52E+00

Fuente: Datos calculados, Anexo A.3.

**Tabla XXIX. Análisis estadístico de medias para la penetración para la especie *Gigantochloa Verticillata*.**

Fuente de Variación	Grados de libertad	Suma de Cuadrados	Medias de cuadrados	F calculada	F tabulada
<b>Tratamientos</b>	2	8.52E+00	4.26E+00	0.0061	199.5
<b>Error</b>	3	2.08E+03	6.95E+02		
<b>Total</b>	5	2.09E+03			

Fuente: Datos calculados, Anexo A.3.

**Tabla XXX. Datos para el análisis estadístico de varianza para la retención de la especie *Gigantochloa Verticillata*.**

	<b>Vara completa</b>	<b>Vara perforada lateralmente</b>	<b>Vara cortada longitudinalmente</b>
	0.1360	0.1590	0.1570
	0.1500	0.1730	0.1540
	0.1320	0.1450	0.1680
	0.1530	0.1720	0.1660
	0.1440	0.1670	0.1390
<b>S</b>	0.0089	0.0116	0.0116
<b>S<sup>2</sup></b>	0.0001	0.0001	0.0001
<b>(s<sup>2</sup>)<sup>4</sup></b>	0.0000	0.0000	0.0000
	<b>sp<sup>2</sup></b>	0.000	
	<b>b</b>	0.973	

Fuente: Datos calculados, Anexo A.3.

**Tabla XXXI. Datos para el análisis estadístico de varianza para la penetración de la especie *Gigantochloa Verticillata*.**

	<b>Vara completa</b>	<b>Vara perforada lateralmente</b>	<b>Vara cortada longitudinalmente</b>
	44.970	82.610	46.020
	70.800	27.330	67.100
<b>S</b>	18.265	39.089	14.906
<b>S<sup>2</sup></b>	333.594	1527.939	222.183
<b>(s<sup>2</sup>)<sup>1</sup></b>	333.594	1527.939	222.183
	<b>sp<sup>2</sup></b>	694.572	
	<b>b</b>	0.697	

Fuente: Datos calculados, Anexo A.3.



### B.3.2 *Gigantochloa Apus*

Tabla XXXII. Sumatorias para el análisis estadístico de medias para la retención de la especie *Gigantochloa Apus*

	Re	Re prom	Re-Reprom	(Re-Reprom)2	Rei prom	Rei prom-Re prom	(Reiprom-Reprom)2
Vara completa	1.99E-01	1.69E-01	2.99E-02	8.95E-04	1.55E-01	-1.34E-02	1.80E-04
	1.74E-01	1.69E-01	5.25E-03	2.76E-05			
	1.36E-01	1.69E-01	-3.26E-02	1.07E-03			
	1.51E-01	1.69E-01	-1.80E-02	3.26E-04			
	1.17E-01	1.69E-01	-5.16E-02	2.66E-03			
Vara perforada lateralmente	1.85E-01	1.69E-01	1.63E-02	2.66E-04	1.78E-01	8.94E-03	7.99E-05
	1.62E-01	1.69E-01	-6.74E-03	4.54E-05			
	1.53E-01	1.69E-01	-1.63E-02	2.66E-04			
	1.69E-01	1.69E-01	4.34E-05	1.88E-09			
	2.20E-01	1.69E-01	5.14E-02	2.64E-03			
Vara cortada longitudinalmente	1.81E-01	1.69E-01	1.24E-02	1.54E-04	1.73E-01	4.48E-03	2.01E-05
	1.96E-01	1.69E-01	2.68E-02	7.20E-04			
	1.67E-01	1.69E-01	-1.73E-03	2.99E-06			
	1.62E-01	1.69E-01	-7.10E-03	5.03E-05			
	1.61E-01	1.69E-01	-7.99E-03	6.38E-05			
SST				9.19E-03			
						Sumatoria	2.80E-04
						SSA	1.40E-03

Fuente: Datos calculados, Anexo A.3.

Tabla XXXIII. Análisis estadístico de medias para la retención para la especie *Gigantochloa Apus*.

Fuente de Variación	Grados de libertad	Suma de Cuadrados	Medias de cuadrados	F calculada	F tabulada
Tratamientos	2	1.40E-03	7.00E-04	1.0794	3.89
Error	12	7.79E-03	6.49E-04		
Total	14	9.19E-03			

Fuente: Datos calculados, Anexo A.3.

**Tabla XXXIV. Sumatorias para el análisis estadístico de medias para la penetración de la especie *Gigantochloa Apus*.**

	Pn	Pn prom	Pn-Pnprom	(Pn-Pnprom) <sup>2</sup>	Pni prom	Pni prom-Pnprom	(Pniprom-Pnprom) <sup>2</sup>
<b>Vara completa</b>	3.83E+01	4.23E+01	-4.04E+00	1.63E+01	4.40E+01	1.70E+00	2.89E+00
	4.98E+01	4.23E+01	7.44E+00	5.54E+01			
<b>Vara perforada lateralmente</b>	2.34E+01	4.23E+01	-1.90E+01	3.60E+02	2.96E+01	-1.28E+01	1.63E+02
	3.58E+01	4.23E+01	-6.57E+00	4.31E+01			
<b>Vara cortada longitudinalmente</b>	6.29E+01	4.23E+01	2.06E+01	4.23E+02	5.34E+01	1.11E+01	1.23E+02
	4.39E+01	4.23E+01	1.59E+00	2.52E+00			
			<b>SST</b>	9.00E+02		<b>Sumatoria</b>	2.89E+02
						<b>SSA</b>	5.77E+02

Fuente: Datos calculados, Anexo A.3.

**Tabla XXXV. Análisis estadístico de medias para la penetración para la especie *Gigantochloa Apus*.**

Fuente de Variación	Grados de libertad	Suma de Cuadrados	Medias de cuadrados	F calculada	F tabulada
<b>Tratamientos</b>	2	5.77E+02	2.89E+02	2.6813	199.5
<b>Error</b>	3	3.23E+02	1.08E+02		
<b>Total</b>	5	9.00E+02			

Fuente: Datos calculados, Anexo A.3.

**Tabla XXXVI. Datos para el análisis estadístico de varianza para la retención de la especie *Gigantochloa Apus*.**

	<b>Vara completa</b>	<b>Vara perforada lateralmente</b>	<b>Vara cortada longitudinalmente</b>
	0.199	0.185	0.148
	0.174	0.162	0.158
	0.136	0.153	0.167
	0.151	0.169	0.162
	0.117	0.220	0.161
<b>S</b>	0.032	0.026	0.007
<b>S<sup>2</sup></b>	0.001	0.001	0.000
<b>(s<sup>2</sup>)<sup>4</sup></b>	0.000	0.000	0.000
	<b>sp<sup>2</sup></b>	0.001	
	<b>B</b>	0.556	

Fuente: Datos calculados, Anexo A.3.

**Tabla XXXVII. Datos para el análisis estadístico de varianza para la penetración de la especie *Gigantochloa Apus*.**

	<b>Vara completa</b>	<b>Vara perforada lateralmente</b>	<b>Vara cortada longitudinalmente</b>
	38.290	23.350	62.880
	49.770	35.760	43.920
<b>S</b>	8.118	8.775	13.407
<b>S<sup>2</sup></b>	65.895	77.004	179.741
<b>(s<sup>2</sup>)<sup>1</sup></b>	65.895	77.004	179.741
	<b>sp<sup>2</sup></b>	107.547	
	<b>b</b>	0.902	

Fuente: Datos calculados, Anexo A.3.

### B.3.3 *Guadua Angustifolia*

Tabla XXXVIII. Sumatorias para el análisis estadístico de medias para la retención de la especie *Guadua Angustifolia*.

	Re	Re prom	Re-Reprom	(Re-Reprom) <sup>2</sup>	Rei prom	Rei prom-Re prom	(Reiprom-Reprom) <sup>2</sup>
Vara completa	1.66E-01	1.96E-01	-2.99E-02	8.95E-04	1.77E-01	-1.94E-02	3.77E-04
	1.86E-01	1.96E-01	-1.02E-02	1.04E-04			
	1.64E-01	1.96E-01	-3.20E-02	1.02E-03			
	2.07E-01	1.96E-01	1.13E-02	1.27E-04			
	1.60E-01	1.96E-01	-3.63E-02	1.32E-03			
Vara perforada lateralmente	1.99E-01	1.96E-01	3.49E-03	1.22E-05	1.89E-01	-6.71E-03	4.50E-05
	1.69E-01	1.96E-01	-2.69E-02	7.26E-04			
	1.98E-01	1.96E-01	2.50E-03	6.23E-06			
	1.78E-01	1.96E-01	-1.75E-02	3.07E-04			
	2.01E-01	1.96E-01	4.92E-03	2.42E-05			
Vara cortada longitudinalmente	1.99E-01	1.96E-01	3.45E-03	1.19E-05	2.22E-01	2.61E-02	6.83E-04
	2.15E-01	1.96E-01	1.90E-02	3.59E-04			
	2.64E-01	1.96E-01	6.84E-02	4.68E-03			
	2.59E-01	1.96E-01	6.33E-02	4.00E-03			
	1.73E-01	1.96E-01	-2.34E-02	5.48E-04			
<b>SST</b>				1.41E-02	<b>Sumatoria</b>		1.11E-03
					<b>SSA</b>		5.53E-03

Fuente: Datos calculados, Anexo A.3.

Tabla IXL. Análisis estadístico de medias para la retención para la especie *Guadua Angustifolia*.

Fuente de Variación	Grados de libertad	Suma de Cuadrados	Medias de cuadrados	F calculada	F tabulada
<b>Tratamientos</b>	2	5.53E-03	2.76E-03	3.8477	3.89
<b>Error</b>	12	8.62E-03	7.18E-04		
<b>Total</b>	14	1.41E-02			

Fuente: Datos calculados, Anexo A.3.

**Tabla XL. Sumatorias para el análisis estadístico de medias para la penetración de la especie *Guadua Angustifolia*.**

	Pn	Pn prom	Pn-Pnprom	(Pn-Pnprom)2	Pni prom	Pni prom-Pnprom	(Pniprom-Pnprom)2
<b>Vara completa</b>	2.34E+01	5.74E+01	-3.39E+01	1.15E+03			
	5.43E+01	5.74E+01	-3.09E+00	9.53E+00	3.89E+01	-1.85E+01	3.42E+02
<b>Vara perforada lateralmente</b>	9.02E+01	5.74E+01	3.28E+01	1.08E+03			
	8.70E+01	5.74E+01	2.96E+01	8.77E+02	8.86E+01	3.12E+01	9.75E+02
<b>Vara cortada longitudinalmente</b>	4.49E+01	5.74E+01	-1.24E+01	1.55E+02			
	4.43E+01	5.74E+01	-1.30E+01	1.70E+02	4.46E+01	-1.27E+01	1.62E+02
			<b>SST</b>	3.44E+03		<b>Sumatoria</b>	1.48E+03
						<b>SSA</b>	2.96E+03

Fuente: Datos calculados, Anexo A.3.

**Tabla XLI. Análisis estadístico de medias para la penetración para la especie *Guadua Angustifolia*.**

Fuente de Variación	Grados de libertad	Suma de Cuadrados	Medias de cuadrados	F calculada	F tabulada
<b>Tratamientos</b>	2	2.96E+03	1.48E+03	9.2395	199.5
<b>Error</b>	3	4.80E+02	1.60E+02		
<b>Total</b>	5	3.44E+03			

Fuente: Datos calculados, Anexo A.3.

**Tabla XLII. Datos para el análisis estadístico de varianza para la retención de la especie *Guadua Angustifolia*.**

	<b>Vara completa</b>	<b>Vara perforada lateralmente</b>	<b>Vara cortada longitudinalmente</b>
	0.166	0.199	0.199
	0.186	0.169	0.181
	0.164	0.198	0.184
	0.207	0.178	0.179
	0.160	0.201	0.173
<b>S</b>	0.020	0.015	0.010
<b>S<sup>2</sup></b>	0.000	0.000	0.000
<b>(s<sup>2</sup>)<sup>4</sup></b>	0.000	0.000	0.000
	<b>sp<sup>2</sup></b>	0.000	
	<b>b</b>	0.854	

Fuente: Datos calculados, Anexo A.3.

**Tabla XLIII. Datos para el análisis estadístico de varianza para la penetración de la especie *Guadua Angustifolia*.**

	<b>Vara completa</b>	<b>Vara perforada lateralmente</b>	<b>Vara cortada longitudinalmente</b>
	23.440	90.200	44.910
	54.270	86.970	44.330
<b>S</b>	21.800	2.284	0.410
<b>S<sup>2</sup></b>	475.244	5.216	0.168
<b>(s<sup>2</sup>)<sup>1</sup></b>	475.244	5.216	0.168
	<b>sp<sup>2</sup></b>	160.210	
	<b>b</b>	0.047	

Fuente: Datos calculados, Anexo A.3.

### B.3.4 *Dendrocalamus Asper*

Tabla XLIV. Sumatorias para el análisis estadístico de medias para la retención de la especie *Dendrocalamus Asper*.

	Re	Re prom	Re- Reprom	(Re- Reprom)2	Rei prom	Rei prom-Re prom	(Reiprom- Reprom)2
Vara completa	2.18E-01	2.40E-01	-2.17E-02	4.73E-04	2.31E-01		
	2.39E-01	2.40E-01	-1.02E-03	1.03E-06			
	2.27E-01	2.40E-01	-1.31E-02	1.72E-04			
	2.44E-01	2.40E-01	4.00E-03	1.60E-05			
	2.28E-01	2.40E-01	-1.18E-02	1.40E-04			
Vara perforada lateralmente	2.37E-01	2.40E-01	-2.98E-03	8.90E-06	2.39E-01		
	2.63E-01	2.40E-01	2.32E-02	5.39E-04			
	2.42E-01	2.40E-01	1.72E-03	2.97E-06			
	2.41E-01	2.40E-01	1.31E-03	1.71E-06			
	2.10E-01	2.40E-01	-3.02E-02	9.13E-04			
Vara cortada longitudinalmente	2.56E-01	2.40E-01	1.56E-02	2.43E-04	2.50E-01		
	2.32E-01	2.40E-01	-8.34E-03	6.96E-05			
	2.84E-01	2.40E-01	4.43E-02	1.96E-03			
	2.59E-01	2.40E-01	1.87E-02	3.48E-04			
	2.21E-01	2.40E-01	-1.96E-02	3.83E-04			
<b>SST</b>			5.27E-03		<b>Sumatoria</b>	1.81E-04	
					<b>SSA</b>	9.04E-04	

Fuente: Datos calculados, Anexo A.3.

Tabla XLV. Análisis estadístico de la retención para la especie *Dendrocalamus Asper*.

Fuente de Variación	Grados de libertad	Suma de Cuadrados	Medias de cuadrados	F calculada	F tabulada
Tratamientos	2	9.04E-04	4.52E-04	1.2412	3.89
Error	12	4.37E-03	3.64E-04		
Total	14	5.27E-03			

Fuente: Datos calculados, Anexo A.3.

**Tabla XLVI. Sumatorias para el análisis estadístico de la penetración de la especie *Dendrocalamus Asper*.**

	Pn	Pn prom	Pn-Pnprom	(Pn-Pnprom) <sup>2</sup>	Pni prom	Pni prom-Pnprom	(Pniprom-Pnprom) <sup>2</sup>
Vara completa	1.29E+01	3.51E+01	-2.22E+01	4.92E+02	3.42E+01	-8.15E-01	6.64E-01
	5.56E+01	3.51E+01	2.06E+01	4.22E+02			
Vara perforada lateralmente	2.49E+01	3.51E+01	-1.02E+01	1.04E+02	2.53E+01	-9.72E+00	9.44E+01
	2.58E+01	3.51E+01	-9.23E+00	8.52E+01			
Vara cortada longitudinalmente	4.57E+01	3.51E+01	1.07E+01	1.14E+02	4.56E+01	1.05E+01	1.11E+02
	4.54E+01	3.51E+01	1.04E+01	1.08E+02			
<b>SST</b>				1.33E+03	<b>Sumatoria</b>		2.06E+02
					<b>SSA</b>		4.12E+02

Fuente: Datos calculados, Anexo A.3.

**Tabla XLVII. Análisis estadístico de medias para la penetración para la especie *Dendrocalamus Asper*.**

Fuente de Variación	Grados de libertad	Suma de Cuadrados	Medias de cuadrados	F calculada	F tabulada
<b>Tratamientos</b>	2	4.12E+02	2.06E+02	0.6761	199.5
<b>Error</b>	3	9.14E+02	3.05E+02		
<b>Total</b>	5	1.33E+03			

Fuente: Datos calculados, Anexo A.3.



**Tabla XLVIII. Datos para el análisis estadístico de varianza para la retención de la especie Dendrocalamus Asper.**

	<b>Vara completa</b>	<b>Vara perforada lateralmente</b>	<b>Vara cortada longitudinalmente</b>
	0.218	0.237	0.232
	0.239	0.263	0.232
	0.227	0.242	0.250
	0.244	0.241	0.210
	0.228	0.210	0.221
<b>S</b>	0.010	0.019	0.015
<b>S<sup>2</sup></b>	0.000	0.000	0.000
<b>(s<sup>2</sup>)<sup>4</sup></b>	0.000	0.000	0.000
	<b>sp<sup>2</sup></b>	0.000	
	<b>B</b>	0.891	

Fuente: Datos calculados, Anexo A.3.

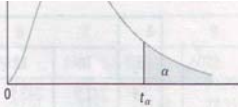
**Tabla IL. Datos para el análisis estadístico de varianza para la penetración de la especie Dendrocalamus Asper.**

	<b>Vara completa</b>	<b>Vara perforada lateralmente</b>	<b>Vara cortada longitudinalmente</b>
	12.870	24.850	45.740
	55.610	25.830	45.430
<b>S</b>	30.222	0.693	0.219
<b>S<sup>2</sup></b>	913.354	0.480	0.048
<b>(s<sup>2</sup>)<sup>1</sup></b>	913.354	0.480	0.048
	<b>sp<sup>2</sup></b>	304.627	
	<b>b</b>	0.009	

Fuente: Datos calculados, Anexo A.3.



### C. Distribución F



**Tabla A.6\* Valores críticos de la distribución F**  
 $f_{0.05}(v_1, v_2)$

$v_2$	$v_1$								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	161.4	199.5	215.7	224.6	230.2	234.0	236.8	238.9	240.5
2	18.51	19.00	19.16	19.25	19.30	19.33	19.35	19.37	19.38
3	10.13	9.55	9.28	9.12	9.01	8.94	8.89	8.85	8.81
4	7.71	6.94	6.59	6.39	6.26	6.16	6.09	6.04	6.00
5	6.61	5.79	5.41	5.19	5.05	4.95	4.88	4.82	4.77
6	5.99	5.14	4.76	4.53	4.39	4.28	4.21	4.15	4.10
7	5.59	4.74	4.35	4.12	3.97	3.87	3.79	3.73	3.68
8	5.32	4.46	4.07	3.84	3.69	3.58	3.50	3.44	3.39
9	5.12	4.26	3.86	3.63	3.48	3.37	3.29	3.23	3.18
10	4.96	4.10	3.71	3.48	3.33	3.22	3.14	3.07	3.02
11	4.84	3.98	3.59	3.36	3.20	3.09	3.01	2.95	2.90
12	4.75	3.89	3.49	3.26	3.11	3.00	2.91	2.85	2.80
13	4.67	3.81	3.41	3.18	3.03	2.92	2.83	2.77	2.71
14	4.60	3.74	3.34	3.11	2.96	2.85	2.76	2.70	2.65
15	4.54	3.68	3.29	3.06	2.90	2.79	2.71	2.64	2.59
16	4.49	3.63	3.24	3.01	2.85	2.74	2.66	2.59	2.54
17	4.45	3.59	3.20	2.96	2.81	2.70	2.61	2.55	2.49
18	4.41	3.55	3.16	2.93	2.77	2.66	2.58	2.51	2.46
19	4.38	3.52	3.13	2.90	2.74	2.63	2.54	2.48	2.42
20	4.35	3.49	3.10	2.87	2.71	2.60	2.51	2.45	2.39
21	4.32	3.47	3.07	2.84	2.68	2.57	2.49	2.42	2.37
22	4.30	3.44	3.05	2.82	2.66	2.55	2.46	2.40	2.34
23	4.28	3.42	3.03	2.80	2.64	2.53	2.44	2.37	2.32
24	4.26	3.40	3.01	2.78	2.62	2.51	2.42	2.36	2.30
25	4.24	3.39	2.99	2.76	2.60	2.49	2.40	2.34	2.28
26	4.23	3.37	2.98	2.74	2.59	2.47	2.39	2.32	2.27
27	4.21	3.35	2.96	2.73	2.57	2.46	2.37	2.31	2.25
28	4.20	3.34	2.95	2.71	2.56	2.45	2.36	2.29	2.24
29	4.18	3.33	2.93	2.70	2.55	2.43	2.35	2.28	2.22
30	4.17	3.32	2.92	2.69	2.53	2.42	2.33	2.27	2.21
40	4.08	3.23	2.84	2.61	2.45	2.34	2.25	2.18	2.12
60	4.00	3.15	2.76	2.53	2.37	2.25	2.17	2.10	2.04
120	3.92	3.07	2.68	2.45	2.29	2.17	2.09	2.02	1.96
$\infty$	3.84	3.00	2.60	2.37	2.21	2.10	2.01	1.94	1.88

Penetración

Retención

\*Reproducida de la tabla 18 de *Biometrika Tables for Statisticians*, vol. I, con permiso de E. S. Pearson y de los administradores de Biometrika.

