

**PARÁMETROS DE DISEÑO DE ELEMENTOS DE GUADUA CULTIVADA
EN EL MUNICIPIO DE ARATOCA, SANTANDER**

**JOSÉ LUIS GABRIELE PRADILLA
HERNÁN DARÍO HERRERA ORTIZ**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA**

2004

**PARÁMETROS DE DISEÑO DE ELEMENTOS DE GUADUA CULTIVADA
EN EL MUNICIPIO DE ARATOCA, SANTANDER**

**JOSÉ LUIS GABRIELE PRADILLA
HERNÁN DARÍO HERRERA ORTIZ**

Trabajo de Grado presentado como requisito para optar el título de
Ingeniero Civil

Director

**RICARDO ALFREDO CRUZ HERNÁNDEZ
Ingeniero Civil, Ph.D**

Codirector

**JANER MAURICIO RODRÍGUEZ RODRÍGUEZ
Arquitecto**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA**

2004

AL DIOS TODOPODEROSO QUE HA PERMITIDO
CUMPLIR UNO DE MIS MAS ANHELADOS SUEÑOS
Y AL RESPALDO INCONDICIONAL DE MI FAMILIA,
QUE SIEMPRE HA CREIDO EN MI,
PERO SOBRETUDO A MI NONITA
YA QUE GRACIAS A SU APOYO ABSOLUTO
HOY PUEDO ESTAR ESCRIBIENDO ESTAS PALABRAS.

HERNAN DARIO HERRERA ORTIZ

AL PADRE CREADOR QUE ME HA PERMITIDO
LOGRAR ESTA META INALCANZABLE PARA MUCHOS.
A MI MADRE QUE HA SIDO EL CIMIENTO PARA
CONSTRUIR ESTE SUEÑO HECHO REALIDAD
Y A MI PADRE QUE DESDE EL CIELO SIEMPRE VELA POR MI

JOSE LUIS GABRIELE PRADILLA

AGRADECIMIENTOS

La lista para los agradecimientos puede convertirse en interminable, ya que muchas personas en forma directa e indirecta aportaron un granito de arena para la consecución de los objetivos en esta investigación. Sin embargo se hace un listado de personas que incidieron con su colaboración en forma desinteresada.

Ing. Ricardo Cruz, director del proyecto.

Arq. Janer Mauricio Rodríguez, Codirector del proyecto.

Sr. Efraín Pedroso (Alcalde del Municipio de Aratoca), promotor de este proyecto, ya que fue la persona que donó el material de estudio sin ningún costo.

Profesor Miguel Agudelo, Director del laboratorio, quien estuvo muy pendiente de las pruebas.

Laboratorista de Hormigón Jairo Hernández, por todo el apoyo brindado.

Laboratorista de Suelos Herman Hernández.

A Raúl Prieto, Jackson Hernández y Antonio Santos, por su gran colaboración para llevar con éxito esta labor.

TABLA DE CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN.....	1
1. CONDICIONES SOCIOECONÓMICAS PARA EL CULTIVO DE LA GUADUA	4
1.1 DETERMINACIÓN DEL ENTORNO A NIVEL NACIONAL	4
1.2 ANTECEDENTES DE LA GUADUA.....	5
1.3 IMPORTANCIA DE LA GUADUA	7
1.3.1 Importancia ambiental	8
1.3.2 Importancia sociocultural.....	9
1.3.3 Importancia económica	10
1.4 JUSTIFICACION DE LA ELECCION DE LA ZONA DE ESTUDIO	10
2. MORFOLOGÍA DE LA GUADUA.....	12
2.1 CLASIFICACION TAXONÓMICA DE LA GUADUA	12
2.2 CLASIFICACIÓN DE LA GUADUA SEGÚN SU RAÍZ	13
2.3 PARTES DE LA GUADUA.....	14
2.4 ANATOMIA DE LA GUADUA	16
2.5 TIEMPOS DE PASO	18
2.6 SILVICULTURA	19
2.6.1 PROPAGACIÓN.....	19
2.6.2 SIEMBRA.....	20
2.6.3 LIMPIEZA.....	20
2.6.4 FERTILIZACIÓN.....	21
2.6.5 APROVECHAMIENTO.....	21
2.7 PROCEDIMIENTO PARA OBTENER GUADUA DE CALIDAD	21
2.8 CONDICIONES ECOLOGICAS PARA EL CULTIVO DE LA GUADUA.....	31
2.8.1 ALTITUD.....	31
2.8.2 TEMPERATURA.....	31
2.8.3 PRECIPITACIÓN.....	32
2.8.4 HUMEDAD RELATIVA.....	32

2.8.5	BRILLO SOLAR.	32
2.8.6	CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL SUELO..	32
2.8.7	CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DEL SUELO..	33
2.9	GEOLOGIA DE LA ZONA EN ESTUDIO.....	34
3.	DESCRIPCION TEÓRICA DE LOS ENSAYOS REALIZADOS	35
3.1	JUSTIFICACION ESTADISTICA	35
3.2	CURVAS CARACTERISTICAS DE OPERACIÓN	36
3.3	PROPIEDADES QUÍMICAS DEL SUELO.....	38
3.3.1	CARACTERISTICAS FISICAS.....	39
3.3.2	CARACTERISTICAS QUIMICAS.....	40
3.4	PROPIEDADES FÍSICAS DEL SUELO.....	41
3.5	PROPIEDADES FISICAS DE LA GUADUA.....	42
3.5.1	ENSAYO DE HUMEDAD.	42
3.5.2	ENSAYO DE DENSIDAD O PESO ESPECÍFICO.....	44
3.6	PROPIEDADES MECANICAS.....	46
3.6.1	ESFUERZOS NORMALES: COMPRESIÓN PARALELA Y TRACCIÓN PARALELA A LA FIBRA.....	48
3.6.2	ENSAYO DE COMPRESION PARALELA.....	53
3.6.3	CÁLCULOS PRELIMINARES PARA EL ENSAYO DE COMPRESIÓN PARALELA A LA FIBRA DE LA GUADUA.....	64
3.6.4	CLASIFICACIÓN DE LAS PROBETAS.	67
3.6.5	MÁQUINAS Y EQUIPOS UTILIZADOS.....	70
3.6.6	DETERMINACIÓN DEL MODELO DE ENSAYO.	71
3.6.7	CÁLCULOS PARA EL ENSAYO DE TRACCIÓN PARALELA A LA FIBRA DE LA GUADUA.....	71
3.6.8	ENSAYO DE CORTANTE.....	72
3.6.9	CLASIFICACIÓN DE LAS PROBETAS.	73
3.6.10	MÁQUINAS Y EQUIPOS UTILIZADOS.....	75
3.6.11	DETERMINACIÓN DEL MODELO DE ENSAYO..	76
3.6.12	CALCULOS PRELIMINARES DEL ENSAYO DE CORTANTE.....	76
3.6.13	ENSAYO DE FLEXION.....	78

3.6.14	CLASIFICACIÓN DE LAS PROBETAS.	79
3.6.15	MÁQUINAS Y EQUIPOS UTILIZADOS.	81
3.6.16	DETERMINACIÓN DEL MODELO DE ENSAYO.	81
3.6.17	CALCULOS PRELIMINARES.	82
4.	PRESENTACION Y ANALISIS DE RESULTADOS.	95
4.1	PROPIEDADES DEL SUELO.	95
4.1.1	PROPIEDADES QUIMICAS DEL SUELO.	95
4.1.2	RESULTADOS:	96
4.1.3	RECOMENDACIONES:	96
4.2	PROPIEDADES FISICAS DEL SUELO.	97
4.2.1	ENSAYO DE GRANULOMETRIA:	97
4.2.2	LIMITE LÍQUIDO (LL):	98
4.2.3	LIMITE PLASTICO (LP):	98
4.2.4	LIMITE DE CONTRACCION (LC):	98
4.2.5	GRAVEDAD ESPECÍFICA:	99
4.2.6	COMPACTACION:	99
4.3	PROPIEDADES FISICAS DE LA GUADUA.	100
4.3.1	HUMEDAD.	100
4.3.2	DENSIDAD.	101
4.4	PROPIEDADES MECANICAS DE LA GUADUA.	102
4.4.1	COMPRESIÓN PARALELA.	102
4.4.2	TRACCIÓN PARALELA.	105
4.4.3	CORTANTE.	108
4.4.4	.FLEXION.	111
4.5	PARAMETROS DE DISEÑO EN ELEMENTOS DE GUADUA.	112
4.5.1	COMPRESION.	114
4.5.2	TRACCION.	115
4.5.3	CORTANTE.	117
4.5.4	FLEXION.	118
4.6	CUADROS COMPARATIVOS DE RESISTENCIAS HALLADAS.	119
4.6.1	CUADROS COMPARATIVOS CON CONCRETO Y ACERO.	119

4.6.2	CUADROS COMPARATIVOS CON MADERAS DE LA REGION.....	122
4.6.3	CUADROS COMPARATIVOS CON ESTUDIOS SIMILARES.	129
4.6.4	RELACIONES ESFUERZOS ULTIMOS VS. CONTENIDO DE HUMEDAD..	134
5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	137
5.1	CONCLUSIONES	137
5.1.1	CONDICIONES AMBIENTALES DE LA ZONA	137
5.1.2	PROPIEDADES DEL SUELO.	137
5.1.3	HUMEDAD..	138
5.1.4	DENSIDAD.....	139
5.1.5	ESTADISTICA.....	139
5.1.6	COMPRESIÓN.....	140
5.1.7	TRACCION.....	142
5.1.8	CORTANTE.....	143
5.1.9	FLEXION.	145
5.1.10	CUADROS COMPARATIVOS.	146
5.2	RECOMENDACIONES.....	147
	BIBLIOGRAFIA.	149
	ANEXOS.....	152

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Rizoma paquimorfo característico de Guadua Angustifolia.	13
Figura 2. Partes de una Guadua.....	16
Figura 3. Probetas utilizadas para la prueba de humedad.	43
Figura 4. Direcciones principales de una madera.	47
Figura 5. Elemento prismático sujeto a cargas de tracción y	48
Figura 6. Diagramas Esfuerzo-Deformación.....	49
Figura 7. Diagrama Esfuerzo-Deformación de una probeta de Guadua sometida a cargas de tracción paralela o compresión paralela.	51
Figura 8. Probeta tipo A para Compresión Paralela.	54
Figura 9. Probeta tipo B para Compresión Paralela.	54
Figura 10. Probeta tipo C para Compresión Paralela.....	55
Figura 11. Marcas sobre una probeta de Guadua.	56
Figura 12. Columna ideal.	59
Figura 13. Columna flexionada.	59
Figura 14. Diagrama de Esfuerzo Normal Crítico (σ_{cr}) v.s. Relación Efectiva de Esbeltez (λ_e).	61
Figura 15. Diagrama de Esfuerzo Admisible (σ_{adm}) v.s. Relación Esbeltez (λ).....	63
Figura 16. Tipo de probetas para el ensayo de Tracción Paralela a la Fibra.	66
Figura 17. Probeta tipo A para Tracción.	68
Figura 18. Probeta tipo B para Tracción.	68
Figura 19. Dimensiones de la probeta usada para el ensayo de Tracción Paralela a la Fibra de la Guadua.	69
Figura 20. Probeta Tipo A.	74
Figura 21. Probeta tipo B.	74
Figura 22. Posición de las platinas de cortante y de la Guadua.....	75
Figura 23. Probeta tipo A para Flexión.	80
Figura 24. Probeta tipo B para Flexión.	80

Figura 25. Montaje de Flexión.	81
Figura 26. Modelo usado para hallar los momentos de diseño en el ensayo de Flexión.....	83
Figura 27. Diagrama de cortante y momento en Flexión.....	84
Figura 28. Sistema utilizado para la carga real.....	88
Figura 29. Sistema utilizado para la carga virtual.....	88
Figura 30. Modelo de aplicación de carga para Compresión Perpendicular.....	93

LISTA DE FOTOGRAFÍAS

	pág.
Fotografía 1. Guadual finca Barinas	11
Fotografía 2. Las diferentes partes de una Guadua utilizadas para la construcción.	15
Fotografía 3. Artesanías construidas en Guadua.	22
Fotografía 4. Color característico de una Guadua joven.	23
Fotografía 5. Buen corte.	25
Fotografía 6. Mal corte.	25
Fotografía 7. Transporte utilizado para mover el material.	26
Fotografía 8. Sitio de almacenamiento en la UIS.	27
Fotografía 9. Proceso de corte.	30
Fotografía 10. Refrentado de probetas para el ensayo de compresión utilizando disco.	30
Fotografía 11. Almacenamiento iniciado el proceso de corte.	31
Fotografía 12. Almacenamiento finalizado el proceso de corte y refrentado.	31
Fotografía 13. Probetas de suelo extraído para efectuar las pruebas físicas.	42
Fotografía 14. Probetas utilizadas en el ensayo de densidad.	45
Fotografía 15. Máquina Universal de Ensayos marca TREBEL.	57
Fotografía 16. Montaje de una probeta tapada antes de ser fallada.	58
Fotografía 17. Máquina INSTRON para ensayos de Tracción.	70
Fotografía 18. Montaje de las probetas de Tracción.	71
Fotografía 19. Posición de las platinas de cortante y de la Guadua.	75
Fotografía 20. Montaje de una probeta de cortante sin nodo intermedio después de ser fallada.	76
Fotografía 21. Montaje realizado en la máquina Universal, probeta de Flexión.	81
Fotografía 22. Probetas de compresión tapadas.	104
Fotografía 23. Probetas de Tracción ya falladas.	106
Fotografía 24. Probetas de cortante con nodo intermedio ya falladas.	109
Fotografía 25. Probetas de Flexión con 3 nodos, ya falladas, en las cuales las cargas fueron aplicadas en los entrenados.	111

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Clasificación taxonómica de la Guadua del municipio de Aratoca.....	12
Tabla 2. Tiempos de paso.....	18
Tabla 3. Resumen de datos de la zona escogida.....	33
Tabla 4. Propiedades químicas del suelo en el cultivo.....	40
Tabla 5. Resultados de análisis químicos del suelo.....	95
Tabla 6. Curva característica en el ensayo de Flexión.....	112
Tabla 7. Resultados de estudios de Compresión de Guadua en Colombia.....	140

LISTA DE GRÁFICAS

	pág.
Gráfica 1. Modulo de elasticidad aparente en Flexión.....	87
Gráfica 2. (1/Ef.) Vs. Parámetro Geométrico.....	91
Gráfica 3. Curva característica de Esfuerzo vs. Deformación en compresión paralela, condición cepa abierta por los dos lados (registros oficiales).....	105
Gráfica 4. Curva característica de Esfuerzo vs. Deformación en Tracción, condición cepa con nodo intermedio (registro oficial).....	107
Gráfica 5. Curva característica de Esfuerzo vs. Deformación en tracción, condición cepa sin nodo intermedio (registro oficial).....	108
Gráfica 6. Curva característica en el ensayo de cortante directo.....	110
Gráfica 7. Tabla y cuadro comparativo entre las diferentes condiciones de compresión. ...	115
Gráfica 8. Tabla y cuadro comparativo entre las diferentes condiciones de tracción.	117
Gráfica 9. Tabla y cuadro comparativo entre las diferentes condiciones de cortante.	118
Gráfica 10 Tabla y cuadro comparativo entre las diferentes condiciones de flexión.	119
Gráfica 11 tabla y diagrama de barras entre la guadua y el concreto - acero entre las diferentes condiciones de compresión.	120
Gráfica 12. Tabla y diagrama de barras entre la Guadua y el Acero-Concreto en las condiciones de Tracción.	121
Gráfica 13. Tabla y diagrama de barras entre la Guadua y el Acero-Concreto en el modulo elástico.....	121
Gráfica 14. Tabla y diagrama de barras entre la Guadua y el Acero-Concreto en el modulo de cortante.....	122
Gráfica 15. Tabla y diagrama de barras entre la Guadua y las maderas de la región en compresión.	124
Gráfica 16. Tabla y diagrama de barras entre la Guadua y las maderas de la región en cortante.....	125
Gráfica 17. Tabla y diagrama de barras entre la Guadua y las maderas de la región en Tracción.....	125

Gráfica 18. Tabla y diagrama de barras entre la Guadua y las maderas de la región Flexión.	126
Gráfica 19. Tabla y diagrama de barras entre la Guadua y las maderas de la región en el modulo elástico.	127
Gráfica 20. Tabla y diagrama de barras entre la Guadua y Guadua de otras regiones de Colombia en Compresión.	129
Gráfica 21. Tabla y diagrama de barras entre la Guadua y Guadua de otras regiones de Colombia en Tracción.	130
Gráfica 22. Tabla y diagrama de barras entre la Guadua y Guadua de otras regiones de Colombia en Cortante.	131
Gráfica 23. Tabla y diagrama de barras entre la Guadua y Guadua de otras regiones de Colombia en Flexión.	132
Gráfica 24. Tabla y diagrama de barras entre la Guadua y Guadua de otras regiones de Colombia en el modulo elástico.	133
Gráfica 25. Tabla y diagrama de barras de comparación entre maderas y estudios de Guadua de Colombia para el modulo de Cortante.	133
Gráfica 26. Tabla y gráfica modelo de la relación Esfuerzo último vs. Humedad en la Guadua.	135

LISTA DE ANEXOS.

ANEXO A. LOGO DEL PROYECTO, NORMA INTERNACIONAL PARA EL ESTUDIO DEL BAMBU (INBAR).

ANEXO B. FOTOGRAFIAS.

ANEXO C. FIGURAS.

ANEXO D. GRAFICAS ESTADISTICAS.

ANEXO E. TEORIA Y TABLAS ESTADISTICA.

ANEXO F. TEORIA Y TABLAS DE SUELOS.

ANEXO G. PROCEDIMIENTO Y TABLA DE RESULTADOS PARA LOS ENSAYOS DE PROPIEDADES FISICAS: DENSIDAD Y HUMEDAD.

ANEXO H. PROCEDIMIENTO Y TABLAS DE RESULTADOS PARA LOS ENSAYOS DE PROPIEDADES MECANICAS (MUESTRA Y PREMUESTRA DE TODAS LAS PRUEBAS).

ANEXO I. RESULTADOS Y COMPARACIONES.

NOMENCLATURA.

A : Área de la sección transversal (Cm²).

SP: ARENOSO MAL GRADADO.

V (condición- cortante) : Carga axial aplicada en el ensayo de cortante (Kgr).

P (condición- ensayo) : Carga axial encada condición y en cada ensayo.

C: Cundinamarca.

C1: Estudio De Cundinamarca, Condición 1.

C2: Estudio De Cundinamarca, Condición 2.

Cc: Coeficiente de Contracción.

CH: Contenido de humedad en porcentaje (%).

CHCN: Contenido de Humedad en Ceba con nodo intermedio

CHBN: Contenido de Humedad en Basa con nodo intermedio.

CHCA: Contenido de Humedad en Ceba Abierta.

CHBA: Contenido de Humedad en Basa Abierta.

CPB2L: Compresión Paralela Basa tapada por los 2 lados.

CPB1L: Compresión Paralela Basa tapada por 1 lado.

CPBA: Compresión Paralela Basa Abierta por los 2 lados.

CPC2L: Compresión Paralela Ceba tapada por los 2 lados.

CPB1L: Compresión Paralela Ceba tapada por 1 lado.

CPBA: Compresión Paralela Ceba Abierta por los 2 lados.

Cu: Coeficiente de Uniformidad.

CV: Coeficiente de variación.

ϕ : Coeficiente de reducción de esfuerzos.

VCSN: Cortante Ceba elaborada sin Nodo Intermedio.

VBSN: Cortante Basa elaborada sin Nodo Intermedio.

VCCN: Cortante Ceba elaborada con Nodo Intermedio.

VBCN: Cortante Basa elaborada con Nodo Intermedio.

D: Deformación unitaria (mm / mm).

ρ : Densidad o masa por unidad de volumen en gramos por centímetro cúbico (Grs / Cm³).

$D_a = P_{sh} / V_{sh}$; se denomina densidad anhidra (Grs / Cm^3).
 $D_b = P_{sh} / (V_v)$; se cataloga densidad básica (Grs / Cm^3).
 $D_{sa} = P_{sa} / V_{sa}$; se denomina densidad seca al aire (Grs / Cm^3).
 Ds: Desviación estándar (σ).
 $D_v = Ph / V_v$, se cataloga densidad Verde (Grs / Cm^3).
 De: Diámetro externo (Cm).
 Di: Diámetro interno (Cm).
 EJE: Eje Cafetero.
 e: Espesor de la pared de una probeta de Guadua (Cm).
 σ_N : Esfuerzo normal máximo de Flexión (Kgr / Cm^2).
 FB3N: Flexión Basa con 3 Nodos Intermedios.
 FB4N: Flexión Basa con 4 Nodos Intermedios.
 FC3N: Flexión Cepa con 3 Nodos Intermedios.
 FC4N: Flexión Cepa con 4 Nodos Intermedios.
 FBCAEN: Flexión Basa cuya carga es aplicada en los Entrenodos (Equivalente a FB3N).
 FCCAEN: Flexión Cepa cuya carga es aplicada en los Entrenodos (Equivalente a FC3N).
 FBCAN: Flexión Basa cuya carga es aplicada en los Nodos (Equivalente a FB4N).
 FCCAN: Flexión Cepa cuya carga es aplicada en los Nodos (Equivalente a FC4N).
 F.C. = Factor de reducción por calidad.
 F.D.C.: Factor de duración de carga.
 F.T.: Factor de reducción por tamaño.
 F.S.: Factor de servicio y seguridad.
 GT: Gravedad Específica del Agua
 IP: Índice Plástico.
 L: Longitud de la probeta (Cm).
 LC: Limite De Contracción.
 LL: Límite Líquido.
 LP: Límite Plástico.
 E: Módulo de elasticidad en kilogramos por centímetro cuadrado (Kgr / Cm^2).
 M: Momento máximo (Kgr - Cm)
 I: Momento de inercia. (Cm^4).

ppm : Partes Por Millón.

m: Peso de la probeta en gramos (Grs).

Ph: Peso de la probeta en estado húmedo o peso verde en gramos (Grs).

Psa: Peso de la probeta en estado seco al aire en gramos (Grs).

Psh: Peso seco al horno (Grs).

σ_p (Ensayo) : Resistencia en el límite proporcional para cada prueba, en kilogramos por centímetro cuadrado (Kgr / Cm²).

$\sigma_{m\acute{a}x}$ (Ensayo): Resistencia máxima de cada ensayo en kilogramos por centímetro cuadrado (Kgr / Cm²).

$\tau_{m\acute{a}x}$: Resistencia máxima al esfuerzo cortante (Kgr / Cm²).

S: Santander.

TBCN: Tracción Basa elaborada con Nudo Intermedio.

TBSN: Tracción Basa elaborada sin Nudo Intermedio (Abierta).

TCCN: Tracción Cepa elaborada con Nudo Intermedio.

TCSN: Tracción Cepa elaborada sin Nudo Intermedio (Abierta).

UCS: Sistema Unificado De Clasificación.

Vsa: Volumen seco al aire (Cm³).

Vsh: Volumen seco al horno (Cm³).

Vv: Volumen en estado húmedo o verde en centímetros cúbicos (Cm³).

Ws: Peso del Suelo.

Wbw: Picnómetro + Agua - Burbujas aire.

Wbws= Picnómetro + Agua - Burbujas aire + suelo.

y: Radio exterior (Cm).

RESUMEN.

TITULO: PARÁMETROS DE DISEÑO DE ELEMENTOS DE GUADUA CULTIVADA EN EL MUNICIPIO DE ARATOCA, SANTANDER.*

AUTORES: GABRIELE PRADILLA Jose Luis HERRERA ORTIZ Hernán Dario **.

PALABRAS CLAVES: Propiedades Físicas, Propiedades Mecánicas, Guadua.

DESCRIPCION :

La Guadua es un material renovable, con características Físicas, Químicas y Mecánicas extraordinarias, la cual por ser un elemento natural extrae sus nutrientes del suelo de cultivo. Siguiendo el orden de ideas anterior, se practicaron una serie de pruebas tanto al suelo como a la planta para determinar ciertos rasgos propios e innatos.

Se realizó un análisis Físico y Químico al componente suelo, para establecer la carencia de nutrientes y sugerir recomendaciones para mejorarlo.

Además se tomó en cuenta los parámetros Ambientales ideales del eje cafetero (región líder en Colombia en este tema) y se compararon con los de la zona de estudio, esto para observar las diferencias entre los dos. Respecto a los ensayos practicados a la Guadua, se mencionan a continuación: Físicos: Humedad y Densidad en secciones Cepa y Basa.

En cuanto a las Mecánicas: Compresión en 3 condiciones de carga. Tracción en latas ahusadas en dos estados de Esfuerzo. Cortante Directo con dos formas diferentes de análisis, Flexión con carga aplicada en los nodos y con fuerza suministrada en los entrenodos.

* Proyecto de grado

** Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Ingeniería Civil. Director: Dr. Ing. Ricardo Alfredo Cruz Hernández (UIS), Codirector: Arq. Janer Mauricio Rodríguez Rodríguez (PARTICULAR).

Al final, se determinaron valores de resistencia para cada situación y se concluyó que la Guadua de Santander necesita aplicar medidas de tratamiento para mejorar las plantaciones actuales y en un futuro generar una industria dedicada a la construcción.

ABSTRACT.

TITLE: PARAMETERS OF DESIGN OF ELEMENTS DE GUADUA CULTIVATED IN THE MUNICIPALITY DE ARATOCA, SANTANDER*.

AUTHORS: GABRIELE PRADILLA Jose Luis HERRERA ORTIZ Hernán Dario **

KEYWORDS: Physical properties, Mechanical Properties, Guadua.

DESCRIPTION:

The Guadua is a material renewable, with Physical, Chemical and Mechanics characteristics, which extract its nutrients of cultivation floor by to be natural element. Following de sequence, they were carried out a series of test as such to the floor as the plant, for determinate certain own and innate features.

Physical, Chemical analysis was taken to the component floor, to establish the lack of nutritious, to suggest recommendations to improve it.

Also took into account to parameters environmental ideals of coffee axes (region leader in Colombia in this topic) and they were compared with the study area, this to observe differences between both. Regarding the rehearsals practiced in the Guadua, the two carried out types are described: Physical: Humidity and Density in sections Stump and Bases.

As for the Mechanics: Compression under 3 load conditions. Traction in cans tapered in two states of Effort. Sharp Direct with two forms different from

* Grade thesis.

** Ability of Physical-mechanical Engineerings. Civil engineering. Director: Dr. Engineer Ricardo Alfredo Cruz Hernández (UIS), Co-director: Arq. Janer Mauricio Rodríguez Rodríguez (MATTER).

analysis, Flexion with load applied in the nodes and with force given in the enter nodes.

At the end, resistance values were determined for each situation and you concluded that the Guadua of Santander needs to apply treatment measures to improve the current plantations and in a future to generate an industry dedicated to the construction.

INTRODUCCIÓN

Colombia es uno de los países en el mundo que fue privilegiado con recursos naturales en abundancia, favoreciendo el desarrollo de sus pueblos a través de la historia. Ríos, mares, lagunas y productos forestales han sufrido el abuso por parte del hombre, e infortunadamente muchos de ellos hoy en día, se encuentran en peligro de extinción. Paradójicamente, son los que más han despertado el interés por parte de las Autoridades Ambientales en su recuperación. Estos entes buscan soluciones alternativas en cada caso: Para el problema de falta de agua, se presenta la perforación de pozos profundos; por ejemplo para la contaminación; tratar las aguas en sitios especiales con técnicas adecuadas.

En cuanto a productos forestales, se esta trabajando con la reforestación de especies entre las que se encuentra la Guadua, ya que sus características de extrema versatilidad y sus ventajas de fácil crecimiento y desarrollo, la catalogan como un material llamado a ocupar un lugar preponderante en el progreso de Colombia.

Ahora bien, en zonas como el eje Cafetero, el Valle del Cauca, Tolima y recientemente Cundinamarca, ya se está cultivando en forma tecnificada, ofreciendo excelentes réditos por unidad de superficie; es más, existen investigaciones de Centros dedicados al estudio de la Bambusa (Guadua) e incluso en Quindío y Risaralda se conoce la existencia de varias obras urbanas edificadas con Guadua (Por ejemplo el Barrio Italia, en Barcelona Quindío) con permiso de las Autoridades locales (Ver Foto No. 1 - Anexo B). También profesionales de renombre internacional como Simón Vélez, y Dicken Márquez, han realizado obras con este magnifico material dentro y fuera de Colombia.

Haciendo referencia a Santander, la falta de apoyo y acompañamiento por parte de las entidades directamente interesadas, aumenta la distancia para llegar hasta ese punto. Lo positivo del asunto, es el auge por recuperar esta cultura, ya que los campesinos saben de sus bondades pero en forma empírica, utilizándola principalmente en artesanías y casetones para la construcción.

Se puede decir entonces que en el Nororiente colombiano, la Guadua viene siendo subutilizada, ya que esta cumple bien con la función de almacén en la construcción de viviendas, pero no se utiliza para esta tarea.

En cuanto a este último aspecto, las Normas Sismorresistentes Colombianas de 1.998 mencionan en su título E, su uso como elemento estructural dentro del sistema de Bahareque encementado; también la Asociación de Ingeniería Sísmica Colombiana (AISC) ha desarrollado ciertos estudios sobre uniones, pero se considera que aún es poca la información al respecto y se debe seguir investigando, sobretodo en cuanto a este tema y al de las hipótesis para modelamientos matemáticos, ya que son aspectos demasiado delicados pero muy poco tratados.

Con gran camino por recorrer, y sabiendo que en esta región no hay estudios con bases científicas de materiales propios, se busca que el presente proyecto sea el primero concerniente a este tema tan interesante, pero además se espera que no sea el único.

Como no se tiene en la región ningún estudio sobre Propiedades de la Guadua endémicas, se vio la necesidad de establecer los primeros resultados al respecto, explicando los procesos para determinar valores de diseño de Ingeniería para un posterior uso en construcción.

Para el desarrollo de la investigación se plantean los siguientes objetivos:

- ✧ Establecer las condiciones ambientales de la zona objeto de estudio y compararlos con los ideales descritos en la bibliografía consultada.
- ✧ Determinar las propiedades Químicas y Físicas del suelo de cultivo en el Guadual de la zona de estudio y compararlo con las apropiadas para el cultivo de la Guadua proponiendo alternativas para su mejoramiento.
- ✧ Determinar las propiedades Físicas y Mecánicas de la Guadua extraída de la zona objeto de estudio.

- ✧ Proponer algunos parámetros de diseño de elementos de Guadua y establecer comparaciones con los de otros materiales de construcción como el Concreto, el Acero y Algunas maderas propias de la Región.

- ✧ Establecer la influencia de las condiciones climáticas y del suelo en dichas propiedades comparando los resultados con estudios realizados en otras zonas del país.

1. CONDICIONES SOCIOECONÓMICAS PARA EL CULTIVO DE LA GUADUA

1.1 DETERMINACIÓN DEL ENTORNO A NIVEL NACIONAL

El presente económico, social y técnico de la nación, exige el mayor aprovechamiento de los recursos propios y una mayor inversión en la investigación de nuevas tecnologías y materiales originales para la construcción, con el objeto de mitigar la falta de vivienda del pueblo colombiano.

En el País, según el informe de "CAMACOL" de Junio del 2.001¹, se concluye que el déficit actual de vivienda es superior a 1'400.000 unidades. El mismo escrito revela que a finales del año 2.000 se estimaban en Colombia 6'180.000 hogares urbanos, y que en promedio en la década del noventa se crearon alrededor de 182.000 nuevos núcleos familiares cada año, de los cuales 128.000 poseían ingresos inferiores a 4 SLMM².

La información anterior no deja de ser una simple estimación, ya que es difícil determinar con exactitud el déficit de vivienda actual debido a las fuertes corrientes migratorias internas y externas. Los desplazamientos forzados, la aguda crisis de seguridad y la falta de oportunidades hacen que aumenten los cordones de miseria alrededor de las ciudades, incrementando el problema habitacional.

Además de esto, Colombia se enfrenta a una fuerte topografía y a unas condiciones Geológicas bastante adversas, obligando a las autoridades a tomar medidas de seguridad altas y a que se trate de utilizar materiales de excelente calidad en los procesos de construcción.

Aún así, el terremoto en Armenia (Quindío – Colombia) en Enero de 1.999 reflejó a la opinión pública la falta de conciencia de constructores y Autoridades, siendo un hecho de suma importancia que las edificaciones tradicionales de la región construidas mediante una

1. Este informe toma como base el censo de 1.993.

2. Tomado de informe en Internet: "PLANTEMOS BAMBÚ-GUADUA PARA COSECHAR CASAS"; Autor ARQ. MARIO ALVAREZ.

tecnología empírica y sencilla denominada “Bahareque de Guadua” (Bambú), mostraron un buen comportamiento.

Sin embargo, algunas de estas construcciones colapsaron o perdieron sus cubiertas a causa de su bajo mantenimiento o debido a que fueron trabajadas con muros de mampostería no reforzada al interior y en sus fachadas. Al fallar dichos elementos por falta de estabilidad, amarre y resistencia se originaron las fisuras en las edificaciones. No obstante, de acuerdo con los datos obtenidos durante la atención de la emergencia, estos inmuebles causaron la menor cantidad de lesionados debido a su bajo peso.

Ahora bien, se calcula que en Colombia quedan en la actualidad unas 50.000 Hectáreas de Guadua aproximadamente, por ello fomentar su cultivo dentro del campesinado es prioridad de las Corporaciones Ambientales. La Guadua es un producto bastante calificado para reemplazar las maderas, debido a sus bajos costos y la rapidez de su crecimiento.

Este proyecto busca resaltar el papel de la Guadua en Santander, mostrando las bondades del material en aspectos relacionados principalmente con la ingeniería en cuanto a lo que se refiere a construcción.

1.2 ANTECEDENTES DE LA GUADUA

La utilización del Bambú en el mundo se ha dado desde tiempos inmemorables, de por si este magnifico elemento de la naturaleza ha estado ligado al desarrollo de la humanidad.

El Arquitecto OSCAR HIDALGO en su obra³, sostiene que la Guadua tuvo su origen en la era del Cretáceo poco antes de la iniciación de la era Terciaria, cuando el hombre apareció. Además cita ciertas relaciones de este elemento en la civilizaciones CHINA e INDIA, y hace referencia a su presencia en América desde los épocas de la colonización Española (Siglo XV y XVI), cuando los conquistadores quedaban asombrados por la belleza de estos elementos ubicados a los costados de las riveras de los ríos, hasta las épocas de la colonización Antioqueña en el viejo Caldas (Siglo XIX), cuando la Guadua se convierte en agente de progreso en una región inhóspita y adversa a las condiciones de vida.

3. HIDALGO, Oscar. Bambú, cultivo y aplicaciones. Banco de la Republica, Federación Colombiana de cafeteros y Colciencias, 1.974; p. 5 ,6 y 7.

Es interesante el hecho de que su estudio en otras áreas del mundo ha sido constante, ya que saben las bondades del material; sin embargo en Colombia sucede lo contrario, se desprecia y se mal utiliza por que se cree que este es sinónimo de pobreza, ya que son los estratos mas bajos quienes la mal utilizan.

Sólo hasta ahora se está reconociendo su importancia al ser considerada como elemento generador de desarrollo en las zonas donde se trabaja. Dentro de ese interés despertado en el país, entidades como LA CORPORACIONES REGIONALES DEL QUINDIO Y DEL VALLE, además del SENA Quindío y personajes de la talla de: ING. JOSEPH FARBIAS, ING. SAMUEL DARÍO CARDONA pero en especial los Arquitectos OSCAR HIDALGO y SIMÓN VELEZ⁴, son los que mas la han resaltado como material de excelentes calidades para la construcción.

Existen además entidades oficiales y privadas en otra zonas del país, que han realizado investigaciones encaminadas a analizar las características propias del material, entre las que se cuentan:

- ❖ UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA: Por intermedio de sus Facultades de Ingeniería Civil, Ingeniería Agrónoma y Arquitectura en sus diferentes sedes (Ver Bibliografía).
- ❖ PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA:
GÓMEZ Carlos y RUBIO Fabio. Esfuerzos de trabajo para elementos estructurales en Guadua (Bambusa Guadua) - Trabajo de grado (Ingeniero Civil); Pontificia Universidad Javeriana; Facultad de Ingeniería; Departamento de Ingeniería Civil; Bogotá, 1.990.
- ❖ CENTRO REGIONAL PARA EL ESTUDIO DEL BAMBÚ; Publicaciones periódicas acerca de tratamientos en los procesos a que se debe someter la Guadua para su buena utilización.

⁴ OSCAR HIDALGO: Arquitecto Colombiano, reconocido en el ámbito mundial por sus investigaciones, actualmente trabaja con la INBAR (International Network of Bamboo And Rattan) para publicar una enciclopedia que recopilará todo su conocimiento e Investigación acerca del bambú.

SIMÓN VÉLEZ: Este Arquitecto Manizalita, presenta una serie de diseños y construcciones espectaculares, utilizando la Guadua esencialmente a esfuerzos de compresión y construyendo estructuras en arco combinadas con voladizos.

- ✧ AIS (ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE INGENIERIA SÍSMICA): Manual de Construcción Sismo Resistente de Viviendas en Bahareque Encementado; 2.001. Publicación con el auspicio de la Fundación Corona.

Otros autores particulares como:

- ✧ ING. XIMENA LONDOÑO: Conocida como “La Doctora Guadua”, es una de las profesionales más expertas en la identificación Taxonómica de Guadua, Presidenta actual de la Sociedad Colombiana de la Bambú.
- ✧ ING. EDGAR GIRALDO Y AURELIANO SABOGAL: Quienes recientemente publicaron su libro: “Una alternativa sostenible: LA GUADUA”, en el cual hacen una buena recopilación de sus trabajos durante largos años dedicados al estudio del Bambú.

En Santander los únicos estudios encontrados por los investigadores son:

- ✧ GUTIERREZ Camilo y VARGAS Laureano. Estudio de Factibilidad Técnica para la Producción y Comercialización de Encurtido de Guadua. Tesis de Grado Universidad Industrial de Santander. Gestión Empresarial. Bucaramanga, 1.996.
- ✧ RODRÍGUEZ Mauricio. Vivienda Ecológica En Guadua y Tapia pisada. Tesis de Grado Facultad de Arquitectura. Universidad Santo Tomás de Aquino. Bucaramanga, 2.001.

Además de una serie de bibliografía encontrada en la CORPORACIÓN AUTÓNOMA PARA LA DEFENSA DE LA MESETA DE BUCARAMANGA.

1.3 IMPORTANCIA DE LA GUADUA

Es relevante destacar el hecho, que se ha evidenciado la presencia de Bambú desde los (39 G - 25') N de la parte oriental de los Estados Unidos, hasta los (45 G -23'-30") S en Chile, e inclusive hasta los 47 G en Argentina⁵.

⁵ HIDALGO, Op. cit., p. 6.

Cabe anotar además que los beneficios de la Guadua se reflejan en diferentes aspectos como usos tenga; a continuación se presenta una lista, que al criterio del grupo investigador son los que más resaltan:

1.3.1 Importancia ambiental

- ✧ La Guadua es una planta que aporta múltiples beneficios para el medio ambiente y esencialmente para el hombre.
- ✧ Sus elementos cuando son utilizados como componentes integrales para construcción de obras civiles, funcionan como reguladores térmicos y acústicos.
- ✧ La biomasa es la masa total de los seres vivos animales y vegetales que subsisten en equilibrio en una extensión dada de un terreno; ésta característica de la naturaleza es de suma importancia, ya que contribuye a enriquecer la textura y estructura del suelo; es así como el aporte anual de biomasa general de un Guadual en pleno crecimiento y desarrollo oscila entre: 30 y 35 Toneladas / Hectárea / Año⁶ .
- ✧ Los rizomas (Tallos subterráneos de la Guadua) y las hojas que se encuentran en proceso de descomposición conforman en el suelo una especie de capa absorbente, con la cual se evita que el agua fluya de manera rápida y continua, logrando una regulación de la misma.
- ✧ El agua proveniente de la lluvia que cae sobre el Guadual, permanece mucho tiempo sobre él, demorándose más tiempo en caer al suelo, y generando un control hídrico.
- ✧ Es una especie vegetal que cumple una función protectora en suelos de ladera de cuencas hidrográficas, ya que forma un sistema similar a una malla con sus tejidos y raíces.
- ✧ Las reservas o bóvedas de agua, que se conforman en el suelo gracias al follaje (Biomasa) proporcionado por las Guaduas en las riveras de ríos, quebradas, lagos, entre otras, disminuye las pérdidas por las altas y rápidas tasas de evaporación contribuyendo así, a la denominada regulación del precioso líquido.
- ✧ Se comporta como una “Bomba de Almacenamiento de Agua”, ya que en épocas de invierno absorbe considerables volúmenes del precioso líquido, los cuales, son almacenados en todo su sistema.

⁶ GIRALDO, Edgar y SABOGAL, Aureliano; Una alternativa sostenible: LA GUADUA; Corporación Autónoma Regional del Quindío, 1.999; Capítulo 1.

- ✧ Como consecuencia del proceso anterior, en las temporadas de sequía las cantidades que se conservaron en su interior, se utilizan de tal modo que se suministra la reserva esencial para el normal crecimiento y desarrollo de la planta.
- ✧ De acuerdo con una serie de análisis y estudios realizados en el Centro Nacional para el Estudio del Bambú - Guadua (Año de 1.996), una hectárea de Guadua logra almacenar hasta 30.375 litros de agua, es decir, el suministro para 150 personas por día. (Si se asume un consumo promedio de 200 Litros / Día / Persona).
- ✧ Las plantaciones de Guadua desempeñan un papel importante en la existencia y sostenibilidad de la flora, microflora, entomofauna (Insectos), mamíferos, aves, reptiles y anfibios conformando una estructura vertical triestratofítica, la cual, es una de las características de las sociedades del Reino Vegetal altamente desarrolladas y evolucionadas.

1.3.2 Importancia sociocultural

- ✧ Desde épocas remotas, la Guadua se ha utilizado como recurso de soporte, es así, como las primeras viviendas construidas por las culturas indígenas en la época prehispánica, la tenían como elemento estructural indispensable.
- ✧ Con el transcurrir de los años, el uso de este material se ha encaminado de manera favorable, esta condición se refleja en la construcción de viviendas, puentes, cubiertas, canaletas, pabellones, acueductos, artesanías y demás obras civiles. Por eso es necesario, planificar y programar todo un conjunto de labores por medio de las cuales se garantice su existencia.
- ✧ El auge y el desarrollo en el ámbito constructivo, se deben a que la Guadua es una planta perenne y además alcanza su madurez en un tiempo relativamente corto. Su trabajabilidad, durabilidad y longitud son características esenciales para tal fin.
- ✧ Con base en estas consideraciones, se puede llegar a pensar que con una labor tecnificada, se puede producir Guadua de excelente calidad.
- ✧ La Guadua es uno de los nuevos materiales utilizados para el área de la construcción, proyectándose como una fuente de empleo efectiva desde el campo (Cultivo, mantenimiento, corte, secado, inmunización y transporte) hasta la obra (Elaboración de vigas, columnas, uniones y juntas estructurales las cuales conformen el esqueleto de una edificación: Ver Foto No. 1 - Anexo B).

1.3.3 Importancia económica

- ✧ En Colombia, la Guadua es la especie forestal nativa con mayores posibilidades económicas, ya que su manejo en la industria y en la construcción disminuye costos en el instante en el cual es empleada como materia prima.
- ✧ La versatilidad en sus aplicaciones, se debe a sus excelentes propiedades Físicas y Mecánicas, las cuales no sólo superan a las características y atributos estructurales de la mayoría de las maderas, sino que además, pueden ser comparadas con las del Acero y algunas fibras de alta tecnología.
- ✧ La Guadua es ideal para levantar construcciones sismo resistentes, seguras y a costos muy bajos.
- ✧ Además, su resistencia al ataque de insectos es alta, su presencia visual y la diversidad de aplicaciones en las que se puede utilizar, son otros factores que influyen en su uso.
- ✧ Según análisis realizados por la Corporación Regional del Quindío, aproximadamente 100.000 personas en Colombia, obtienen su sustento del aprovechamiento, manipulación y comercialización de la Guadua.

1.4 JUSTIFICACION DE LA ELECCION DE LA ZONA DE ESTUDIO

Es muy bueno saber, que existen en diferentes municipios de Santander cultivos de Guadua, pero con la desdicha de que no han recibido el cuidado necesario y adecuado; inclusive en muchos casos, sus estados son deplorables.

El intentar analizar Guaduales en todo el Departamento, es una tarea que demanda recursos y personal a disposición, además ese no era el objetivo de este proyecto.

Aratocha, ha mostrado gran interés en el desarrollo de la siembra de Guadua, se han realizado una serie de actividades con el fin de impulsar su propagación y cuenta con una gama de Guaduales dispersos en toda su área, ya que la zona cumple con algunas de las condiciones ideales descritas en la Bibliografía consultada.

La finca **BARINAS**, propiedad del Sr. **EFRAÍN PEDROSO**, posee un número significativo de plantas, por lo que el extraer 35 Guaduas, no altera ni pone en peligro la existencia del

Guadual, como si ocurre con otros cultivos de la región (Ver Foto No. 2). Sin embargo no fue fácil encontrar esa cantidad, ya que NO todos los tallos se encontraban listos para el corte. Además el material fue donado sin ningún costo por el propietario, haciendo que se disminuyeran los gastos.

La finca se encuentra dentro de la Provincia de Guanentá, en el Municipio de **ARATOCA**, específicamente a unos 5 Kilómetros de la cabecera municipal, sobre una ramada de la Carretera principal que comunica a Bucaramanga con San Gil. Posee un Área de aproximadamente 7 hectáreas, en las cuales se mezcla el cultivo del café con un hermoso Guadual.

En la parte baja de este (El Guadual) se encuentra un nacimiento de agua (Ver Foto No. 3 - Anexo B). Al sembradío le hace falta tratamiento, lo que lleva a que existan muchas plantas curvas y sin lugar suficiente para un desarrollo apropiado (Ver Foto No. 4 - Anexo B); tiene aproximadamente unos 20 años, pero NO se lleva un registro de las Guadua que allí existen.

El Municipio de Aratoca se encuentra al sur de Bucaramanga, a unos 60 Km, sobre la carretera de primer orden que comunica a la capital del Departamento con la capital de la República y cuenta con aproximadamente 171 Km² de superficie.

El Departamento de Santander está ubicado en el Nororiente de Colombia y cuenta con 30.582 Km², ocupando la sexta posición en área dentro del País.

Fotografía 1. Guadual finca Barinas



2. MORFOLOGÍA DE LA GUADUA

2.1 CLASIFICACION TAXONÓMICA DE LA GUADUA

En la actualidad, el Código Internacional de Nomenclatura Botánica contempla hasta 21 rangos para ubicar taxonómicamente cualquier planta, éstos son: División, Clase, Subclase, Orden, Suborden, Familia, Subfamilia, Supertribu, Tribu, Subtribu, Género, Subgénero, Sección, Serie, Subserie, Especie, Subespecie, Variedad, Subvariedad, Forma y Subforma; para la Guadua se han definido 14 de estos 21 rangos, los cuales se indican en la Tabla No. 1⁷.

Con base en el esquema anterior, se determina que la Guadua pertenece a la subdivisión Angiosperma o plantas con flores, su familia es la Gramínea, la cual es una de las familias más antiguas e importantes del reino vegetal, muy abundante en especies, se encuentra en todas las latitudes y se considera una familia dominante. Los bambúes leñosos del continente Americano están agrupados en cinco (5) subtribus así: Arthrostyloidinae, Chusqueinae, Neurolepidinae, Arundinariinae, Guaduinae; para el caso de análisis esta última subtribu es la más importante, ya que agrupa cinco (5) géneros exclusivos de América, los cuales son: Criciuma, Eremocaulon, Otatea, Olmecca y Guadua.

Tabla 1. Clasificación taxonómica de la Guadua del municipio de Aratoca

RANGOS GENEALOGICOS PARA LA CLASIFICACION DE LA GUADUA	
RANGO	TAXONOMIA
División	Spermatofita
Subdivisión	Angiosperma
Clase	Lilopsidas / Monocotiledóneas
Subclase	Commelinidae
Orden	Cyperales / Glumiflorales
Familia	Gramineae o Poaceae
Subfamilia	Bambusoidae
Supertribu	Bambusodae
Tribu	Bambuseae
Subtribu	Guaduinae
Género	Guadua
Especie	Angustifolia
Variedad	Bicolor
Forma	Cebolla - Macana - Rayada

⁷ GIRALDO. Op. cit., p. 29.

En el Nuevo Mundo, el género *Guadua* es considerado y clasificado como un bambú leñoso y es el de mayor interés debido a la importancia para el hombre ya que es el género más utilizado por las comunidades, ya sea como elemento constructivo, artesanal o para el desarrollo de la Silvicultura.

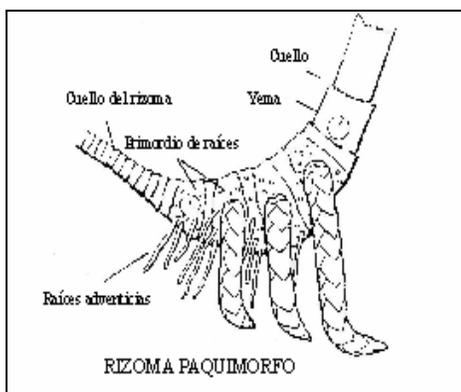
En Colombia dentro del género *Guadua* se han determinado cuatro (4) Especies: *Angustifolia* que se encuentra distribuida en gran parte de la región Central Andina; *Amplexifolia* que se localiza en los Llanos Orientales, parte norte de la Orinoquia y la Costa Atlántica; *Superba* y *Weberbaueri* ubicadas en la Amazonía y en el corredor Chocuanco del Pacífico; una (1) variedad, la cual es nombrada como *Bicolor* y cinco (5) formas o biotipos denominados vulgarmente: *Macana*, *Cebolla*, *Rayada Negra*, *Cotuda* y *Castilla*.

Los biotipos o formas se han diferenciado de acuerdo con las características morfológicas externas, costumbres campesinas, propiedades Físico Mecánicas y condiciones propias del desarrollo de la planta. El género *Guadua* se considera el bambú más grande en cuanto a longitud y diámetro se refiere (Ver fotografía No. 5 Anexo B), este recurso forestal se encuentra ocupando áreas aledañas a ríos, quebradas y en los valles entre montañas conformando extensas plantaciones llamadas Guadales.

2.2 CLASIFICACIÓN DE LA GUADUA SEGÚN SU RAÍZ

Según la Raíz o también llamado Rizoma, la *Guadua* se puede clasificar en 3 grandes grupos:

Figura 1. Rizoma paquimorfo característico de *Guadua Angustifolia*.



- ✧ PAQUIMORFO: Los bambúes de este grupo pertenecen en su mayoría a especies tropicales; sus rizomas son cortos y gruesos, con entrenodos asimétricos, más anchos que largos, sólidos, con raíces en su parte inferior, sus tallos aéreos se desarrollan en el espacio en forma aglutinada o cespitosa formando manchas. En este grupo se encuentra el material analizado en este proyecto de investigación. (La figura fue tomada de la Tesis de grado Comportamiento de la Guadua Angustifolia sometida a Flexión y la información del libro del Arq. OSCAR HIDALGO: Referencia 9).
- ✧ LEPTOMORFO: Los Bambúes de este grupo son resistentes a temperaturas heladas e inviernos extremadamente fríos. Muy pocas especies sobreviven a temperaturas un poco inferiores a 18 Grados Centígrados. Sus rizomas tienen forma cilíndrica y tienen menor dimensión que los de origen. Sus tallos se presentan en forma aislada.
- ✧ ANFIPOIDAL: Es una ramificación combinada de los 2 anteriores.

2.3 PARTES DE LA GUADUA

Comercialmente cada una de las partes de la Guadua tiene una función, destacando que el porcentaje de desperdicio cuando se trabaja en forma controlada, puede aproximarse a cero. Dichas secciones se describen a continuación:

- ✧ EL RIZOMA: Su longitud es de 2 metros. Es empleado en decoración y para la construcción de juegos infantiles. Cabe la aclaración que NO es recomendable extraer los rizomas de los tallos jóvenes o verdes, sólo de aquellos que están enfermos, quebradizos, podridos, demasiados viejos o que hacen imposible el tránsito normal por el Guadua.
- ✧ LA CEPA: Su longitud es de 3 metros aproximadamente. Utilizada para la fabricación de postes de cerca, para apuntalar estructuras en minería y construcción, para emparrados de cultivos y como elemento estructural en una edificación (Columnas). NO es aconsejable que la GUADUA sea empotrada directamente sobre el suelo, ya que los cambios de humedad originan pudrición, debilitando el elemento y obligando al cambio de este por otro de mejores condiciones. Tampoco es adecuado que sea embebido en

concreto, ya que la Guadua por ser un material higroscópico⁸ absorbe agua, haciendo que este pierda sus propiedades y permitiendo que no haya un agarre suficiente entre los dos materiales debilitando aún más la estructura; es por eso que se sugiere anclarla a un dado de concreto lo suficientemente alto para evitar que la lluvia al salpicar en el suelo la afecte y produzca la descomposición del material.

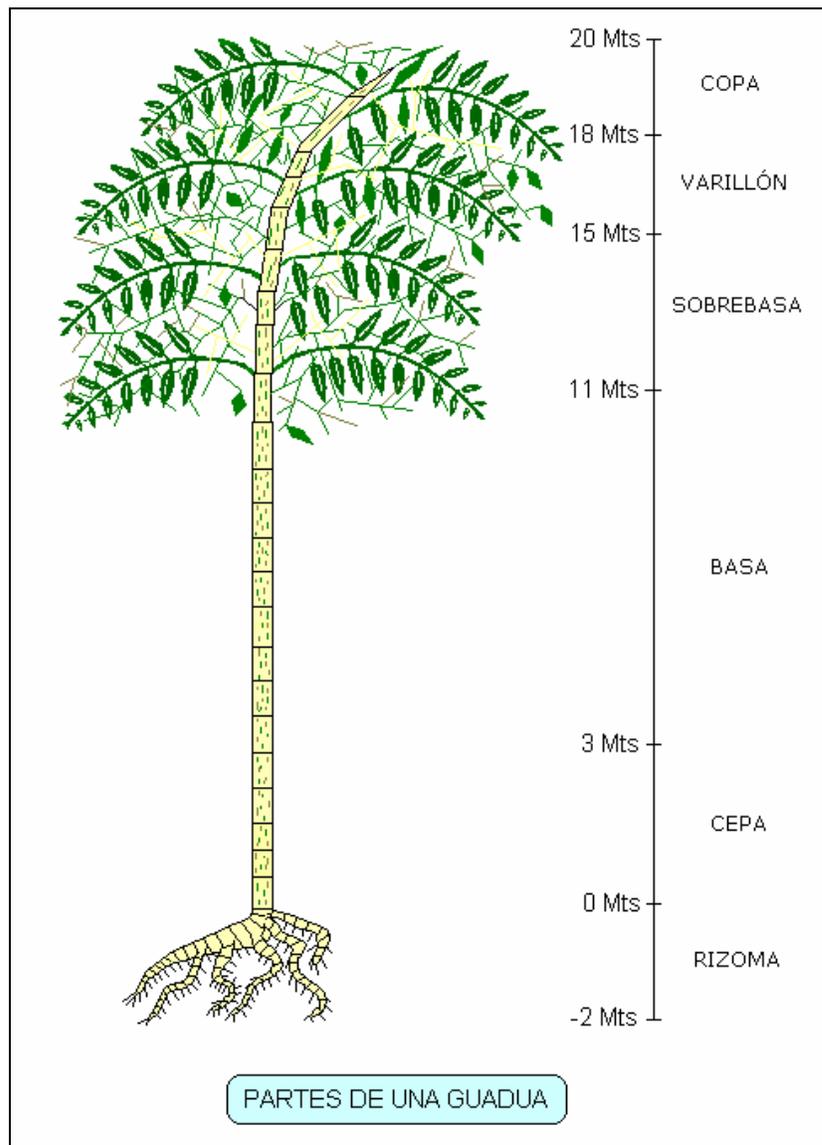
- ✧ LA BASA: Su extensión es de poco más o menos 8 metros. Es transformada en esterilla o láminas hasta de 60 centímetros de ancho, estas piezas son empleadas en la conformación de casetones. Cuando no se pica como esterilla, se ocupa en la construcción de paneles de vivienda; además, se utiliza como elemento estructural en una edificación (Vigas).
- ✧ LA SOBREBASA: Su largo es alrededor de 4 metros. Se aprovecha para la fabricación de esterillas menos ancha, se utiliza como vigueta para formaletear planchas y como elemento de soporte en estructuras de concreto.
- ✧ EL VARILLÓN: Sección de menor diámetro, con longitud de 3 metros aproximadamente. Se trabaja como soporte para los tejados de las viviendas, para apuntalar cultivos de plátano, tomate y otras plantas que requieran de soporte temporal.
- ✧ LA COPA: Parte apical de la Guadua; posee de 1.2 a 2 metros. Se replica en el suelo del Guadual como aporte de materia orgánica.

Fotografía 2. Las diferentes partes de una Guadua utilizadas para la construcción.



⁸ HIGROSCOPIA: Propiedad de algunos materiales de absorber y exhalar la humedad según el medio en que se encuentran. Tomado de la enciclopedia ENCARTA.

Figura 2. Partes de una Guadua.



2.4 ANATOMIA DE LA GUADUA

Este aspecto que tan poco interés despierta entre los Ingenieros es importante que se trate, ya que desde el punto de vista somático, el uso que se le vaya a dar a la Guadua, está orientado por sus características anatómicas.

Por ejemplo, las propiedades Mecánicas del tallo están determinadas por la Gravedad Específica, la cual depende principalmente del contenido y diámetro de las fibras y del espesor de las células de la pared de la fibra (Liese 1.998).

En la industria de pulpa para papel, la longitud de la fibra es importante en la evaluación técnica de materiales leñosos, y el espesor de la pared de la fibra predetermina las características de la pulpa, la permeabilidad y la calidad del papel (Latif & Liese, 2.001).

Como no era parte fundamental de los objetivos del proyecto, no se profundizó al respecto realizando pruebas al material, sin embargo se buscó en la bibliografía y se encontró un estudio realizado por la Doctora Ximena Londoño denominado CARACTERIZACIÓN ANATÓMICA DEL CULMO DE *Guadua Angustifolia* Kunth (Poaceae: Bambusoideae), el cual se expuso en conferencia en el seminario ARQUITECTURA E INGENIERÍA DE LA GUADUA realizado en la ciudad de Bogotá, los días 18 y 19 de Abril de 2.003.

Las conclusiones más importantes se presentan a continuación:

- ✧ La forma, el tamaño y el tipo de haz vascular varían a lo ancho y largo del tallo.
- ✧ Anatómicamente la composición del tejido del culmo es 51% parénquima, 40% fibra y 9% tejido conductivo (Para ese estudio en particular).
- ✧ En la epidermis se observa una gran concentración de células de sílice las cuales contribuyen a la dureza de su madera.
- ✧ Existe una correlación directa entre el número de haces vasculares y el porcentaje de fibra.
- ✧ El porcentaje de fibra es mayor en los haces vasculares de las zonas periferia y transición que de las zonas central e interna.
- ✧ A lo largo del culmo, el porcentaje de fibra es más alto en el segmento apical (56%) que en los segmentos basal (29%) y medio (26%).
- ✧ Existen características anatómicas del tallo propias de cada especie, que pueden utilizarse con éxito para su identificación, adicionales a los ya existentes.
- ✧ En este último punto, es importante resaltar que la diferencia de biotipos se realiza principalmente de manera visual ya que las principales características son:

- ✧ Macana: Diámetros externos de aproximadamente 10 cm y grandes espesores
- ✧ Cebolla: Diámetros externos de 10 cm en forma aproximada, paredes delgadas y elementos demasiado fibrosos.
- ✧ Castilla: Es la que posee mayores Diámetros externos de todos los biotipos.
- ✧ Cotuda: Como su nombre lo indica, posee abultamientos en los nodos, de ahí su nombre.
- ✧ Rayada Negra: Presenta una serie de rayas en todo su tallo que hace diferenciarlas del resto.

2.5 TIEMPOS DE PASO

Se denomina TIEMPO DE PASO, a las diferentes etapas por las que pasa una Guadua desde que nace hasta que muere. Según investigaciones desarrolladas por el Dr. Francisco Castaño Nieto en cultivos del Valle del Cauca (Suroccidente Colombiano), una planta puede subsistir alrededor de 11 años. En el siguiente cuadro se muestran los resultados obtenidos en dicho estudio, expuesto en el Seminario - Taller: Avances e investigación sobre Guadua, realizado en la ciudad de Pereira en el año 2002.

Tabla 2. Tiempos de paso.

ESTADO DE MADUREZ	MESES	AÑOS	ACUMULADO
Renuevo	5.74	0.6	0.6
Juvenil	10.74	0.89	1.49
Maduro	16.92	1.41	2.5
Muy maduro	88.05	7.34	10.24
Seco, seco partido	8.70	0.75	10.97

En el Anexo B se pueden observar los tiempos de paso: En la Fotografía No. 7, una Guadua en estado de Renuevo; en la Fotografía No. 8, se puede diferenciar claramente un Guadua joven de una madura; en la Fotografía No. 9 una Guadua muy madura - seca y en la Fotografía No. 10 una Guadua joven de una muy madura – seca. Fundamentalmente la

diferencia visual es el color y la presencia de hojas en el tallo; en el ítem 3.7 se da una breve descripción de estas características.

2.6 SILVICULTURA

La Silvicultura se refiere a la propagación, la siembra, el cultivo, los cuidados para una buena ejecución en el proceso de corte y manejo del material. Se explica en forma breve cada concepto, concerniente a este tema⁹:

2.6.1 PROPAGACIÓN. Desde hace varios años, el hombre ha venido desarrollando técnicas de cultivo tanto naturales como de laboratorio, con el fin de propagar el cultivo de Guadua. Varios métodos se describen a continuación:

- ✧ Por Semilla. La posibilidad de propagar bambúes por semilla no es un método práctico, debido a los largos ciclos de germinación de estas y a la dificultad de obtenerlas en algunos de ellos. Los ciclos resultan de 30, 60, 90 y hasta 120 años. Sin embargo en Asia este método ha sido aplicado a algunas especies de bambú con buenos resultados; en América, las semillas de algunas especies como Guadua Angustifolia, presentan porcentajes altos de germinación, 95% – 100%, pero la posibilidad de que esta especie produzca semillas es escasa.

- ✧ Rizomas con segmento de tallo. Es considerado como el mejor método de propagación. En Colombia, este método ha sido implementado por Corporaciones Regionales para las reforestaciones con Guadua Angustifolia, mediante el uso del “chusquín” y se considera el método más ventajoso. El “chusquín” es un brote delgado que sale de una yema superior del rizoma, y se extrae con un segmento de tallo y un trozo de rizoma basal. A diferencia de muchas especies de bambúes asiáticos, un plantón de Guadua Angustifolia se caracteriza por la alta emisión de “Chusquines”.

- ✧ Segmentos de culmo. Es efectivo para propagar bambúes de gran tamaño y de pared gruesa. Experimentos en India, han indicado que el éxito en la germinación ha sido mínimo. Este método no es ventajoso por su costo y por la limitación de usar culmos de un año, los cuales pueden ser usados para otros propósitos.

⁹ HIDALGO, Op. cit., p. 54.

- ✧ Segmentos de riendas o “ganchos”. Este método es recomendado por las Corporaciones Regionales, debido a la fácil obtención del material, ya que utiliza una estructura vegetativa generalmente desaprovechada (Riendas) y además presenta un alto porcentaje de prendimiento.
- ✧ In vitro. De los métodos descritos, es el más recomendable, ya que en este se pueden controlar múltiples variables que en el campo son difíciles, los inconvenientes que posee son: Tener una buena infraestructura para la investigación y dinero.

2.6.2 SIEMBRA. Las condiciones de adaptación del bambú son bastantes buenas. Se sabe que en los Estados Unidos se intentó cultivar en una época Bambusa Guadua (Variedad típica en Colombia), este cultivo se estableció en La Florida, pero debido a las bajas temperaturas, la planta sufrió ruptura de sus tallos en la base y la mayoría murió. Sin embargo existen especies del tipo de raíz Leptomorfa, que soportan temperaturas bajas en buena forma y sin deteriorarse.

Dependiendo del uso del Guadua se establecen las distancias de siembra:

- ✧ PROPÓSITO COMERCIAL. Son recomendadas distancias entre 4 x 4 metros hasta 7 x 7 metros, esto con el fin de lograr una mayor incidencia de los rayos solares sobre el cultivo y distancias de surcos entre 6 y 10 metros.
- ✧ FINES NETAMENTE CONSERVACIONISTAS. Se recomienda sembrar en barreras, con distancias más cortas entre surcos y entre plantas.

2.6.3 LIMPIEZA. Por ser la Guadua una planta de rápido crecimiento, es necesario un control estricto de malezas en sus primeras etapas de vida. Se recomienda que durante los años iniciales de cultivo, se asocie la siembra con productos como soya, maíz u otros, con un doble propósito: Mantenerla libre de maraña y permitir un ingreso extra para el agricultor. Sin embargo debido a su rápido desarrollo, esta asociación no es aconsejable por un tiempo mayor de dos años.

2.6.4 FERTILIZACIÓN. Expertos en la materia han recomendado ciertas dosis de fertilizantes para los cultivos, en esta investigación se aconseja primero realizar un estudio de suelos para posteriormente ser llevado a un conocedor en la materia y que emita su concepto, ya que cada zona del país posee características diferentes.

2.6.5 APROVECHAMIENTO. Este es uno de los ciclos más importantes para el Guadua, ya que si se ejecuta en forma adecuada, los réditos económicos por unidad serán buenos y conllevará a una buena regeneración de la plantación. Para el caso de la Guadua Angustifolia se ha comprobado por medio de estudios que en períodos de 5 a 7 años, la especie desarrolla Guaduas que son catalogadas comerciales. El investigador de la Corporación del Valle del Cauca Francisco Castaño, sugiere en uno de sus estudios¹⁰ una intensidad de entresaca de culmos comerciales hasta del 50% (Maduros, muy maduros y secos), con una periodicidad de 18 a 24 meses para el mismo sitio.

2.7 PROCEDIMIENTO PARA OBTENER GUADUA DE CALIDAD

El proceso de crecimiento del tallo desde su brote, hasta que adquiere la máxima altura es de aproximadamente 80 a 110 días (Difiere en cada especie), alcanzado su plenitud tanto en diámetro como en talla.

Es en este tiempo cuando la Guadua empieza su fase de sazónamiento o madurez. La edad de corte de la planta se vuelve función del uso que se le vaya a dar, por eso es importante llevar un registro del Guadua en cuanto a los tallos que se regeneran, tomando presta nota de la fecha aproximada de su aparición como renuevo “Nacimiento”.

Cuando se va a utilizar como alimento humano, EL COGOLLO DEL BAMBU (Parte del tallo que emerge del suelo) que posee unos 30 centímetros de altura (En la etapa de renuevo), se corta y se le remueve la cubierta, una vez cocido su apariencia es blanca y su sabor parecido al de la nuez. Las especies que se utilizan como alimento humano son: PHYLLOSTACHYS EDULIS, PH. QUILLOI Y PH. MITIS. Se presentan en 4 variedades:

¹⁰. Investigación: Régimen de aprovechamiento de un bosque de Guadua - FRANCISCO CASTAÑO NIETO.

Frescos, secos, encurtido y enlatados. En Japón su explotación es toda una industria produciendo millones de toneladas al año¹¹.

Cuando se quiere utilizar en la industria del papel, el ciclo de corte varía entre 1 y 4 años según la especie. Países como India y Brasil han utilizado el Bambú en su industria de pulpa de papel.

En el uso de las Artesanías, la edad de corte es de aproximadamente 3 años, ya que se requiere que posea resistencia pero que también se deje manejar y trabajar.

Fotografía 3. Artesanías construidas en Guadua.



Fuente: Arq. Janer Mauricio Rodríguez

Cuando se desea utilizarla en construcción, la edad de corte adecuada oscila entre los 3 y los 6 años. Se prefiere esta edad por varias razones:

En tallos menores a 3 años, el contenido de humedad es alto y al pasar al proceso de secado, se produce una contracción que en algunos casos es severa, produciendo rajaduras y deformaciones indeseables que no permitirá emplearla como material de construcción.

De igual forma los tallos jóvenes son más susceptibles al ataque de insectos xilófagos debido a su alto contenido de almidón; si los tallos tienen edad mayor a los cinco años, la resistencia comienza a disminuir lentamente (Como se vio en los tiempos de paso) y los nuevos brotes serán largos pero menores en cantidad.

¹¹ HIDALGO, Op. cit., p. 75.

Es pertinente explicar al lector, que una de las variables que jugó en contra de la investigación fue precisamente el NO SABER CON EXACTITUD LA EDAD DEL MATERIAL cortado, ya que este registro NO lo sabía ni el propio dueño del sembradío; el comentario del Señor Pedroso fue:” El Guadual posee 20 años de existencia Aproximadamente”.

Aún así, se siguió adelante con la investigación, y para el corte se utilizaron los siguientes parámetros encontrados en la Bibliografía consultada:

- ❖ POSICION DE LA PLANTA EN EL GUADUAL. Los Bambúes cuyo rizoma es Paquimorfo tienden a desarrollarse hacia la periferia de la mata, por lo cual los tallos que se encuentran en la parte central son de mayor edad.
- ❖ CONTENIDO DE HUMEDAD. Los Bambúes que se encuentran en estado juvenil, poseen mayor contenido de humedad que los que se encuentran en un estado maduro. La humedad es casi constante en Guaduas jóvenes mientras en las maduras decrece con la altura.
- ❖ DUREZA EXTERNA: En los bambúes jóvenes la superficie externa es blanda y en los bambúes maduros es dura.
- ❖ PRESENCIA DE HONGOS EN LA PLANTA. Es normal encontrar hongos de color blanco en Guaduas maduras, cosa que no sucede con Guaduas jóvenes. En las Fotografías No. 4 y 8 del Anexo B se observa la presencia de hongos en el material.
- ❖ PRESENCIA DE BRACTEAS Y PELUSILLA. Brácteas son las hojas de tipo triangular que recubre la Guadua en estado renuevo y juvenil (Ver Fotografía No. 10 - Anexo B); cuando la Guadua es madura ya no hay presencia de estas hojas, igual sucede con la pelusilla, que es común verla en fases iniciales de crecimiento de la planta.
- ❖ COLOR: En las jóvenes el color es fuerte y en las maduras es claro.

Fotografía 4. Color característico de una Guadua joven.



Para ese estudio de siguieron básicamente estos 6 criterios de selección¹², y se consultó con el codirector del proyecto el Arq. Janer Rodríguez quien aprobó los parámetros escogidos; adicional a lo anterior, se siguieron una serie de recomendaciones con el fin de efectuar un buen corte:

- ✧ CORTE EN LA EPOCA DE CUARTO MENGUANTE. Se debe cortar en época de Cuarto Menguante 2 ó 3 días después de la luna nueva entre las 11 p.m. y las 5 a.m., previa marcación de las Guaduas seleccionadas con cintas (Aerosol o algún elemento llamativo). Se hace esta recomendación de corte con el objeto de disminuir el ataque de insectos, ya que en esta época es cuando la planta posee menos cantidad de carbohidratos totales, los cuales son el alimento de los insectos Xilófagos¹³ según fuente consultada¹⁴. Para este proyecto el corte se efectuó entre el 28 y 29 de diciembre de 2.002.

- HERRAMIENTAS DE CORTE EN LA MATA. Se recomienda cortarla con machete o motosierra para evitar lastimar las fibras de la Guadua, se debe tratar al máximo NO emplear hachas para esta labor, ya que esto puede producir rajaduras.

- ✧ ALTURA DE CORTE EN LA MATA. Se recomienda cortar los tallos a una altura de 15 a 30 centímetros del nivel del suelo, en la zona inmediatamente encima de un nudo, de tal forma que el agua no se deposite sobre este y produzca la pudrición. (Estas fotografías fueron tomadas del texto: Una alternativa sostenible: LA GUADUA, de los autores Sabogal y Giraldo).

¹² Tomadas de los libros: HIDALGO, OSCAR; " Bambú, Cultivo y Aplicaciones". Banco de la Republica, Federación Colombiana de Cafeteros y Colciencias, 1.974; páginas 32 y 33.

¹³ Xilófago: Se dice de los insectos que roen la madera. Diccionario de consulta ENCARTA.

¹⁴ MORALES PINZON, Tito; Proyecto de Investigación: Ensayo preliminar de contenido de azúcar en la Guadua; Universidad Tecnológica de Pereira, 2.002.

Fotografía 5. Buen corte.



Fotografía 6. Mal corte.



Inmediatamente después de que los tallos de Bambú se cortan de la mata, deben someterse a un tratamiento de curado con el fin de hacerlos menos propensos al ataque de insectos como el *Dinoderus Minutus* “Escarabajo de Bambú”, que es atraído por los almidones o glucosas que contiene la savia del Bambú.

Para eso existen varios métodos, los cuales se describen a continuación¹⁵:

- ❖ **CURADO EN LA MATA.** Consiste en instalar los tallos una vez cortados, recostados lo más verticalmente posible contra los no cortados, sin remover ni las ramas ni las hojas, aislándolos del suelo, colocándolos sobre piedras o soportes. En esta posición deben permanecer de 4 a 6 semanas. Este sistema es el más recomendado pues se conserva su color natural, no se rajan y no son atacados por los hongos. Para el presente caso la duración de esta etapa fue de 60 días aproximadamente, entre el 29 de Diciembre de 2.002 y el 28 de Febrero de 2.003.

El proceso anterior se hace con el objeto que la savia o alimento de la planta escurra y se evite el ataque de hongos e insectos, ES EL MAS RECOMENDADO. Ver Figura No. 3 - Anexo C.

¹⁵ La información de secado, transporte, limpieza y curado fue suministrada por el Arquitecto JANER RODRIGUEZ, Codirector de esta investigación.

- ✧ CURADO POR INMERSIÓN. Consiste en sumergir los tallos en agua por un tiempo no menor de 4 semanas, ya sea en un tanque o en un río. Posteriormente se sacan y se dejan secar por algún tiempo. Este método a pesar de ser muy utilizado es poco efectivo ya que como resultado los tallos se vuelven más livianos y quebradizos. Ver Figura No. 4 - Anexo C.

- ✧ CURADO CON CALOR. Este sistema consiste en colocar el tallo después de cortado sobre fuego abierto rotándolo sin quemarlo.

Es un proceso efectivo, pero de mucho cuidado con la distribución del calor, ya que se pueden producir esfuerzos diferenciales del interior al exterior lo cual causa agrietamientos y fisuras en el tallo. NO ES RECOMENDABLE. Ver Figura No. 5 - Anexo C.

- ✧ TRANSPORTE. Después del curado en la mata, se debe tener mucho cuidado para transportar la Guadua al sitio de inmersión o de inmunización, evitando los impactos y procurando no dejarla caer bruscamente al suelo para no producir daños como rajaduras, huecos o deformaciones. Este acarreo se puede realizar a lomo de mula o a hombro. Ver Fotografía No. 15 - Anexo B.

Para el presente estudio, el material apenas cumplió la etapa de curado en mata fue transportado a las instalaciones de la Universidad Industrial de Santander el día 28 de Febrero de 2.003, como se muestra en la foto:

Fotografía 7. Transporte utilizado para mover el material.



- ✧ SECADO. Los tallos vivos del Bambú como los árboles, contienen una cantidad considerada de humedad, la que se conoce comúnmente con el nombre de “SAVIA”. Ella es la conductora de los alimentos de la planta, obtenidos del suelo por medio de los rizomas y es indispensable en la etapa de crecimiento y en la vida del Bambú.

Como lo ideal es que el tallo en el momento de su uso en Construcción, posea una humedad menor del 30%, se hace necesario realizar una etapa de secado. Esta fase se debe a las siguientes razones:

El Bambú se contrae con la pérdida de humedad y se dilata cuando ésta aumenta. Se recomienda que los Bambúes que se han de tratar con preservativos, estén secos.

Existen en la actualidad varios métodos que se utilizan, de los cuales se describen a continuación los más usados:

- ✧ SECADO NATURAL. Los tallos se apilan horizontal o verticalmente, bajo cubiertos, protegidos del sol y la lluvia, a fin de alcanzar la humedad requerida. La duración de este proceso es de unas 3 a 4 semanas aproximadamente. Este fue el utilizado en la investigación, se hizo bajo techo, como se muestra:

Fotografía 8. Sitio de almacenamiento en la UIS.



- ✧ SECADO ARTIFICIAL. El secado artificial de los tallos puede hacerse en estufas o cámaras cerradas, similares a las que se utilizan para madera aserrada o también a fuego abierto. Ver Fotografía No. 18 - Anexo B.

- ✧ LIMPIEZA. Antes de la inmunización con preservantes (Cuando se realiza), es muy conveniente limpiar con viruta y cepillo o lavar con agua las Guaduas, para quitarles el polvo, el barro o la suciedad en general. Ver Fotografía No. 19 - Anexo B.

Después de esta etapa, se realiza un segundo proceso de preservación (Inmunización). En la actualidad existen diversas maneras para realizarlo; previo a este paso, se debe perforar la Guadua, para ello existen dos maneras de hacerlo:

Se perfora la Guadua con una varilla de $\frac{1}{2}$ " de diámetro, con la cual, se atraviesan todos los nudos para que pueda penetrar en toda su longitud la solución inmunizante. De acuerdo a lo que se observó en esta investigación, se recomienda este sistema, ya que la Resistencia no se ve afectada como si sucede con el segundo método. Los inconvenientes, son: Conseguir brocas o varillas largas y que la Guadua debe estar lo mas recta posible para que al penetrarla no se afecte la estructura interna del culmo. Ver figura No. 6 - Anexo C. Se pueden realizar los huecos con una broca de $\frac{1}{4}$ " de diámetro en los canutos, en forma de zig-zag. Este método es el más usado por la facilidad de trabajo y por que en caso de tener que inyectar mortero, se hace por medio de estos orificios; sin embargo el realizar perforaciones hace que se presenten potenciales líneas de falla. Ver fotografía No. 20 - Anexo B.

Posterior a los procesos explicados, se inmuniza con el fin de protegerla contra el ataque de insectos, hongos y la acción del agua. Estos procesos consisten en la aplicación apropiada de diversas sustancias químicas o preservativas. A continuación se explicaran los más utilizados en el comercio:

- ✧ MÉTODO DE BOUCHERIE (SENCILLO). Ubicando el tallo en posición vertical, se llena el entrenudo superior con inmunizante, a lo cual el efecto de gravedad ayuda haciendo que la sustancia baje a lo largo de las paredes, desplazando la savia y ocupando su lugar. Su desventaja es el tiempo, ya que demora varios días dependiendo de la longitud del tallo.

- ✧ MÉTODO DE BOUCHERIE MODIFICADO (POR PRESIÓN). Se diferencia del sencillo, porque el tanque trabaja a presión. Este método es mucho mas rápido (Se requiere solo de pocas horas) y efectivo, pues hay una mayor penetración y absorción del preservativo; además se pueden tratar varias guaduas al tiempo. Ver Fotografía No. 21 - Anexo B.
- ✧ INYECCION DE CANUTOS. Consiste en hacer perforaciones a la Guadua con broca en zig zag, para luego aplicarle con jeringa el inmunizante elaborado previamente. Ver Figura No. 7 - Anexo C.
- ✧ POR INMERSIÓN. Una vez realizada la mezcla del preservante con una buena dilución, se procede a la inmersión de las Guaduas en los tanques por un lapso menor de 12 horas, posteriormente se deja en escurrimiento de 1 a 2 horas. Ver Fotografía No. 22 - Anexo B.
- ✧ APLICACIÓN EXTERNA. No es aconsejable el uso externo de preservativos y productos químicos sobre la superficie del tallo dentro del proceso de inmunización, ya que no existe una adecuada penetración hacia el interior del mismo.
- ✧ CUIDADOS POSTERIORES A LA INMUNIZACION. Realizado el proceso es necesario tener ciertos cuidados adicionales como:
- ✧ SECADO. Cuando se retiran las Guaduas de la solución inmunizante, deben permanecer verticalmente para que escurran bien. Se dejan secar al sol, hasta que tomen un color adecuado. Ver fotografía No. 23 - Anexo B.
- ✧ CONSERVACION. Para una buena conservación y preservación de las Guaduas, se limpian muy bien con viruta y se les aplica cualquier sustancia química que cumpla con este proceso, pero teniendo cuidado de no afectar el material debido a la composición de del líquido.

Una vez secas y aplicadas sobre ellas el líquido de conservación, las Guaduas deben almacenarse, bien organizadas, en un sitio adecuado para esta tarea. En esta investigación,

la Guadua no se inmunizó, ya que si se hubiera hecho, los porcentajes de aditamentos incluidos en la solución de preservante entrarían a formar parte directa como una variable más en el análisis de las Resistencias halladas.

Después de almacenar el material, se procedió a la etapa de corte de las probetas, para lo cual se alquiló una colilladora, las muestras fueron cortadas

Fotografía 9. Proceso de corte.



Según especificaciones que se muestran en los ítem desarrollados en el capítulo 4 y en los Anexos G y H. (Ver Fotografía No. 25 - Anexo B).

Inmediatamente cortadas las probetas, se pasó a la etapa de refrentado en las instalaciones del Taller de maderas, este proceso se aplicó a aquellas que se utilizarían en los ensayos de Cortante y Compresión. Ver Fotografía No. 28 y Fotografía No. 29 - Anexo B.

Fotografía 10. Refrentado de probetas para el ensayo de compresión utilizando disco.



Fotografía 11. Almacenamiento iniciado el proceso de corte.



Fotografía 12. Almacenamiento finalizado el proceso de corte y refrentado.



2.8 CONDICIONES ECOLOGICAS PARA EL CULTIVO DE LA GUADUA

Las condiciones necesarias de clima y suelo para cultivar Guadua son¹⁶:

2.8.1 ALTITUD. En Colombia la Guadua se desarrolla entre los 0 y 2.000 metros de altura sobre el nivel del mar; el crecimiento favorable de la planta se logra entre los 900 y 1.600 m.s.n.m. La altura de la zona de donde se extrajo el material es de aproximadamente 1740 m.s.n.m.

2.8.2 TEMPERATURA. Es uno de los factores limitantes en la distribución de esta especie. El rango óptimo oscila entre los 20°C y los 26°C; cuando la Guadua se cultiva en lugares

¹⁶ GIRALDO, Op. cit., p. 65.

donde las características de temperatura se alejan del intervalo específico, los diámetros y las dimensiones generales de los tallos resultan menores, perjudicando claramente el crecimiento y desarrollo vegetativo de la planta. Se encontró que en Santander existe una correlación lineal entre la altura y la Temperatura ambiente dada por la siguiente ecuación¹⁷:

$$TC = 29.174 - (5.87 \cdot 10^{-3}) \cdot H. \text{ Con } r^2 = 0.94568$$

Donde H es la altura sobre el nivel del mar. Para una altura de 1740 msnm

Para Aratoca: TC = 18.96 Aproximadamente 19 Grados Centígrados.

2.8.3 PRECIPITACIÓN. Esta especie vegetal crece deficientemente en áreas donde la precipitación es inferior a 1.000 mm anuales. Los mejores Guadales se generan en regiones donde el rango de pluviosidad se ubica entre los 1.800 mm y los 2.500 mm anuales. Para la zona en estudio se encontraron valores entre 1000 y 1200 mm año.

2.8.4 HUMEDAD RELATIVA. La humedad óptima para el crecimiento de la Guadua está comprendida entre el 75% y el 85%. Según la Bibliografía consultada, la zona de estudio posee Humedad Relativa entre 60 y 70%.

2.8.5 BRILLO SOLAR. La luminosidad necesaria debe estar comprendida entre 1.800 y 2.000 horas/luz/año, aproximadamente de 5 a 6 horas/luz/día. Los valores encontrados son de 1800 a 200 horas/luz/año, (Ideales según la bibliografía).

2.8.6 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL SUELO. Los suelos que más favorecen el desarrollo de la Guadua son los arenos limosos, francos, franco arenosos, franco limosos. Los perfiles de suelo ideales son los que presentan texturas gruesas y medias. Suelos pesados o arcillosos NO son buenos para el crecimiento de la planta. Suelos ricos en materia orgánica, con buen drenaje, húmedos pero no inundables, son los ideales.

¹⁷ Toda la información referente al Departamento de Santander y al Municipio de Aratoca fue consultada en: Atlas Ambiental del Municipio de Santander. Consejo Regional del Centro del Oriente CORPES y Gobernación de Santander, 1.991.

2.8.7 CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DEL SUELO. El pH (El potencial de Hidrógeno) adecuado para el cultivo de Guadua es de 5.5 a 6.0, es decir suelos moderadamente ácidos. La mayoría de los Guadales (En el eje cafetero) se encuentran en suelos derivados de cenizas volcánicas con un porcentaje bajo de saturación de bases, pobres en Fósforo y medianos en Potasio.

Tabla 3. Resumen de datos de la zona escogida.

FACTOR	IDEALES	ZONA ESCOGIDA
CLIMA		
TEMPERATURA (°C)	20 – 26	19
ALTITUD (msnm)	GENERAL : 0 -2000 IDEAL :900 -1600	1740
PRECIPITACION (mm)	MINIMO>1000 IDEAL 1800-2500	1000-1200
HUMEDAD RELATIVA (%)	75 – 85	60-70
BRILLO SOLAR (Horas/ luz / año)	1800 - 2000	1800-2000

Las características del suelo se describirán con más detalle en el numeral 4.2 y 4.3, Propiedades Químicas y Físicas realizados al suelo de la finca.

Al comparar las condiciones ambientales del Guadual con las óptimas, el resultado no es el mejor, concluyendo lo siguiente:

De 5 parámetros, solo cumple satisfactoriamente con uno: Brillo Solar; en dos está ligeramente por debajo: Humedad Relativa y Temperatura; en uno se pasa el rango ideal: Altitud y en el último a penas si pasa el valor mínimo recomendado: Precipitación.

Sabiendo que la zona NO cumple con los factores ideales, se trabajó con ella para demostrar que la Guadua posee valores medios de resistencias comparada con otras maderas, estando en condiciones no adecuadas.

Con esto se llega al primer Objetivo del proyecto: Establecer las condiciones ambientales de la zona objeto de estudio y compararlos con los ideales descritos en la bibliografía consultada.

2.9 GEOLOGIA DE LA ZONA EN ESTUDIO.

A pesar de que la Geología para esta investigación no es trascendental, se ha querido hacer mención por ser Santander una zona importante en ese aspecto, ya que el Departamento es atravesado por varias fallas y algunos Municipios son centro de encuentro de dos o más de las susodichas.

Cabe resaltar el hecho de que en Santander se encuentran las rocas más antiguas del país según lo expresa el Geólogo Luis Albino León en su obra MAPA GEOLOGICO DEL DEPARTAMENTO DE SANTANDER¹⁸.

En su obra, este experto menciona que el Departamento posee depósitos del período Precámbrico pertenecientes al Macizo de Santander y relata en forma detallada los cambios y las nuevas formaciones que se dieron lugar en los lapsos de tiempo posteriores que a la postre originaron la Meseta de Bucaramanga y otros sitios importantes en los otros 86 municipios que lo conforman. Para el estudio en cuestión, la zona de interés está ubicada en una formación de la era Cretácea, conformada por rocas sedimentarias de origen Marino, areniscas y calizas con intercalaciones de lutita, correspondiente a las formaciones Tambor, Rosa blanca y Paja (Kl.).

¹⁸ LEON S., Luis. Mapa Geológico del Departamento de Santander. Departamento de Geología, Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga 1.991.

3. DESCRIPCION TEÓRICA DE LOS ENSAYOS REALIZADOS

3.1 JUSTIFICACION ESTADISTICA

En muchos Proyectos relacionados con investigación, una de las grandes incógnitas por resolver, es el número de réplicas que se deben realizar para obtener buenos resultados. En ocasiones, no se tienen valores relacionados con estudios similares anteriores y elaborar un muestreo resulta costoso, lo que conlleva sencillamente a “evadir” una estimación técnica del N y a trabajar con el material disponible.

Es por eso, que el equipo investigativo no quiso dejar pasar por alto un aspecto que a su juicio considera vital en esta clase de trabajos, y se dio a la tarea de obtener una estimación.

Muchas circunstancias jugaron en contra, entre ellas se destacan:

- ✧ La Guadua posee muchas variables innatas que son imposibles de controlar, entre las que se señalan: Diámetros externos e internos, Espesores de pared, Distancia de entrenodos. Estos 4 agentes solos, ya dificultan un análisis estadístico.
- ✧ Existen otras variables que se pueden controlar, como son: altura de probetas (se trató al máximo de cortarlas según norma), errores de lecturas a causa de la fatiga Humana, fatiga de la Máquina. Estos factores son incluidos dentro de la posibilidad de aceptación o grado de incertidumbre.

Definidas las variables que rodearon la investigación, se describen ciertos conceptos relacionados con la materia, en el anexo E, con el fin de que el lector se familiarice con la terminología empleada.

Normalmente en las investigaciones se toman cifras de pruebas similares ya elaboradas. En Colombia, se han desarrollado trabajos semejantes en el eje Cafetero colombiano y en el Departamento de Cundinamarca (Colombia), sin embargo se decidió NO tomar estos datos previos, debido a que no se tiene certeza de la confiabilidad de los mismos, las recomendaciones tomadas y las condiciones con las que se ejecutaron.

Se optó entonces por elaborar un muestreo con el objeto de conocer medias, desviaciones estándar, coeficientes de variación y establecer el número de replicas necesarias con un grado de confiabilidad alto, para determinar las variables objeto de estudio del presente proyecto.

En este caso en particular, el criterio de selección directo en el Guadual fue EL DE CONVENIENCIA (su definición se explica en el anexo E); Ya seleccionadas las Guaduals óptimas del cultivo, estas fueron el nuevo universo; siguiendo con el proceso de selección se utilizó un segundo criterio: el DE MUESTREO ALEATORIO SIMPLE (MAS).

El número escogido para el muestreo por ensayo fue de 5 probetas (no se contaba con suficiente material). Al analizar estadísticamente los resultados, por el concepto seleccionado anteriormente (MAS), se encontró una incongruencia, la cual se fundamenta en el hecho de que el tamaño de muestra para esta clase de pruebas multivariadas, debe ser mínimo de 30 probetas.

Frente a este nuevo inconveniente, se decidió analizar el problema como si fuese un sistema de efectos fijos con una sola variable. Esta solución, se basa en la utilización de las curvas características de operación, esta decisión se tomó con base en una consulta realizada al libro MONTGOMERY, Douglas. Diseño y Análisis de Experimentos. Grupo Editorial Iberoamericano México DF, 1991. La explicación de las curvas se describe a continuación:

3.2 CURVAS CARACTERÍSTICAS DE OPERACIÓN

Son esquemas de probabilidad de error tipo II, usados para la selección de un tamaño de muestra en particular; donde se compara la probabilidad contra un parámetro que refleja la extensión para la cual la hipótesis nula es falsa. Estas curvas pueden ser usadas para orientar al investigador en la elección del número de especímenes.

En primer lugar, es necesario considerar la probabilidad de error tipo II del Modelo Estadístico de efectos fijos, para el caso de tamaños de muestras iguales por ensayo:

$$\begin{aligned}\beta &= 1 - P(\text{Rechazar } H_0 / H_0 \text{ es falsa}) \\ &= 1 - P(F_0 > F_{\alpha, a-1, N-a} / H_0 \text{ es falsa})\end{aligned}$$

Para evaluar la relación probabilística en la ecuación anterior, se necesita conocer la distribución de la prueba estadística F_0 y si la hipótesis nula es falsa.

Esta puede ser indicada si H_0 es falsa; la estadística $F_0 = MS_{\text{Tratamiento}} / MS_E$ está distribuida como una variable aleatoria F descentralizada con $(a - 1)$ y $(N - a)$ grados de libertad y el parámetro descentralizado δ . Si $\delta = 0$, la distribución F descentralizada será la misma distribución F (Central).

Las curvas características de operación son usadas para evaluar la relación probabilística en la ecuación anterior.

Estas curvas trazan la probabilidad de error tipo II (β) contra un parámetro Φ , donde:

$$\Phi^2 = \frac{n \sum_{i=1}^a \tau_i^2}{a \sigma^2}$$

La cantidad Φ^2 está unida al parámetro descentralizado δ . Las curvas están disponibles para $\alpha = 0.05$ y $\alpha = 0.01$ (Donde σ es el nivel de significancia o aceptación, a es el número de tratamientos específicos o individuales y n es el tamaño de la muestra a determinar) en un rango de grados de libertad para el numerador y denominador.

Para usar estas gráficas, el investigador tiene que especificar el parámetro Φ en función de n . Este valor a menudo es difícil de resolver en la práctica. Un camino para determinarlo (Φ), es escoger valores actuales de las medias en cada tratamiento de premuestreo (Nivel del ensayo), por medio de las cuales se rechazaría la hipótesis nula con alta probabilidad.

Si $\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_a$ son las medias de cada tratamiento específico (Nivel del ensayo), se determina el parámetro τ_i de la ecuación anterior como $\tau_i = \mu_i - \mu$; donde μ es el promedio (Media) de las medias de los tratamientos individuales.

$$\bar{\mu} = \left(\frac{1}{a}\right) \sum_{i=1}^a \mu_i$$

También se requiere una estimación del parámetro σ ; algunas veces este parámetro está disponible gracias a experiencias anteriores, un experimento previo o una estimación ya definida.

Cuando el experimentador está incierto acerca del valor de σ (Desviación estándar), los tamaños de la muestra podrían ser determinados para un rango de valores probables de σ , con el objeto de estudiar el efecto de este parámetro sobre el tamaño de muestra requerido, antes de que la escogencia final sea hecha.

El único problema con este tipo de aproximación (Cuando se están usando las curvas), es que dicho valor es usualmente difícil de seleccionar, ya que por lo general este se toma de estudios anteriores o de premuestras realizados, los cuales generan costos. Las gráficas utilizadas, se muestran en el Anexo D (Curvas Características de Operación 3 y 5).

El proceso completo, se explica en el Anexo E, y además se muestran los valores de las premuestras en las diferentes pruebas en el Anexo H.

Los resultados del análisis estadístico para un nivel de significancia de 0.01 fueron:

COMPRESION: 10 MUESTRAS, con un nivel de confianza del 90%.

TRACCION: 9 MUESTRAS, con un nivel de confianza del 94%.

CORTANTE: 10 MUESTRAS, con un nivel de confianza del 91%.

FLEXION: 10 MUESTRAS, con un nivel de confianza del 93%.

3.3 PROPIEDADES QUÍMICAS DEL SUELO.

Es importante mencionar que en investigaciones realizadas en otras regiones del país, este aspecto NO se ha tenido en cuenta, lo cual ha sido un enorme error, ya que la planta extrae sus nutrientes precisamente de este, y el no estudiarlo conlleva a omitir una variable que

probablemente incide en la resistencia de la Guadua. El saber las condiciones del sembradío y que posibles recomendaciones se le pueden ofrecer para mejorarlo, es lo que se describirá en este ítem.

Ahora bien, para el desarrollo de cualquier planta, son indispensables los siguientes factores:

CLIMA: Del cual se derivan condiciones primordiales como la Temperatura favorable, Altitud, Precipitación, Humedad relativa, Energía solar adecuada o Brillo Solar.

SUELO: Buena granulometría y textura, una adecuada composición Química para contrarrestar sustancias tóxicas, y el contenido necesario de nutrientes.

Los factores climáticos ya fueron estudiadas en el numeral 3.8, cuando se habló de las condiciones ideales para el buen desarrollo de un Guadua, deduciendo al final que el sitio infortunadamente no cumple satisfactoriamente con dichos parámetros (también se explicó las razones de la elección de la zona de estudio). En la bibliografía consultada¹⁹, se mencionan una serie de recomendaciones para mejorar las condiciones de los suelos cuando presentan ciertos problemas, estas se pueden consultar en el Anexo F.

Para analizar el suelo de la finca, se investigó primero sobre las condiciones de la zona de ARATOCA; el mismo estudio citado en la referencia 19, muestra los siguientes resultados:

3.3.1 CARACTERISTICAS FISICAS

Ubicación de la muestra: 2 Kilómetros de Aratocha por la vía a Bucaramanga.

Altitud: 1420 metros.

Topografía: Lomosa (Montañosa).

Pendiente: 10-30%.

Erosión: Aguda.

Formación: Residual.

Clima: Medio, 20 grados centígrados.

¹⁹ SILVA , Francisco. Estudio Químico y Biológico de los Suelos de Santander, Empresa Nacional de Publicaciones, Bogotá 1.957.

Uso: Café, fique, pastos raquíuticos.

Tipo suelo: Franco Arenoso.

Perfil: De 0-30 centímetros, color gris oscuro, franco arenoso y suelto. De 30-60 centímetros, color gris claro, arenoso fino, con gran cantidad de coluvios de areniscas gruesas y medianas. Los resultados del estudio arrojaron 2 clases de suelos: TIPO A: No requerían cal para su estabilización y TIPO B: Si requerían cal para su estabilización.

3.3.2 CARACTERISTICAS QUIMICAS

El suelo del Municipio de Aratoca obtuvo los siguientes resultados:

Tabla 4. Propiedades químicas del suelo en el cultivo.

PH	5.10
NITROGENO TOTAL N%	0.16
MATERIA ORGANICA C%	2.65
CAPACIDAD CATIONICA DE CAMBIO, me/100mg	25.64
CALCIO, Ca me/100mg	15.27
MAGNESIO, Mg me/100mg	1.60
POTASIO, K me/100mg	0.46
SATURACION TOTAL %	67.50
SATURACION DE Ca %	59.50
SATURACION DE Mg %	6.20
SATURACION DE K %	1.80
PO4 SEGÚN BINGHMAN ppm	0.16
ARENAS TOTALES %	72.0
LIMOS %	19.0
ARCILLAS %	9.0
TEXTURA	Franco arenoso

La muestra fue clasificada en TIPO A (NO CALCAREA), con las siguientes características en general:

No contiene Carbonato de Calcio Libre; PH entre 5.5 y 7.0 por lo general.

Saturación total > 50%.

Calcio de cambio alto, con saturaciones > 20%.

Textura Franco a Franco - Arenoso.

Contenido de materia orgánica: Pobre.

Fósforo asimilable: Regular a muy pobre.

Lo anterior, proporciona una idea de las condiciones del suelo en esta zona del Departamento, pero la muestra NO es representativa de la región; sin embargo el equipo de trabajo se dio a la tarea de realizarle pruebas a muestras extraídas de la finca de donde se consiguió la Guadua. Los ensayos Químicos fueron analizados en el LABORATORIO DE SUELOS DEL MINISTERIO DE AGRICULTURA adjunto a la Universidad Industrial de Santander.

Este centro remitió ciertas recomendaciones sobre la forma de extraer las muestras²⁰ las cuales se presentan en el Anexo F.

Además, este ente Oficial, ofrece un completo paquete de servicios de Laboratorios para análisis Químicos de suelo, y adicional a esto entrega el procedimiento a seguir para mejorar las condiciones en cada caso. En el mismo anexo de suelos (Anexo F) se escribe el procedimiento para el desarrollo de cada prueba. Los análisis y sus conclusiones, se muestran en los capítulos 5 y 6 respectivamente.

3.4 PROPIEDADES FÍSICAS DEL SUELO

Como el suelo se quiso tener en cuenta dentro del análisis de este proyecto, hubo necesidad de realizar ciertas pruebas Físicas que se mencionan a continuación:

²⁰ SALAMANCA, Rafael; Suelos y Fertilizantes. Universidad Santo Tomás, Bogotá 1.990, Páginas 214 a 221.

Granulometría, Limite Líquido, Limite Plástico, Límite de Contracción, Gravedad, Específica de los Sólidos de un Suelo y Compactación.

En el anexo F de esta investigación se describen los procedimientos de los ensayos, consultados en el Manual de Procedimientos Técnicos del Laboratorio de Suelos y Pavimentos de la Escuela de Ingeniería Civil, Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga. En la Fotografía No. 30 se indica la forma como se tomaron las probetas de suelo para efectuar los ensayos Físicos.

Fotografía 13. Probetas de suelo extraído para efectuar las pruebas físicas.



3.5 PROPIEDADES FISICAS DE LA GUADUA

Los parámetros que se analizaron dentro de este ítem fueron: Humedad y Densidad.

3.5.1 ENSAYO DE HUMEDAD. En la Guadua, el agua se presenta en dos formas:

Como AGUA DE ADICIÓN: La cual hace parte de las paredes celulares; la pérdida de agua de adición genera cambios en su composición y estructura Química

AGUA LIBRE: aquella que se encuentra en los entrenudos o llenando los lúmenes dentro de la célula; la pérdida de agua libre origina cambios en las propiedades Físicas y Mecánicas de la Guadua.

Cuando las paredes celulares, los lúmenes de las células y los espacios intercelulares se hayan completamente saturados de agua, se dice que el material vegetal posee el máximo contenido de humedad.

La cantidad total de agua en una probeta o pieza de Guadua se denomina contenido de humedad, este término se expresa como porcentaje en peso seco al horno de la Guadua; se utiliza peso seco al horno de la Guadua, debido a que esta magnitud es un indicador de la cantidad de material sólido presente en ella.

Su ecuación es:

$$CH = \frac{P_h - P_s}{P_s} \times 100$$

Donde:

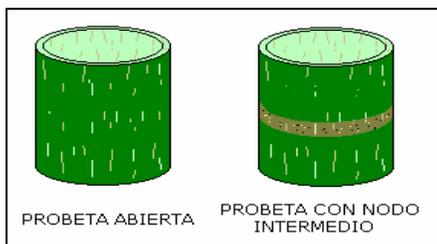
P_h : Peso de la probeta en estado húmedo o verde en gramos (Grs)

P_{sa} : Peso de la probeta en estado seco en gramos (Grs)

CH: Contenido de humedad en porcentaje (%).

En cuanto a la forma en como se hizo la prueba, se utilizaron 2 tipos de muestras según la sección de la planta: CEPA y BASA; se destinaron 5 Guaduas en estado verde cortadas el 27 de Febrero de 2003, y de ellas se extrajeron para Humedad 80 probetas:

Figura 3. Probetas utilizadas para la prueba de humedad.



HCN: Ceba con nodo intermedio, 20 muestras,

HBN: Basa con nodo intermedio, 20 muestras.

HCA: Ceba Abierta, 20 muestras.

HBA: Basa Abierta, 20 muestras.

Todas se trabajaron con una longitud aproximada de 10 Cm; para cada ensayo se siguieron las dimensiones que se explican en el anexo G. Estos procedimientos fueron extraídos de la Norma internacional para El Bambú: INBAR (International Network of Bamboo And Rattan - Anexo A); en el Anexo B, Fotografías No. 37 y No. 38 se muestran las probetas para el ensayo de humedad con más detalle.

Para determinar el peso anhidro de cada probeta, básicamente, se realizó una serie consecutiva de mediciones de peso después de introducir las probetas en el horno y dejarlas allí por unos tiempos establecidos en la norma INBAR, hasta que estas llegaran a valores constantes de peso.

3.5.2 ENSAYO DE DENSIDAD O PESO ESPECÍFICO. El peso específico o densidad, se define como el peso o la masa del material de Guadua por unidad de volumen. En términos generales este peso depende del tamaño de las células y del espesor de las paredes celulares; además, las fibras son sumamente importantes, ya que la forma de la sección transversal y su tamaño permiten una mayor colocación de las mismas por unidad de área.

El peso de la Guadua es la suma del peso del material sólido y el peso del contenido de humedad presente, con esto se concluye que la densidad de una pieza de Guadua varía con la parte de la planta de la cual se extrae y del contenido de humedad de la misma.

Para una misma muestra de Guadua se pueden determinar cuatro tipos de densidades:

$D_v = P_h / V_v$, su nombre es Densidad Verde (Grs /Cm³).

Aclarando que el Peso Húmedo se tomó aproximadamente 15 días después de almacenadas las probetas, esto debido al tiempo mientras se alquilaba la colilladora.

$D_{sa} = P_{sa} / V_{sa}$, se cataloga como Densidad Seca al Aire (Grs / Cm^3).

$D_a = P_{sh} / V_{sh}$. Su nombre es Densidad Anhidra (Grs / Cm^3).

$D_b = P_{sh} / V_v$, se cataloga como Densidad Básica (Grs / Cm^3); ésta es la menor de las cuatro densidades.

Las condiciones con las cuales se va a realizar esta prueba en el laboratorio de Resistencia de Materiales en la escuela de Ingeniería Civil de la U.I.S., se explican el Anexo G.

Para Densidad, Las secciones utilizadas fueron las siguientes:

DC: Densidad Cepa: 20 muestras

DB: Densidad Basa: 20 muestras.

Las 40 muestras se cortaron con una longitud aproximada de 10 Cm. se elaboraron con la condición abierta por los dos lados únicamente, ya que si se

hubieran tenido en cuenta el nodo, seria casi imposible medir en forma exacta su volumen.

Fotografía 14. Probetas utilizadas en el ensayo de densidad.



PROCESO DE MEDICION: Previo a este proceso , se hicieron una serie de marcas con el fin de agilizar la toma de lecturas para establecer los valores promedio de Altura, Diámetro Interno, Diámetro Externo y Espesor de la pared de cada una de los ejemplares y se realizó de la siguiente manera:

Altura: Se anotaron cuatro medidas con el objeto de promediarlas y obtener un valor de altura de la probeta.

Diámetro Interno y Diámetro Externo: Se tomaron cuatro medidas en cada extremo de la probeta, con el objeto de promediarlas y obtener un valor de Diámetro Interno y de Diámetro Externo de la probeta.

Espesor de la Pared: Se leyeron cuatro medidas en cada extremo de la probeta, con el objeto de promediarlas y obtener un valor espesor de la pared de la probeta.

En forma similar al proceso de Humedad, lo que se ejecutó fue una serie consecutiva de mediciones de peso después de introducir las probetas en el horno y por tiempos establecidos en la norma INBAR, hasta que llegaron a pesos constantes.

3.6 PROPIEDADES MECANICAS

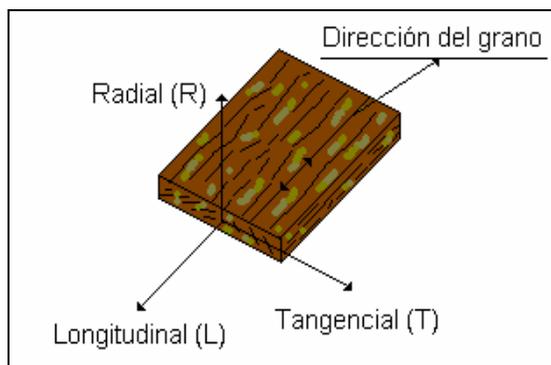
Una característica esencial de todo producto natural es su variabilidad, la Guadua como tal es un buen ejemplo de ello; las diversas condiciones ambientales como el clima y el suelo afectan notablemente la tasa de crecimiento, la estructura, la forma y las propiedades de resistencia de esta especie vegetal; como consecuencia de esto, la Bambusa (Guadua) es un recurso forestal bastante heterogéneo en su constitución interna, producto del entorno en donde se desarrolle.

La Guadua es considerada como una madera liviana, de fácil y económico crecimiento, por lo cual, debe ser utilizada apropiadamente a partir de parámetros de diseño fundamentados en sus particulares propiedades Físicas y Mecánicas, éstas, son la expresión de su comportamiento bajo la acción de fuerzas externas las cuales dependen del tipo de carga aplicada y de la estructura tanto interna como externa de este material.

Como punto de partida para el conocimiento de las características Mecánicas de esta especie vegetal, se realizó una serie de pruebas siguiendo los parámetros y condiciones de ensayo establecidas en las siguientes normas:

- ✧ INBAR Standard for Determination of Physical and Mechanical Properties of Bamboo.
- ✧ Manual de Diseño para Maderas del Grupo Andino (Junta del Acuerdo de Cartagena).
- ✧ American Society for Testing and Materials (ASTM).
- ✧ Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC) -
- ✧ Norma Técnica Colombiana para Maderas (NTC).
- ✧ Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo Resistente (NSR - 98).

Figura 4. Direcciones principales de una madera.



Ahora bien, desde el punto de vista de su estructura, es interesante el hecho que en las maderas se pueden reconocer tres (3) direcciones principales que se consideran ortogonales entre sí, estas direcciones son: Longitudinal, radial y tangencial; en la Figura N. 9, se observa que las direcciones radial y tangencial son perpendiculares a la fibra.

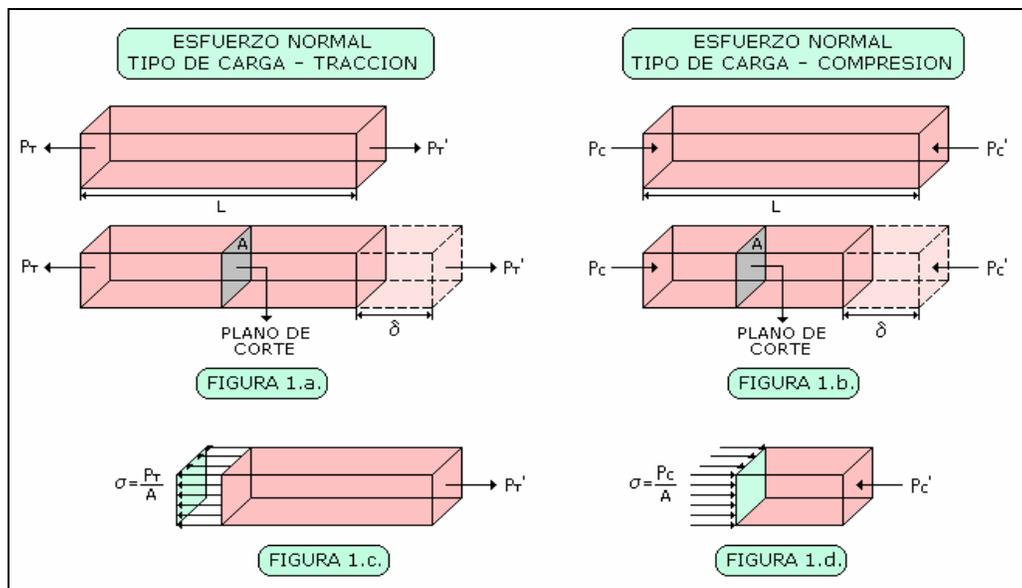
En la Guadua se consideran dos (2) direcciones: La dirección longitudinal (Paralela a la fibra) y la dirección transversal (Perpendicular a la fibra).

Con Base en las normas descritas y sabiendo que las principales propiedades Mecánicas de la Guadua son: Compresión paralela a la fibra, Tracción Paralela a la fibra, Cortante Paralelo a la fibra y la Flexión (Cortante perpendicular a la fibra), se describirán los procesos utilizados para cada ensayo. Pero antes se mencionaran una serie de definiciones importantes relacionadas con el tema.

3.6.1 ESFUERZOS NORMALES: COMPRESIÓN PARALELA Y TRACCIÓN PARALELA A LA FIBRA

✧ CONCEPTO DE ESFUERZO NORMAL. Si a un elemento prismático se le aplican cargas de Tracción (P_T) o cargas de Compresión (P_C) que actúen en sus extremos y que estén dirigidas a lo largo del eje del cuerpo, se dice que el objeto está sometido a carga axial (Tipo Tracción o tipo Compresión); con el objeto de analizar los Esfuerzos internos en un cuerpo, se requiere un corte imaginario (Dibujos 1a y 1b; Figura No. 10) que sea perpendicular al eje longitudinal del elemento prismático; considerando la parte del cuerpo a la derecha del corte como un cuerpo libre (1c y 1d; Figura No. 10) se observa lo siguiente:

Figura 5. Elemento prismático sujeto a cargas de tracción y



Se asume que la fuerza se distribuye uniformemente sobre el área de la sección transversal; a esta Fuerza por unidad de área se le denomina Esfuerzo a Tracción (σ_T) o Esfuerzo a Compresión (σ_C), esto se cumple siempre y cuando la Fuerza axial de Tracción (P_T) o la Fuerza axial de Compresión (P_C) respectivamente, actúen en el centroide del área de la sección transversal.

$$\sigma_T = \left[\frac{P_T}{A} \right]$$

Esfuerzo a Tracción

$$\sigma_C = \left[\frac{P_C}{A} \right]$$

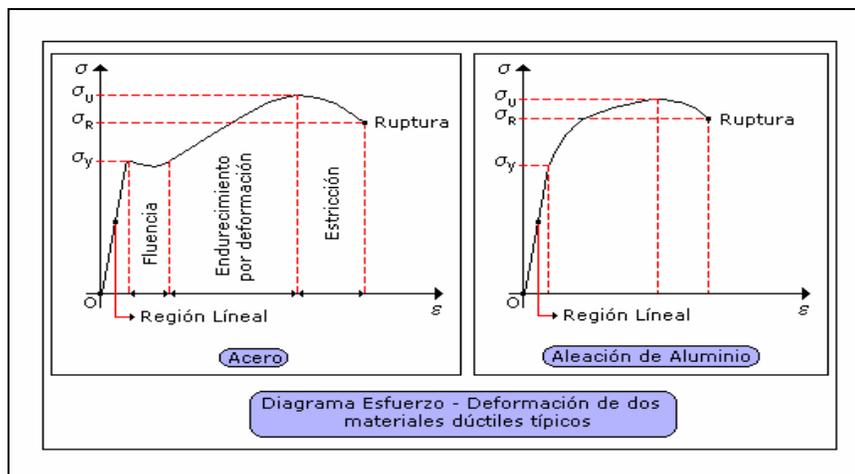
Esfuerzo a Compresión

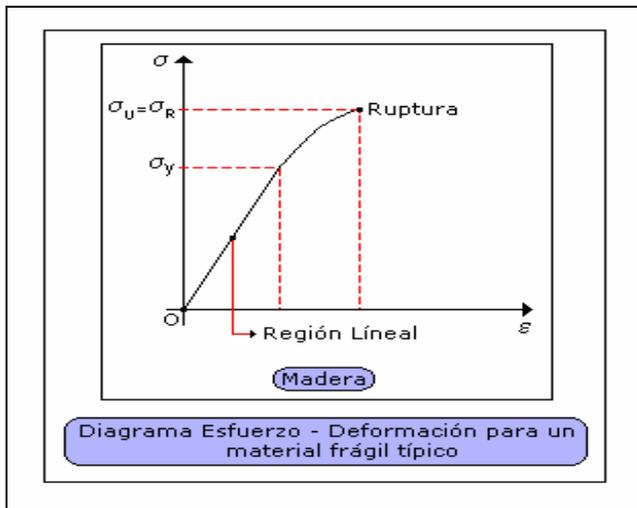
Al estar el cuerpo sometido a una carga axial de Tracción o Compresión, éste va a sufrir cambios en su longitud, lo que se denomina Deformación (δ), la cual al dividirla por la longitud total del elemento prismático, se obtiene la deformación unitaria (ε).

$$\varepsilon = \frac{\delta}{L}$$

Los diagramas de Esfuerzo - Deformación son característicos para cada material y proporciona información importante acerca de las propiedades Mecánicas y el comportamiento de este; tales esquemas para diferentes materiales varían considerablemente, por ello, es necesario distinguir algunas características comunes entre los diagramas Esfuerzo - Deformación de varios grupos de materiales con el objeto de clasificarlos en dos (2) amplias categorías con base a estas propiedades: Materiales Dúctiles (Como el Acero) y materiales Frágiles (Por ejemplo la Madera - Figura No. 11).

Figura 6. Diagramas Esfuerzo-Deformación.





Los materiales dúctiles, que comprenden el Acero estructural y muchas aleaciones (De aluminio por ejemplo) se caracterizan por su capacidad para fluir a temperaturas normales²¹.

Los materiales frágiles como fundición, el cristal, la roca y la madera (la Guadua) se caracterizan porque la ruptura se genera sin que se presente antes un cambio importante en la tasa de deformación del material (Bajo cargas de Tracción Paralela o Compresión Paralela), debido a esto, para los materiales frágiles no hay diferencia entre la resistencia última y la resistencia a la ruptura; además, los valores de deformación en el instante de la falla son más pequeños para materiales frágiles que para materiales dúctiles.

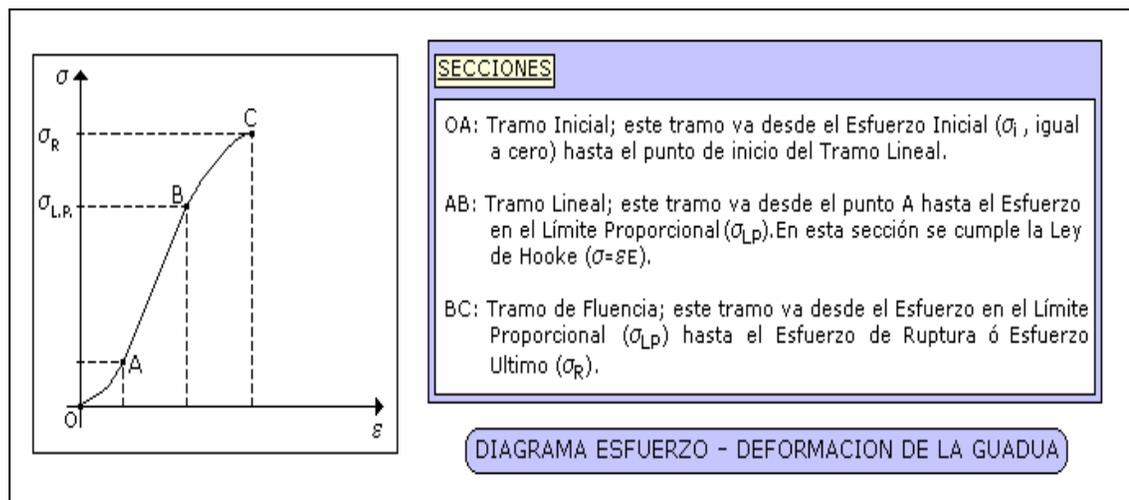
En los materiales frágiles, se observa que no se presenta Estricción (Reducción de área) y la falla se presenta en una superficie perpendicular a la carga, por ello los Esfuerzos Normales son los principales causantes de la ruptura en este tipo de materiales. Para la mayor parte de los materiales frágiles se encuentra que la resistencia última a Compresión es mucho mayor que a Tensión. Esto se debe a la existencia de grietas microscópicas o cavidades que tienden a debilitar el material a Tensión sin afectar apreciablemente su resistencia a la Compresión²².

²¹ En el diagrama Esfuerzo – Deformación de un material Dúctil, después de alcanzar un esfuerzo crítico “ σ_y ” llamado Esfuerzo de Fluencia, el elemento sometido a cargas de Tracción o Compresión presenta grandes deformaciones antes de fallar, con un aumento relativamente pequeño de la carga aplicada; FERDINAND P. BEER y E. RUSSELL JOHNSTON, Jr; MECANICA DE MATERIALES - Segunda Edición, 1.998.

²² FERDINAND P. BEER y E. RUSSELL JOHNSTON, Jr; MECANICA DE MATERIALES - Segunda Edición, 1.998.

En el diagrama Esfuerzo – Deformación de una probeta de Guadua (Material Frágil) sometida a cargas de Tracción Paralela o Compresión Paralela, se presenta una región inicial, en la cual, bajo pequeñas aplicaciones de carga (Valores mínimos de esfuerzo) la deformación de la probeta es relativamente alta; a continuación, se genera un tramo en el cual el Esfuerzo y la Deformación son directamente proporcionales y se dice que el comportamiento del material es lineal (Rango Elástico); después de alcanzar un valor crítico del Esfuerzo, la probeta sufre grandes Deformaciones con un pequeño aumento de la carga aplicada hasta llegar a la ruptura del material, esta es la región de Fluencia del material (Rango plástico); estas regiones se bosquejan en la Figura No. 12.

Figura 7. Diagrama Esfuerzo-Deformación de una probeta de Guadua sometida a cargas de tracción paralela o compresión paralela.



❖ MÓDULO DE ELASTICIDAD (LEY DE HOOKE)

Un gran número de estructuras se diseñan para sufrir pequeñas Deformaciones que involucran sólo la parte lineal del diagrama Esfuerzo – Deformación (Sea para un ensayo de Tracción Paralela o de Compresión Paralela); para la parte inicial del diagrama, el Esfuerzo (σ) es directamente proporcional a la deformación (ε) y se especifica la siguiente relación:

$$\sigma = E\varepsilon$$

Esta relación es la Ley de Hooke²³; el coeficiente E es el Módulo de Elasticidad del material o Módulo de Young²⁴; este parámetro representa la pendiente del diagrama Esfuerzo - Deformación en la región linealmente Elástica y su valor depende del material particular que se utilice; por ejemplo, en los materiales dúctiles con un punto de Fluencia bien definido, el Límite de Proporcionalidad coincide con el punto de Fluencia; en el caso de los materiales Frágiles (Guadua), el Límite de Proporcionalidad no puede determinarse tan fácilmente puesto que se hace difícil definir con precisión el valor de σ para el cual la relación entre σ y ε ya no es lineal; además, la Deformación (ε) no tiene dimensiones (Debido a que ésta, indica la deformación unitaria del material), por ello el Módulo de Elasticidad (E) se expresa en las mismas unidades del Esfuerzo (σ).

Para determinar el Módulo de Elasticidad de la Guadua en las pruebas de Compresión Paralela y Tracción Paralela, se lleva a cabo el procedimiento del “Laboratory Manual on Testing Methods for Determination of Physical and Mechanical Properties of Bamboo” establecido por la norma INBAR (Anexo A).

✧ CONCEPTO DE ELASTICIDAD.

Cuando una probeta de un material cualquiera ha sido cargada y se le retira lentamente la carga, si el material sigue exactamente la misma curva para regresar a su punto inicial de Deformación, recuperando así las dimensiones iniciales, se dice que éste es un material Elástico.

Con base en esta definición, la Elasticidad es la propiedad de cuerpos sólidos de deformarse bajo la acción de una fuerza y regresar a la forma original, cuando ésta deja de aplicarse.

Este comportamiento se mantiene hasta cierto Límite, por encima del cual la Deformación total no es recuperable, es decir, se produce una deformación permanente en la muestra (También conocida como deformación Plástica).

²³ Denominada así en honor al matemático Inglés Robert Hooke (1.635 – 1.703); FERDINAND P. BEER y E. RUSSELL JOHNSTON, Jr; MECANICA DE MATERIALES - Segunda Edición, 1.998.

²⁴ En honor al científico Inglés Thomas Young (1.773 – 1.829); FERDINAND P. BEER y E. RUSSELL JOHNSTON, Jr; MECANICA DE MATERIALES - Segunda Edición, 1.998.

Si continua aplicándose una carga creciente se llega a la falla de la muestra.

3.6.2 ENSAYO DE COMPRESION PARALELA. La Guadua presenta gran resistencia a los esfuerzos de Compresión Paralela a sus fibras, esta condición se debe a que dichos elementos están orientados con su eje longitudinal en la dirección de la carga; cabe resaltar que la capacidad de una probeta de Guadua está limitada por el pandeo de las fibras más que por su propia resistencia al aplastamiento.

La propuesta de las normas internacionales para ensayos de Bambú, INBAR STANDARD FOR DETERMINATION OF PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF BAMBOO (Anexo A), especifican para el ensayo de Compresión Paralela a la fibra una altura (h) de la probeta de Guadua entre uno (1) y dos (2) veces el diámetro (d), precisamente para que el ensayo termine evaluando las propiedades del material para este tipo de esfuerzo, sin que sea afectado por efectos secundarios como el pandeo.

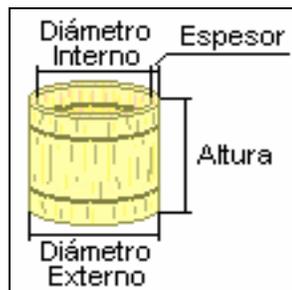
Del ensayo de Compresión Paralela a la fibra se obtienen datos para el cálculo de:

- ❖ **Esfuerzo en el Límite Proporcional (σ_{lp}):** Es la máxima resistencia de las fibras a Compresión Paralela que una probeta de Guadua puede soportar sin deformarse de manera permanente; este valor se expresa en kilogramos por centímetro cuadrado (Kgr / Cm²).
- ❖ **Esfuerzo Máximo ($\sigma_{m\acute{a}x}$):** Es la máxima resistencia de las fibras a Compresión Paralela, la cual es la medida de la capacidad de una columna corta para resistir una carga aplicada lentamente; este valor es muy importante en el diseño de columnas y de otros miembros estructurales de comportamiento similar; se expresa en kilogramos por centímetro cuadrado (Kgr / Cm²).
- ❖ **Módulo de Elasticidad (E):** Este parámetro representa la pendiente de la curva Esfuerzo - Deformación en el tramo linealmente Elástico y su valor es una particularidad del material; este valor se enuncia en kilogramos por centímetro cuadrado (Kgr / Cm²).

❖ **CLASIFICACIÓN DE LAS PROBETAS.** Con el objeto de analizar esta propiedad Mecánica de la Guadua (Compresión Paralela a la fibra) se cortaron En total 90 muestras clasificadas en probetas tipo A, probetas tipo B y probetas tipo C, cada uno de estos especimenes se bosqueja a continuación:

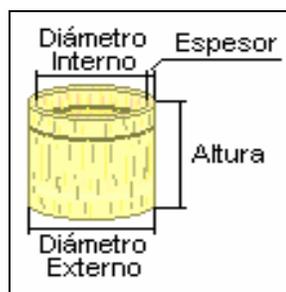
❖ **Probeta Tipo A:** Estos especimenes de Guadua fueron cortados cada uno con una longitud de 25 centímetros, teniendo en cuenta que la probeta estuviera compuesta por dos nodos (Un nodo en cada extremo de la probeta, ver figura N 13). En total se obtuvieron 20 probetas con esta condición (10 ejemplares de Basa y 10 ejemplares de Cepa).

Figura 8. Probeta tipo A para Compresión Paralela.



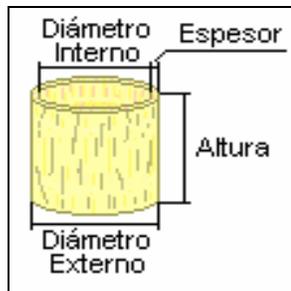
❖ **Probeta Tipo B:** Estas muestras de Guadua fueron cortadas cada una con una longitud de 25 centímetros, teniendo presente que la probeta estuviera compuesta por un nodo (Un extremo de la probeta con nodo y el otro extremo abierto, ver figura N 14). En total se obtuvieron 20 probetas con esta condición (10 ejemplares de Basa y 10 ejemplares de Cepa).

Figura 9. Probeta tipo B para Compresión Paralela.



- ◇ Probeta Tipo C: Estas muestras de Guadua fueron cortadas cada una con una longitud de 25 centímetros, teniendo en cuenta que la probeta no estuviera compuesta por nodos (Ambos extremos abiertos, ver figura N 15). En total se obtuvieron 20 probetas con esta condición (10 ejemplares de Basa y 10 ejemplares de Cepa).

Figura 10. Probeta tipo C para Compresión Paralela.



Además de estas 60 muestras de Guadua, se cortaron 30 especímenes más (15 ejemplares de Basa y 15 ejemplares de Cepa con las mismas especificaciones de tipos de probetas mencionadas) para efectuar las premuestras en el laboratorio.

En el proceso de selección y corte del material para la obtención de estos ejemplares, se buscaron tramos rectos y que no presentaran mayores imperfecciones; en el corte de las probetas se procuró obtener un perfecto paralelismo entre las dos bases de la probeta, teniendo cuidado que éstas fueran perpendiculares a su eje longitudinal.

En total se obtuvieron 90 muestras clasificadas de acuerdo a la sección del tallo (Basa o Cepa) de la cual fueron extraídas; esta distribución se llevó a cabo con el objeto de obtener 45 especímenes de Basa y 45 especímenes de Cepa con los cuales se realizaron los procedimientos de Premuestra y Muestra respectivos.

Para un mejor manejo, se utilizó una nomenclatura adicional para diferenciar si la probeta era Basa o Cepa.

CPB2L: Compresión Paralela Basa tapada por los 2 lados.

CPB1L: Compresión Paralela Basa tapada por 1 lado.

CPBA: Compresión Paralela Basa Abierta por los 2 lados.

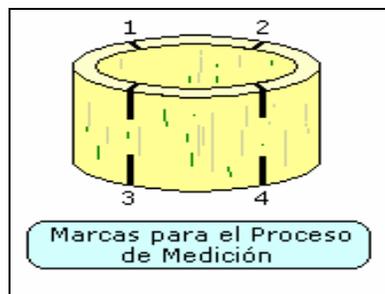
CPC2L: Compresión Paralela Cepa tapada por los 2 lados.

CPC1L: Compresión Paralela Cepa tapada por 1 lado.

CPCA: Compresión Paralela Cepa Abierta por los 2 lados.

- ❖ **PROCESO DE MEDICION.** Previamente al proceso de medición de las probetas, se hicieron una serie de marcas (Ver figura N 16) con el fin de facilitar la toma de lecturas para establecer los valores promedio de Altura, Diámetro Interno, Diámetro Externo y Espesor de la pared de cada una de los ejemplares; la toma de lecturas se realizó de la siguiente manera:

Figura 11. Marcas sobre una probeta de Guadua.



- ❖ **Altura:** Se anotaron cuatro medidas con el objeto de promediarlas y obtener un valor de altura de la probeta.
- ❖ **Diámetro Interno y Diámetro Externo:** Se tomaron dos medidas en cada extremo de la probeta, con el objeto de promediarlas y obtener un valor de Diámetro Interno y de Diámetro Externo de la probeta.
- ❖ **Espesor de la Pared:** Se leyeron cuatro medidas en cada extremo de la probeta, con el objeto de promediarlas y obtener un valor espesor de la pared de la probeta.

Para determinar los valores medios de altura, Diámetro Externo, Diámetro Interno y Espesor de la pared de cada probeta de Guadua, se utilizó un Calibrador "Pie de Rey" - Marca Mitutoyo, el cual tiene una aproximación en la lectura de 0.02 milímetros .

- ❖ **MÁQUINAS Y EQUIPOS UTILIZADOS.** La epidermis de la guadua se caracteriza por su dureza debido a la gran cantidad de sílice que contiene y por una capa cerosa que la cubre e impermeabiliza; debido a esto, para realizar los cortes se requiere de una herramienta de filo fino y apropiado; para llevar a cabo tal labor, se utilizó una Colilladora - Marca PRO-TECH (Ver fotografías N.26 y 27), con la cual se realizaron los diferentes cortes en la Guadua.

Para las pruebas de laboratorio se utilizó la Máquina Universal de Ensayos ubicada en el Laboratorio de Resistencia de Materiales de la Escuela de Ingeniería Civil - Universidad Industrial de Santander, sus principales características son:

Máquina Universal de Ensayos - Marca TREBEL: Máquina de funcionamiento electromecánico, hidráulico y control manual. Es un equipo especial para pruebas de Compresión, Tracción, Flexión y otros ensayos derivados de estos principios. Posee una capacidad máxima de carga de 40 Toneladas distribuida en tres diferentes escalas: De 0 - 4 toneladas, 0 - 20 toneladas y de 0 - 40 toneladas. Su sistema de lectura es análogo. (Ver Fotografía No. 43).

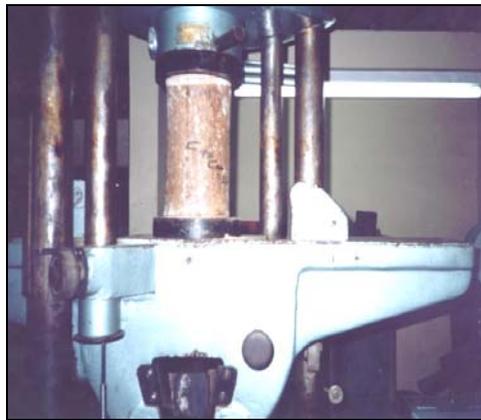
Fotografía 15. Máquina Universal de Ensayos marca TREBEL.



Se realizaron los ensayos para determinar el Módulo de Elasticidad, utilizando la escala de 0 – 20 toneladas, con una aproximación en las lecturas de 500 Kgf para las probetas de Basa y la escala de 0 - 40 toneladas, con una aproximación de 1.000 Kgf para las probetas de Cepa.

- ✧ **DETERMINACIÓN DEL MODELO DE ENSAYO.** Para determinar el Módulo de Elasticidad y el Esfuerzo Máximo a Compresión Paralela a la fibra de la Guadua, se siguió el procedimiento del “Laboratory Manual on Testing Methods for Determination of Physical and Mechanical Properties of Bamboo” establecido por la norma INBAR (Anexo A). Las probetas se ensayaron en la Máquina Universal de Ensayos - Marca TREBEL (Ver Fotografía No. 44);

Fotografía 16. Montaje de una probeta tapada antes de ser fallada.



para cada ensayo se utilizó un Deformímetro Mecánico - Marca Mitutoyo, el cual, tiene una precisión de 0.001 pulgadas; esta herramienta se empleó con el fin de medir la deformación de cada ejemplar de Guadua. Después de obtenidos los datos en Laboratorio, se realizó un procedimiento Matemático con el fin de establecer ciertos parámetros necesarios para cumplir el objetivo propuesto.

- ✧ **TEORÍA DE PANDEO DE COLUMNAS.** La evaluación de la resistencia de las columnas se basa en la teoría de la carga crítica establecida en un principio por Euler²⁵ hace más de 250 años, dicha figuración permite predecir con buena aproximación el comportamiento de columnas largas, teniendo en cuenta que para el análisis de columnas de longitud intermedia se suele sobreestimar la capacidad. La falla de una columna incluye el fenómeno de inestabilidad conocido como Pandeo, por el cual, el

²⁵ En honor al matemático Suizo Leonhard Euler (1.707-1.783), quien fue el primero en estudiar la flexión de una columna esbelta y determinar su carga crítica (En el año 1.744); FERDINAND P. BEER y E. RUSSELL JOHNSTON, Jr; MECANICA DE MATERIALES - Segunda Edición, 1.998.

elemento experimenta deflexiones de un carácter totalmente diferente a aquellas que están asociadas con la carga inicial.

Si se considera una columna esbelta con extremos articulados, totalmente recta y de un material linealmente Elástico, es decir, una columna ideal (Figura No. 17) que está cargada por una fuerza vertical P que se aplica en el centroide de la sección transversal y que está alineada en el eje longitudinal de la columna.

Figura 12. Columna ideal.

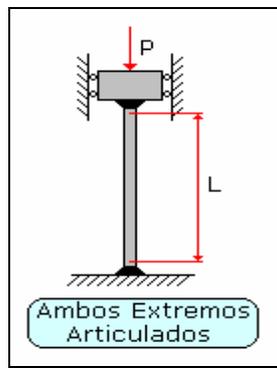
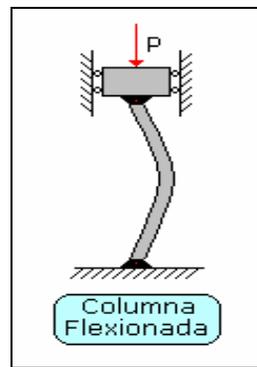


Figura 13. Columna flexionada.



Cuando la carga axial P es pequeña, la columna permanece recta y solo experimenta Compresión Axial; hasta este punto se considera que la columna está en un equilibrio estable, lo cual indica que una vez retirada la carga, la columna regresará a su posición original. Al incrementarse la carga P se llega a una situación de equilibrio neutro, en la cual, la columna puede adoptar una forma flexionada y la carga en este punto corresponde a la crítica P_{cr} (Figura No. 18). Para esta carga, la columna ideal puede sufrir pequeñas deflexiones laterales sin ningún cambio en la Fuerza Axial y una pequeña carga lateral producirá una forma flexionada que no desaparece cuando se retire la carga lateral.

Luego, la carga crítica mantiene a la columna en equilibrio estático, ya sea en la posición recta o levemente flexionada. Cuando la Fuerza es mayor a la crítica ($P > P_{cr}$), la columna es inestable y fallará por flexión (Fenómeno de Pandeo).

Para una columna ideal la carga crítica está determinada por la siguiente ecuación:

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{L^2}$$

Donde, E es el Módulo de Elasticidad del material del cual está hecho el elemento estructural, I es el Momento de Inercia de la sección transversal del elemento y L es la longitud del mismo.

En la realidad, las columnas no son ideales, y menos aún para un material como la Guadua que tiene varios factores que afectan su resistencia, como por ejemplo las imperfecciones de la sección, la heterogeneidad del material, la rectitud del elemento de columna y la aplicación de la carga en el centroide de la sección.

Las condiciones de apoyo son las más importantes para determinar la carga crítica de una columna, debido a las diferencias que se presentan en cada caso en la práctica, por lo cual, se consideró en la fórmula de Euler el valor de L_e como la longitud efectiva de la columna, que representa la distancia entre los puntos de inflexión en la geometría de la columna deformada. Con base en lo anterior, la ecuación de la carga crítica será:

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{L_e^2} = \frac{\pi^2 EI}{(kL)^2}$$

Donde k es un factor de longitud efectiva que depende de las condiciones de los apoyos²⁶. Una forma cuantitativa de establecer los límites entre cada tipo de columnas, está basado en el valor de los esfuerzos permisibles con respecto a la relación de esbeltez (λ). La Relación de Esbeltez está definida como el cociente entre la longitud de la columna (L) y el Radio de Giro mínimo de la sección transversal (r):

$$\lambda = \frac{L}{r}$$

Donde el Radio de Giro (r) se define como:

²⁶ FERDINAND P. BEER y E. RUSSELL JOHNSTON, Jr; MECANICA DE MATERIALES - Segunda Edición, 1.998.

$$r = \sqrt{\frac{I}{A}}$$

Con lo cual se obtiene la carga crítica (P_{cr}) en función de la Relación Efectiva de Esbeltez (λ_e), de acuerdo con la siguiente expresión:

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{(k\lambda r)^2} = \frac{\pi^2 EI}{\left(k\lambda \sqrt{\frac{I}{A}}\right)^2} = \frac{\pi^2 EI}{\left(k \frac{L}{r} \sqrt{\frac{I}{A}}\right)^2} = \frac{\pi^2 EA}{\left(\frac{kL}{r}\right)^2} = \frac{\pi^2 EA}{\lambda_e^2}$$

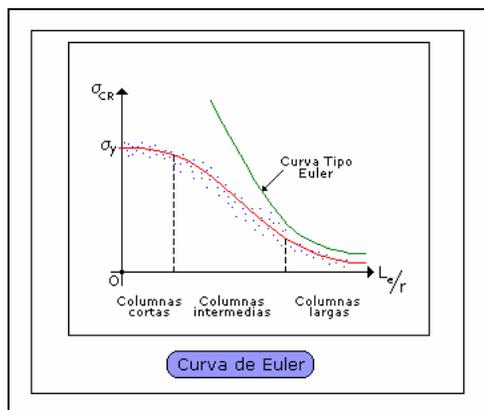
El valor del Esfuerzo Crítico (σ_{cr}) en función de la Relación Efectiva de Esbeltez (λ_e), se obtiene de la siguiente ecuación:

$$\sigma_{cr} = \frac{P_{cr}}{A} = \frac{\pi^2 E}{\lambda_e^2}$$

En el diseño de columnas sometidas a carga céntrica, se utiliza un diagrama cuya ordenada es el esfuerzo normal de falla o esfuerzo normal crítico (σ_{cr})²⁷ y

su abscisa es el valor correspondiente a la relación efectiva de esbeltez (λ_e) (Figura No. 19).

Figura 14. Diagrama de Esfuerzo Normal Crítico (σ_{cr}) v.s. Relación Efectiva de Esbeltez (λ_e).



²⁷ Esfuerzo del tipo Compresión paralela a la fibra.

En este diagrama aunque se presenta una considerable dispersión en los resultados, se observan secciones correspondientes a tres tipos de falla; para columnas largas donde la Relación Efectiva de Esbeltez (λ_e) es grande, la falla se puede predecir con exactitud empleando la ecuación de Euler y el valor del esfuerzo crítico (σ_{cr}) depende de la Relación Efectiva de Esbeltez (λ_e) y del Módulo de Elasticidad (E) del material empleado para el ensayo.

En el caso de las columnas intermedias y cortas donde la Relación Efectiva de Esbeltez (λ_e) es más pequeña, la falla de la columna es un fenómeno complejo en el cual se han utilizado datos de pruebas de laboratorio con el objeto de establecer ecuaciones de diseño y especificaciones para determinar el valor del esfuerzo crítico (σ_{cr}).

La curva de Euler solo predice el comportamiento en columnas cuyos Esfuerzos están por debajo del Límite de Proporcionalidad del material (σ_{lp}); por encima de este esfuerzo, el comportamiento se vuelve inelástico y difiere de la ecuación de Euler.

En el instante en el cual es sobrepasado el Límite Elástico en un diagrama Esfuerzo – Deformación (Valores de Esfuerzo por encima del Límite de Proporcionalidad del material (σ_{lp})), la relación entre la Deformación Unitaria y el Esfuerzo está dada por la pendiente de la curva en ese punto, y se le da el nombre de Módulo Tangencial (E_t). El Módulo Tangencial (E_t) es una propiedad del material que disminuye a medida que se incrementan los valores de Esfuerzo por encima del Límite de Proporcionalidad. En la Teoría del Módulo Tangencial de pandeo inelástico²⁸, las consideraciones relacionadas con el comportamiento de la columna ideal son iguales a las establecidas en el análisis de Pandeo Elástico, reemplazando el Módulo de Elasticidad (E) por el Módulo Tangencial (E_t); por ello, las ecuaciones para determinar los valores de Carga crítica (P_t) y Esfuerzo Crítico (σ_t) con Relación al Módulo Tangencial son:

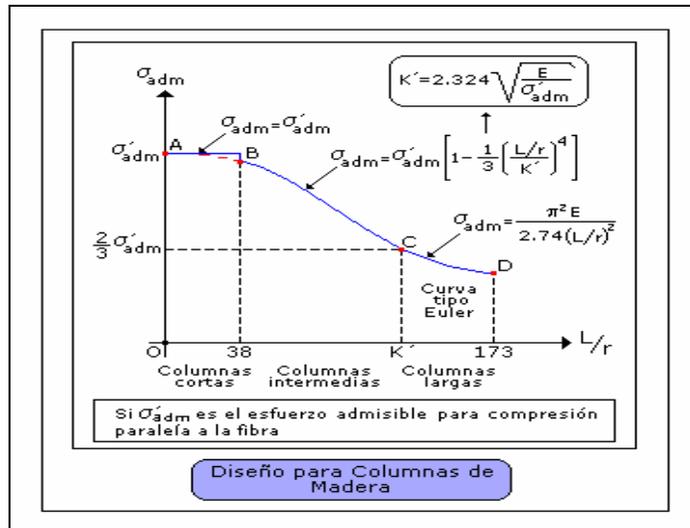
$$P_t = \frac{\pi^2 E_t I}{L^2}$$

$$\sigma_t = \frac{\pi^2 E_t}{(\lambda)^2}$$

²⁸ Formulada en 1.889, por el Alemán Engesser.

Las especificaciones del American Institute of Timber Construction²⁹ proporcionan ecuaciones para determinar el Esfuerzo Admisible (σ_{adm}) en columnas cortas, intermedias y largas bajo carga céntrica; para una columna con sección circular (Probeta de Guadua) la variación del Esfuerzo Admisible (σ_{adm}) respecto a la Relación de Esbeltez (λ) se bosqueja en la Figura No. 20.

Figura 15. Diagrama de Esfuerzo Admisible (σ_{adm}) v.s. Relación Esbeltez (λ)



En el esquema anterior se indican las fórmulas para establecer el valor del Esfuerzo Admisible (σ_{adm}) para las tres regiones del diagrama (Columna corta, intermedia y larga).

Para columnas cortas el σ_{adm} es constante e igual al Esfuerzo Admisible para Compresión Paralela a la fibra (σ'_{adm}); en $\lambda = 38$, que es el Límite entre columnas cortas e intermedias, las especificaciones de las AITC³⁰ introducen en el punto B una pequeña discontinuidad como se indica en la figura anterior. Además, las columnas cortas no se pandean y desarrollan toda la capacidad al aplastamiento de la sección transversal.

²⁹ JOHN WILEY & SONS; TIMBER CONSTRUCTION MANUAL - AMERICAN INSTITUTE OF TIMBER CONSTRUCTION, New York – Tercera Edición, 1.985.

³⁰ AMERICAN INSTITUTE OF TIMBER CONSTRUCTION.

En las columnas intermedias, la falla se genera por una combinación de aplastamiento e inestabilidad; en este tipo de columnas se ha adoptado una ecuación empírica producto de una serie de experimentos y pruebas de laboratorio.

Para columnas largas el σ_{adm} está dado por la ecuación de Euler con un factor de seguridad de 2.74; este último valor tiende a reflejar el hecho de que en este tipo de columnas las imperfecciones en la orientación de las fibras, la curvatura inicial o la excentricidad de las cargas, pueden resultar en una carga real menor.

3.6.3 CÁLCULOS PRELIMINARES PARA EL ENSAYO DE COMPRESIÓN PARALELA A LA FIBRA DE LA GUADUA. Antes de realizar cualquier ensayo en el laboratorio, se anotaron los datos correspondientes a la geometría de las probetas; con esta información, se determinaron los valores medios de Altura, Diámetros (Externos e internos) y Espesores de pared de cada una de las probetas de Guadua. Con base en estos datos, se calcularon las áreas de los extremos Inferior y Superior de la muestra, los Radios de Giro y la Relación de Esbeltez; esta información se detalla en el Anexo H. A continuación se presentan las fórmulas empleadas para el cálculo de estas propiedades:

✧ **ÁREA (A):**

$$A = \pi(r_e^2 - r_i^2) = \pi\left(\left(\frac{d_e}{2}\right)^2 - \left(\frac{d_i}{2}\right)^2\right) = \frac{\pi}{4}(d_e^2 - d_i^2)$$

Donde:

A: Área de la sección transversal de un ejemplar de Guadua (Se expresa en Cm^2).

r_e y d_e : Radio externo promedio y Diámetro externo promedio de la muestra (Se expresa en cm).

r_i y d_i : Radio interno promedio y Diámetro interno promedio de la muestra (Se expresa en cm).

✧ **MOMENTO DE INERCIA (I).**

$$I = \frac{\pi}{64}((d_e)^4 - (d_i)^4)$$

Donde:

I: Momento de Inercia de la sección transversal de un ejemplar de Guadua (Se expresa en cm^4).

d_e : Diámetro externo promedio de la muestra (Se expresa en cm).

d_i : Diámetro interno promedio de la muestra (Se expresa en cm).

❖ **RADIO DE GIRO (r).**

$$r = \sqrt{\frac{I}{A}} = \sqrt{\frac{\pi(d_e^4 - d_i^4)/64}{\pi(d_e^2 - d_i^2)/4}} = \sqrt{\frac{(d_e^4 - d_i^4)}{16(d_e^2 - d_i^2)}}$$

Donde:

r: Radio de Giro de la sección transversal de un ejemplar de Guadua (Se expresa en cm).

d_e : Diámetro Externo promedio de la muestra (Se expresa en cm).

d_i : Diámetro Interno promedio de la muestra (Se expresa en cm).

❖ **RELACIÓN DE ESBELTEZ (λ).**

$$\lambda = \frac{L}{r}$$

Donde:

λ : Relación de Esbeltez de un ejemplar de Guadua (Factor Adimensional).

L: Altura promedio de la muestra (Se expresa en cm).

r : Radio de Giro de la sección transversal (Se expresa en cm).

Posterior a estos cálculos se aplicó la ecuación de Esfuerzo Normal:

$$\sigma_u = \frac{P_u}{A}$$

Donde:

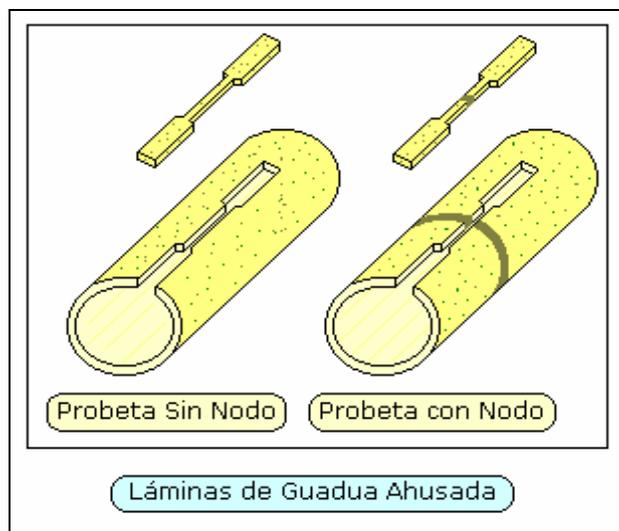
σ_u : Esfuerzo último (Kgr / Cm²).

P_u : Carga última (Kgr).

A: Área de la sección transversal de un ejemplar de Guadua (Se expresa en Cm²).

❖ **ENSAYO DE TRACCION.** La prueba a Tracción es uno de los ensayos de laboratorio más comunes para determinar las propiedades Mecánicas; sin embargo, para la Guadua no ha resultado tan sencillo, las diversas personas que se han encargado de estudiar este tipo de Esfuerzo se han preguntado acerca del comportamiento del tallo completo y se encontraban con cierta dificultad al tratar de sujetarlo para halar de él, sin que los efectos locales del mecanismo de sujeción lo dañarán; por ello, los registros y la documentación acerca de los ensayos de Tracción Paralela a la fibra es mínima, como consecuencia de esto se escoge realizar el ensayo con láminas de Guadua ahusadas (Ver Figura No. 21) con el objeto de facilitar el agarre de las probetas, según la recomendación de la INBAR STANDARD FOR DETERMINATION OF PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF BAMBOO (anexo A).

Figura 16. Tipo de probetas para el ensayo de Tracción Paralela a la Fibra.



Con el uso de esta clase de probetas se proporciona una adecuada zona de agarre y además se induce a que la falla ocurra hacia el centro de la probeta, donde las tracciones son más uniformes y más fáciles de calcular.

Cabe resaltar que la prueba de Tracción Paralela a la fibra de la Guadua es de vital importancia, ya que este ensayo, proporciona los resultados más verídicos en comparación con las otras propiedades Mecánicas; lo anterior se debe al molde de la probeta utilizada para este procedimiento, presenta dimensiones exactas, lo que no se ofrece en las probetas empleadas para efectuar las otras pruebas (Compresión Paralela, Flexión y Cortante), donde se supone que el área de la sección transversal es una corona, pero a simple vista se observa que la Guadua no es perfectamente circular; esta suposición aunque afecta en lo mínimo los resultados que se obtienen de esta serie de ensayos, no refleja valores, efectos y conclusiones tan reales como la prueba de Tracción Paralela.

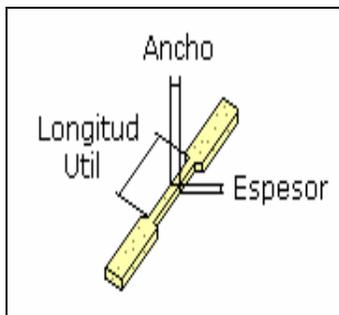
Del ensayo de Tracción Paralela a la fibra se obtienen datos para el cálculo de:

- ✧ **Esfuerzo en el Límite Proporcional (σ_{lp}):** Es la máxima resistencia de las fibras a Tracción paralela que una probeta de Guadua puede resistir sin deformarse de manera permanente; dicho valor se cita en kilogramos por centímetro cuadrado (Kgr / Cm²).
- ✧ **Esfuerzo Máximo ($\sigma_{m\acute{a}x}$):** Es la máxima resistencia de las fibras a Tracción Paralela; este parámetro se enuncia en kilogramos por centímetro cuadrado (Kgr / Cm²).
- ✧ **Módulo de Elasticidad (E):** Este parámetro representa la pendiente del diagrama Esfuerzo - Deformación en la región linealmente Elástica y su valor es una particularidad del material; se expresa en kilogramos por centímetro cuadrado (Kgr / Cm²).

3.6.4 CLASIFICACIÓN DE LAS PROBETAS. Con el objeto de analizar esta propiedad Mecánica de la Guadua (Tracción Paralela a la fibra) se cortaron en total 60 muestras clasificadas en probetas tipo A y probetas tipo B, cada uno de estos especímenes se bosqueja a continuación:

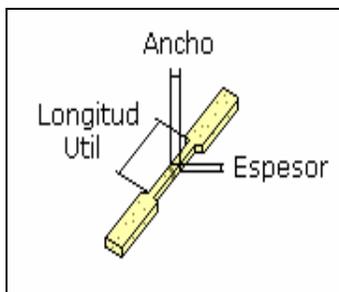
- ❖ **Probeta Tipo A.** Estas muestras de Guadua fueron cortados cada uno con una longitud de 20 centímetros, teniendo en cuenta que la probeta no estuviera compuesta por nodos (Ambos extremos abiertos). En total se obtuvieron 20 probetas con esta condición (10 para Basa y 10 para Cepa); de estos ejemplares con un cuidadoso y correcto corte, se extraen las láminas de Guadua ahusadas (Ver Figura No. 22).

Figura 17. Probeta tipo A para Tracción.



- ❖ **Probeta Tipo B.** Estas muestras de Guadua fueron cortados cada uno con una longitud de 20 centímetros, teniendo en cuenta que la probeta estuviera compuesta por un nodo (En la parte media de la muestra). En total se obtuvieron 20 probetas con esta condición (10 ejemplares de Basa y 10 de Cepa); con un meticuloso y adecuado corte, se moldean las láminas de Guadua ahusadas (Ver Figura No. 23).

Figura 18. Probeta tipo B para Tracción.



Además de estas 40 muestras de Guadua, se cortaron 20 especímenes más (10 de Basa y 10 de Cepa de acuerdo a los tipos de muestras ya mencionados) para efectuar las pruebas de pre-muestra en el laboratorio, con el objeto de observar el procedimiento de calibración en la Máquina, su funcionamiento, el sistema de sujeción para las probetas y las deformaciones esperadas en las mismas.

En total se obtuvieron 60 muestras clasificadas de acuerdo a la sección del tallo (Basa o Cepa) de la cual fueron extraídas; esta distribución se llevó a cabo con el objeto de obtener 30 especímenes de Basa y 30 de Cepa con los cuales se realizaron los procedimientos de Premuestra y Muestra respectivos.

Al igual que en Compresión, se utilizó una nomenclatura adicional, para diferenciar si pertenecía a Basa o Cepa

TBCN: Tracción Basa elaborada con Nodo Intermedio.

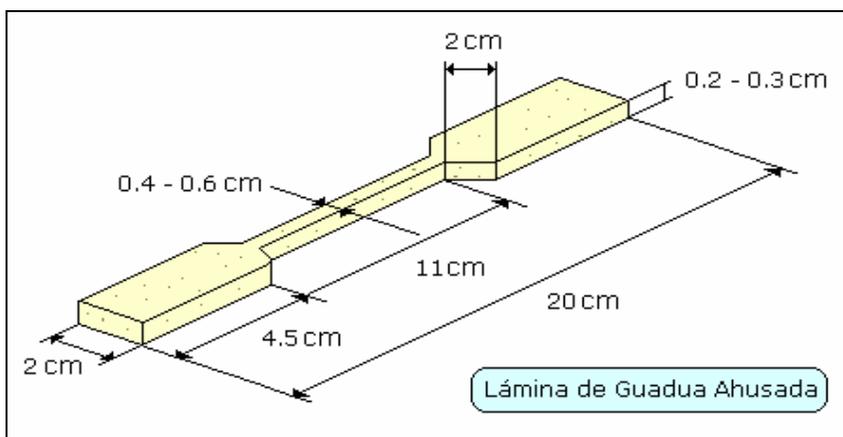
TBSN: Tracción Basa elaborada sin Nodo Intermedio (Abierta).

TCCN: Tracción Cepa elaborada con Nodo Intermedio.

TCSN: Tracción Cepa elaborada sin Nodo Intermedio (Abierta).

Las dimensiones de la probeta utilizada para el ensayo de Tracción Paralela a la fibra de la Guadua, se observan en la figura N 24; estas medidas se adoptaron con base en una detallada observación de los modelos recomendados en cada una de las normas consultadas.

Figura 19. Dimensiones de la probeta usada para el ensayo de Tracción Paralela a la Fibra de la Guadua.



Con el fin de establecer los valores de Esfuerzo en el Límite Proporcional, Esfuerzo máximo y Módulo de Elasticidad para esta propiedad, se corroboraron las siguientes dimensiones:

- ✧ Longitud Útil, Ancho y Espesor. Por cada dimensión se anotaron dos medidas, con el objeto de promediarlas y obtener un valor de longitud útil, ancho y espesor de la probeta; para esta tarea se utilizó un Calibrador “Pie de Rey” - Marca Mitutoyo, con una aproximación en la lectura de 0.02 milímetros.

3.6.5 MÁQUINAS Y EQUIPOS UTILIZADOS. Para realizar los cortes se utilizó la Colilladora - Marca PRO-TECH. Las pruebas de laboratorio se desarrollaron con la Máquina para Ensayos de Tracción ubicada en el salón en el Laboratorio de Resistencia de Materiales de la Escuela de Ingeniería Civil - Universidad Industrial de Santander, sus principales características son:

Fotografía 17. Máquina INSTRON para ensayos de Tracción.



Máquina para Ensayos de Tracción - Marca INSTRON: Máquina electrónica de alta sensibilidad. Es un equipo especial para pruebas de Tracción y otros ensayos derivados de este principio. Posee una capacidad máxima de carga de 1 Tonelada distribuida en cuatro diferentes escalas: De 0 - 100 kilogramos, 0 -200 kilogramos, 0 - 500 kilogramos y de 0 - 1000 kilogramos (1 tonelada). La velocidad de operación de esta máquina va desde 0.5 milímetros / minuto hasta 500 milímetros / minuto; para su uso, se requieren condiciones óptimas de trabajo: Temperatura promedio del laboratorio 20°C y Humedad específica 55% (Ver Fotografía No. 49). En esta máquina se realizaron los ensayos para determinar el Módulo de Elasticidad, utilizando la escala de 0 - 100 kilogramos para las probetas de Basa y Cepa con nodo intermedio y la escala de 0 - 1000 kilogramos para las probetas de Basa y Cepa sin nodo intermedio.

3.6.6 DETERMINACIÓN DEL MODELO DE ENSAYO. Para determinar el Módulo de Elasticidad y el Esfuerzo Máximo a Tracción Paralela a la fibra de la Guadua, se siguió el procedimiento del “Laboratory Manual on Testing Methods for Determination of Physical and Mechanical Properties of Bamboo” establecido por la norma INBAR (Anexo A). Las probetas se ensayaron en la Máquina para Ensayos de Tracción - Marca INSTRON (Ver fotografía N 50); las deformaciones en cada muestra de Guadua se obtuvieron del sistema directo de la máquina, el cual, sobre una hoja milimetrada construye un esquema de Carga v.s. Deformación como se observa en la parte derecha de la foto anterior.

Fotografía 18. Montaje de las probetas de Tracción.



3.6.7 CÁLCULOS PARA EL ENSAYO DE TRACCIÓN PARALELA A LA FIBRA DE LA GUADUA. Antes de llevar a cabo cualquier prueba en el laboratorio, se anotaron los datos correspondientes a la geometría de las muestras; con esta información, se determinaron los valores medios de ancho, espesor y longitud útil de cada una de las probetas de Guadua. Con base en estos datos, se estimó el área de la sección transversal de una lámina ahusada en su tramo útil; esta información se detalla en el Anexo H. A continuación se presentan la ecuación utilizada para el cálculo de esta propiedad:

❖ **ÁREA (A).**

$$A_{ST} = A \times B$$

Donde:

A_{ST} : Área de la sección transversal de una lámina de Guadua ahusada calculada en su tramo útil (Se expresa en Cm^2).

A: Ancho de la sección transversal de la lámina de Guadua ahusada en su tramo útil (Se expresa en Cm).

B: Espesor de la sección transversal de la lámina de Guadua ahusada en su tramo útil (Se expresa en Cm).

Posterior al cálculo de áreas se aplicó la ecuación de Esfuerzo Normal:

$$\sigma_u = \frac{P_u}{A_{ST}}$$

Donde:

σ_u : Esfuerzo último (Kgr / Cm^2).

P_u : Carga última (Kgr).

A_{ST} : Área de la sección transversal de una lámina de Guadua ahusada calculada en su tramo útil (Se expresa en Cm^2).

El Esfuerzo en el Límite Proporcional fue extraído a criterio del diseñador, basándose en el mayor coeficiente de correlación obtenido en la sección lineal de la gráfica.

3.6.8 ENSAYO DE CORTANTE. La norma internacional para el Bambú (INBAR), define el Esfuerzo Cortante Paralelo como:

$$\tau_m = \frac{V}{A}$$

V: Carga de cortante aplicada sobre la probeta (Kgr).
A: Área de la sección transversal.
 $\tau_{m\acute{a}x}$: Resistencia máxima al esfuerzo cortante kilogramos por centímetro cuadrado (Kgr / Cm^2).

Cuando el esfuerzo es generado por acción de fuerzas directas que buscan cortar el material, tales fuerzas representan el Cortante directo o corte simple; el Cortante se presenta

también de forma indirecta en miembros que trabajan a Tracción, Compresión, Flexión y Torsión; la distribución de esta fatiga sobre una sección, es mayor en el centro y se hace nula en los extremos.

En elementos constructivos el Esfuerzo por Corte o cizallamiento se presenta cuando las piezas están sometidas a Flexión (Corte por Flexión). Los análisis teóricos indican que en un punto dado los Esfuerzos de Corte son iguales tanto a lo largo como perpendicularmente al eje del elemento. Como la Guadua no es homogénea, sino que sus fibras se orientan por lo general con el eje longitudinal de la pieza, presenta distinta resistencia al corte en estas dos (2) direcciones. La menor resistencia es aquella paralela a las fibras y que proviene de la capacidad del cementante de las fibras (El cual es la Lignina) a este Esfuerzo. En forma Perpendicular la resistencia es de tres (3) o cuatro (4) veces mayor que en la dirección paralela³¹.

Del ensayo de Cortante Paralela a la fibra se obtienen datos para el cálculo de:

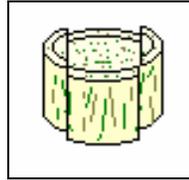
- ✧ **Esfuerzo Máximo ($\sigma_{m\acute{a}x}$):** Es la máxima resistencia de las fibras a Cortante Paralelo; este parámetro se expresa en kilogramos por centímetro cuadrado (Kgr / Cm²).

Es importante aclarar que las graficas diseñadas en los formatos del Anexo H, se muestran a manera de información, ya que estos no tienen ningún sentido ni Físico ni Matemático (Ver Figura No. 41).

3.6.9 CLASIFICACIÓN DE LAS PROBETAS. Con el objeto de analizar esta propiedad mecánica de la Guadua (Cortante Paralela a la fibra) se cortaron en total 60 muestras clasificadas en probetas tipo A y probetas tipo B, cada uno de estos especímenes se bosqueja a continuación:

¹³ MANUAL DE DISEÑO PARA MADERAS DEL GRUPO ANDINO. Editado por la Junta del Acuerdo de Cartagena. Lima – Perú, 1984.

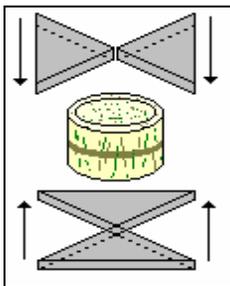
Figura 20. Probeta Tipo A.



- ✧ Probeta Tipo A. Estas muestras de Guadua fueron cortados cada una con una longitud de 20 centímetros, teniendo en cuenta que la probeta no estuviera compuesta por nodos (Ambos extremos abiertos). En total se obtuvieron 20 probetas con esta condición (10 ejemplares de Basa y 10 de Cepa), como se ve en la figura No. 25.

- ✧ Probeta Tipo B: Estas muestras de Guadua fueron cortados cada uno con una longitud de 20 centímetros, teniendo en cuenta que la probeta estuviera compuesta por un nodo (aproximadamente en la parte media de la muestra). En total se obtuvieron 20 probetas con esta condición (10 especímenes de Basa y 10 de Cepa, ver Figura No. 26).

Figura 21. Probeta tipo B.



Además de estas 40 muestras de Guadua, se cortaron 20 probetas más (10 ejemplares de Basa y 10 ejemplares de Cepa, de acuerdo a los tipo de muestras ya mencionados) para efectuar las premuestras de laboratorio, con el objeto de observar el sistema de aplicación de carga por medio de las patillas, las deformaciones esperadas en las mismas y para obtener los datos necesarios para hallar el N de las pruebas.

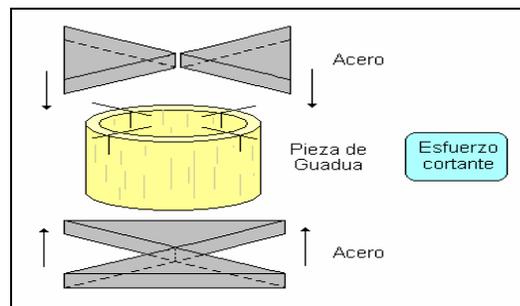
Se explica a continuación la nomenclatura empleada:

1. Cortante Cepa elaborada sin Nodo Intermedio o abierta: VCSN.
2. Cortante Basa elaborada sin Nodo Intermedio o abierta: VBSN.
3. Cortante Cepa elaborada con Nodo Intermedio: VCCN.
4. Cortante Basa elaborada con Nodo Intermedio: VBCN.

Lo anterior se hizo para analizar que tanto varía la resistencia en cada caso y cual es la más crítica. En el anexo H se explica el procedimiento de ensayo; para mas detalle respecto a fotografías del ensayo y sus probetas, ver Anexo B.

3.6.10 MÁQUINAS Y EQUIPOS UTILIZADOS. Para realizar las pruebas de laboratorio se empleó la Máquina Universal de Ensayos y se utilizó el montaje que se muestra en la Figura No. 27, en la cual se ubicaron dos pares de platinas en forma de cruz.

Figura 22. Posición de las platinas de cortante y de la Guadua.

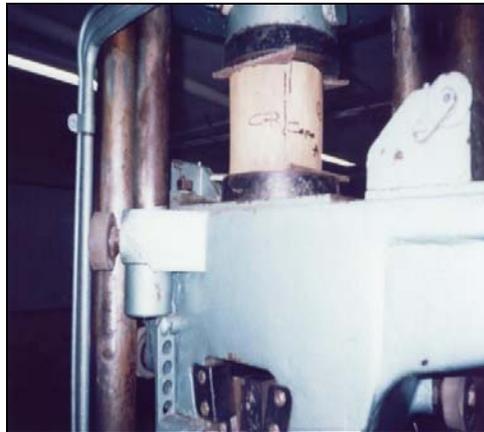


Fotografía 19. Posición de las platinas de cortante y de la Guadua.



3.6.11 DETERMINACIÓN DEL MODELO DE ENSAYO. Para determinar Esfuerzo Máximo a Cortante Paralela a la fibra de la Guadua, se siguió el procedimiento del “Laboratory Manual on Testing Methods for Determination of Physical and Mechanical Properties of Bamboo” establecido por la norma INBAR (Anexo A). Las probetas se ensayaron en la Máquina Universal de Ensayos - Marca TREBEL (Ver Fotografía No. 55).

Fotografía 20. Montaje de una probeta de cortante sin nodo intermedio después de ser fallada.



3.6.12 CALCULOS PRELIMINARES DEL ENSAYO DE CORTANTE. Es interesante observar el hecho que en la Guadua, la Resistencia del material ante este tipo de esfuerzos es la más baja comparado con las otras.

En el ensayo en forma Directa, el gran inconveniente es no poder hallar el Módulo de Rigidez en la prueba. Para hallar el Esfuerzo último se aplicó la ecuación explicada al inicio del ítem, en cada una de las condiciones desarrolladas.

En la investigación el equipo realizó las dos formas actuales de evaluar los valores de cortante, es decir en forma directa, ya explicado anteriormente y la manera indirecta, en otras palabras la obtenida como consecuencia de la prueba de Flexión.

A continuación se expone el complemento del estudio realizado a esta prueba, con lo cual se busca comparar los valores obtenidos en cada ensayo y corroborar ciertas ideas al respecto. Partiendo del hecho, de que en cualquier libro de Mecánica de Materiales el Esfuerzo Cortante es definido por la siguiente ecuación:

$$\tau_M = \frac{V * Q}{I * T}$$

Donde:

τ_M : Esfuerzo cortante Máximo (Kgr / Cm²).

V: Carga aplicada transversalmente al eje longitudinal de la viga (Kgr).

Q: Primer momento de inercia = (A) * (Y) (Cm³); para la Guadua este parámetro es precisado de la siguiente forma:

$$Q = \frac{1}{6} (d_e^3 - d_i^3)$$

I: Inercia de la sección (Cm⁴), para la Guadua este factor es fijado de la siguiente forma:

$$I = \frac{\Pi}{64} (d_e^4 - d_i^4)$$

$$t = 2 * (d_e - d_i)$$

t: Ancho de la sección donde actúa el cortante (Cm), para la Guadua es:

Reemplazando en la ecuación primaria, el valor del esfuerzo cortante en la Guadua puede ser expresado como:

$$\tau_M = \frac{4 * V}{3 * A} \left(\frac{d_e^2 + (d_e * d_i) + d_i^2}{d_e^2 + d_i^2} \right)$$

Donde:

d_e : Diámetro externo

d_i : Diámetro Interno

V: Carga transversal definida anteriormente.

A: área de la sección (Cm²), expresada como:

$$A = \frac{\Pi}{4} (d_e^2 - d_i^2)$$

Al reemplazar los datos pertinentes, se encuentran los valores solicitados para cada condición.

3.6.13 ENSAYO DE FLEXION. En el uso de la Guadua para la construcción, la resistencia a la Flexión es la propiedad Mecánica más importante. La diferencia entre la resistencia a la Tracción y a la Compresión Paralela resulta en un comportamiento característico de las vigas de Guadua sometidas a Flexión; como la resistencia a la Compresión Paralela es menor que la resistencia a la Tracción, la Guadua falla primero en la zona de Compresión, con ello, se incrementan las deformaciones en la zona comprimida, el eje neutro se desplaza hacia la zona de Tracción, lo que a su vez hace aumentar rápidamente las deformaciones totales; finalmente, la probeta falla por Tracción.

La Flexión se presenta en partes estructurales denominadas vigas y viguetas, las cuales pueden ser simples, empotradas y viga continua; las cargas que actúan sobre estos elementos estructurales se analizan de acuerdo con la duración de las mismas, como cargas estáticas, dinámicas, de impacto o choque y carga permanente; una viga constituye un elemento estructural que se somete a cargas que actúan transversalmente al eje longitudinal. Las cargas originan acciones internas o resultantes de Esfuerzo en forma de Fuerzas Cortantes y Momentos Flexionantes, éstos son función de la distancia x medida sobre el eje longitudinal.

Al realizar el análisis de la viga se debe tener en cuenta que los mayores Esfuerzos son los Normales (Es decir, los Esfuerzos Perpendiculares a la sección). Cada fibra de la viga está sometida a Tracción o a Compresión (Es decir, las fibras están en un estado de Esfuerzo Uniaxial), así los Esfuerzos Normales que actúan sobre la sección transversal, varían linealmente con la distancia Y , medida a partir de la superficie neutra; se debe tener en cuenta que los Esfuerzos Máximos se presentan en los puntos más alejados del eje neutro. En el caso de la Guadua esta condición sería igual a un radio exterior. Para calcular los Esfuerzos Máximos de flexión en una viga de Guadua se utiliza la siguiente ecuación:

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

Donde:

σ_N : Esfuerzo Normal Máximo.

M: Momento máximo (Kgr - Cm), dependiendo si la carga se aplica en los nodos o en los entrenodos.

y: Radio exterior (Cm).

I: Momento de inercia (Cm⁴).

Del ensayo de Flexión se obtienen datos:

- ✧ **Esfuerzo Máximo ($\sigma_{m\acute{a}x}$):** Es la máxima resistencia de las fibras a Flexión; este parámetro se expresa en kilogramos por centímetro cuadrado (Kgr / Cm²).

- ✧ **Módulo de Elasticidad (E):** Para este caso, el parámetro descrito hay que hallarlo en forma indirecta, por medio de un procedimiento Matemático que más adelante se describe. Su valor es una particularidad del material y se emite en kilogramos por centímetro cuadrado (Kgr / Cm²).

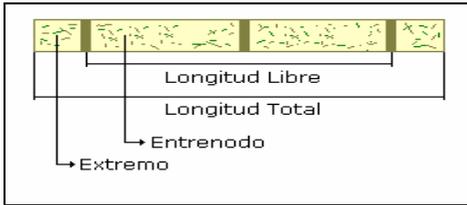
- ✧ **Módulo de Cortante (G):** Este factor es singular del material se denota en kilogramos por centímetro cuadrado (Kgr / Cm²).

Lo interesante de este ensayo, es que de la Gráfica el único valor que se puede extraer es el Esfuerzo Máximo, ya que tal animación se realiza con el objeto de mostrar el comportamiento del material ante la carga presentada, Inclusive lo que se hizo fue relacionar el Esfuerzo de Flexión contra la Deformación en centímetros.

3.6.14 CLASIFICACIÓN DE LAS PROBETAS. Con el objeto de analizar la propiedad, se cortaron en total 60 muestras clasificadas en probetas tipo A y probetas tipo B, cada uno de estas se bosqueja a continuación:

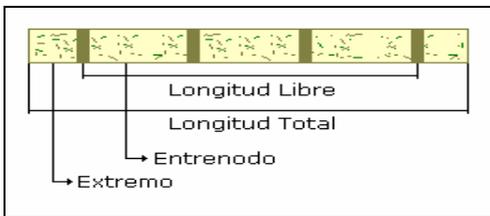
- ✧ **Probeta Tipo A.** Estas muestras de Guadua fueron cortados cada uno con una longitud de 100 centímetros aproximadamente, teniendo en cuenta que la probeta estuviese compuesta por 3 nodos (Carga aplicada en Entrenodos). En total se obtuvieron 20 probetas con esta condición (10 ejemplares de Basa y 10 de Cepa), Ver Figura No. 28.

Figura 23. Probeta tipo A para Flexión.



- ❖ **Probeta Tipo B.** Estas muestras de Guadua fueron cortados también con una longitud de 100 centímetros en forma aproximada, teniendo en cuenta que la probeta estuviera compuesta por 4 nodos (Carga aplicada en los Nodos). En total se obtuvieron 20 probetas con esta condición (10 ejemplares de Basa y 10 ejemplares de Cepa); Ver Figura No. 29.

Figura 24. Probeta tipo B para Flexión.



Además de estas 40 muestras de Guadua, se cortaron 20 especímenes más (10 probetas de Basa y 10 de Cepa) para efectuar las premuestras en el laboratorio, con el objeto de observar el procedimiento de calibración en la máquina, su funcionamiento, el montaje realizado para los puntos de apoyo y aplicación de las cargas y las deformaciones esperadas en las mismas.

En total se obtuvieron 60 muestras clasificadas de acuerdo a la sección del tallo (Basa o Cepa) de la cual fueron extraídas; esta distribución se llevó a cabo con el objeto de obtener 30 especímenes de Basa y 30 de Cepa con los cuales se realizaron los procedimientos de Premuestra y Muestra respectivos.

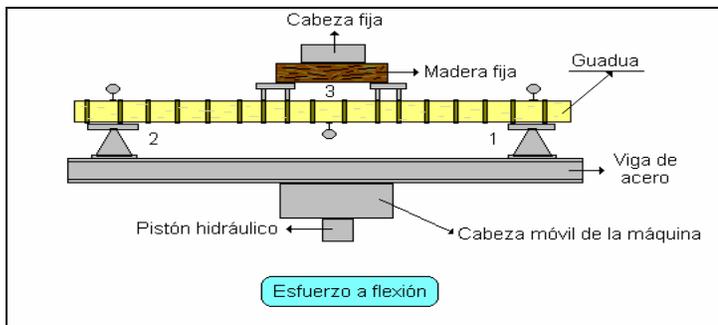
Al igual que en todos los ensayos, se utilizó una nomenclatura adicional, para diferenciar si pertenecía a Basa o a Cepa

1. Flexión Cepa con 3 Nodos Intermedio: FC3N.

2. Flexión Basa con 3 Nodos Intermedio: FB3N.
3. Flexión Cepa con 4 Nodos Intermedio: FC4N.
4. Flexión Basa con 4 Nodos Intermedio: FB4N.

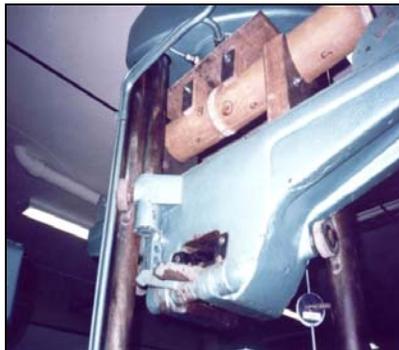
3.6.15 MÁQUINAS Y EQUIPOS UTILIZADOS. Para realizar las pruebas de laboratorio se utilizó la Máquina Universal de Ensayos ubicada en el Laboratorio de Resistencia de Materiales de la Escuela de Ingeniería Civil - Universidad Industrial de Santander, Se muestra el montaje empleado por medio de la Figura No. 30:

Figura 25. Montaje de Flexión.



3.6.16 DETERMINACIÓN DEL MODELO DE ENSAYO. Para determinar Esfuerzo Máximo a Cortante Paralela a la fibra de la Guadua, se siguió el procedimiento del “Laboratory Manual on Testing Methods for Determination of Physical and Mechanical Properties of Bamboo” establecido por la norma INBAR (Anexo A). Las probetas se ensayaron en la Máquina Universal de Ensayos - Marca TREBEL (Ver Fotografía No. 63).

Fotografía 21. Montaje realizado en la máquina Universal, probeta de Flexión.



Cabe la aclaración que la madera fija (mostrada en la figura N 30) fue reemplazada por una lámina de 2 cm. de espesor de Acero y que hubo necesidad de adaptar al mecanismo de prueba unos elementos semicirculares que sirvieron como apoyos y como puntos de aplicación de carga elaborados en SAPÁN y revestidos en platinas de acero, unidos mediante una varilla roscada de ½" pulgada de Diámetro y roscas de acero. En la fotografía anterior se alcanza a observar el detalle.

3.6.17 CALCULOS PRELIMINARES. Si un elemento está sometido a pares iguales y opuestos en el mismo plano longitudinal, se dice que está bajo el efecto de Flexión Pura y además el Momento producido por ese par se denomina MOMENTO FLECTOR. (Ver Mecánica de Materiales de Beer, capítulo 4); cuando se consultó la teoría relacionada con este ensayo, se encontró que para cualquier elemento sometido a este tipo de prueba, el fenómeno trabaja con la siguiente formulación:

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

Donde:

σ_N : Esfuerzo normal máximo.

M: Momento máximo (Kgr - Cm).

y: Radio exterior (Cm), igual al diámetro externo dividido entre 2.

I: Momento de inercia (Cm⁴).

Para el caso de la Guadua, esta relación se transforma en:

$$\sigma \text{ max} = \frac{32 * M * d_e}{\Pi * (d_e^4 - d_i^4)}$$

Otra forma de expresar el Esfuerzo en función del Área:

$$\sigma \text{ max} = \frac{8 * M * d_e}{A * (d_e^2 + d_i^2)}$$

Se nota entonces que la razón I/y depende sólo de la geometría de la sección; esta relación se denomina MODULO ELÁSTICO DE LA SECCIÓN:

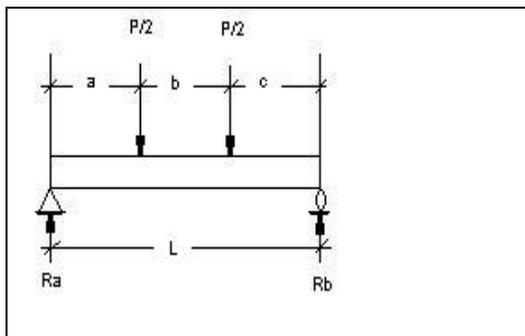
$$S = \frac{\Pi}{32 * DE} (d_e^4 - d_i^4)$$

$$S = \frac{A}{32 * DE} (d_e^2 + d_i^2)$$

Para algunos ensayos las distancias de aplicación de la carga en la luz libre de la probeta son diferentes a L/3 (Cargas aplicadas en los nodos), esto genera reacciones diferentes en los extremos y como consecuencia de esto los momentos producidos también son diferentes, por ello se escoge el valor máximo de momento y se calcula el esfuerzo para cada aplicación de carga hasta determinar el valor del esfuerzo último a flexión con base en la carga última soportada por la probeta; en el caso que las distancias de aplicación de la carga en la luz libre de la probeta son iguales a L/3 (Carga aplicada en los entrenodos), el valor del momento en la ecuación para determinar el esfuerzo es $M = PL/6$. Ya mostradas las ecuaciones que se utilizaron, se explicará el procedimiento Matemático utilizado para determinar los valores de Resistencias y los Módulos de Elasticidad y Rigidez, importantes al momento de diseñar cualquier estructura (independiente del material empleado).

Se observa en primer lugar, el modelo usado para hallar los momentos de diseño:

Figura 26. Modelo usado para hallar los momentos de diseño en el ensayo de Flexión.



El sistema es el de una viga simplemente apoyada con dos cargas aplicadas entre los apoyos (Aproximadamente a L/3 de los extremos), este se realiza así con el objeto de que los momentos entre los dos puntos de aplicación de las cargas sean aproximadamente uniformes y libres de Esfuerzo Cortante (ASTM D –198, Parágrafo 7.3.2, Nota 1).

Ahora, con respecto al dibujo: a, b y c son las distancias entre las dos Fuerzas aplicadas; Ra y Rb son las reacciones en los extremos, expresadas en función de las distancias como:

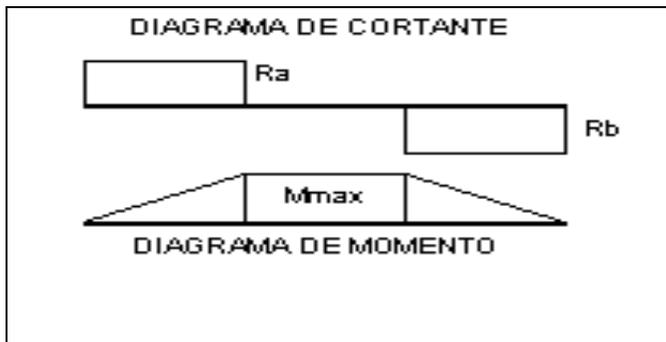
$$Ra = \frac{P}{2 * L} (b + 2 * c)$$

$$Rb = \frac{P}{2 * L} (b + 2 * a)$$

Si L: longitud total entre apoyos.

Los diagramas de Cortante y Momento Flector son:

Figura 27. Diagrama de cortante y momento en Flexión.



Es interesante el hecho de que en el ensayo se presentan 2 situaciones de análisis:

1. Cuando las cargas son aplicadas sobre los Entre Nudos: en esta condición las longitudes mencionadas antes (a, b y c) son iguales; esta es la mostrada en el gráfico.
2. Cuando las cargas son aplicadas sobre los nudos: en esta condición las distancias a, b y c son diferentes, lo cual lleva a que en el diagrama de Momento la línea del centro que se observa horizontal, esté inclinada en algún sentido; de antemano hay que verificar en cual de los dos puntos de aplicación es mayor el Momento y con ese se halla el Esfuerzo máximo a Flexión.

Después de calculadas los Momentos, se hallan los Esfuerzos y se grafican contra las Deformaciones, pero de esta curva no se puede extraer mucha información, es sólo para mostrar el comportamiento del material. De aquí en adelante, se presenta una situación interesante, ya que es necesario determinar el valor del MODULO DE ELASTICIDAD, sólo que este se halla por medios indirectos. Se explica el procedimiento empleado, el cual fue propuesto por el Ingeniero Civil Edwin Prieto en su tesis de Grado: Comportamiento De La Guadua Angustifolia Sometida A Flexión. UNAL Bogotá, 2.001 y corregido por los integrantes de esta investigación.

Se plantea en primer lugar que las Deflexiones totales se producen sólo por los efectos de Flexión, (ya que en este momento no se tiene el valor aportado por el Cortante).

Así pues aplicando el procedimiento de Diagrama Área Momento se expresan dichas variables en función de la geometría de la viga de la siguiente manera:

$$\Delta = \frac{1}{12E_F I} \left(Ra * a * (3aL - 4a^2 + 6(L/2 - a)^2) + Rb * c * (3cL - 4c^2 + 6(L/2 - a)^2) \right)$$

Donde

Ra y Rb : reacciones en el extremos de la viga (Kgr).

a, b y c: distancias respectivas a los puntos de aplicación de carga (Cm).

I: Inercia de la viga (Cm⁴).

L: longitud total de la viga (Cm) L = a + b + c.

E_F: Modulo de Elasticidad Aparente (Kgr / Cm²).

Pero esta relación se puede simplificar así:

$$\Delta = \frac{\alpha}{E_F} \quad (**)$$

Donde el nuevo parámetro α se define como:

$$\alpha = \frac{1}{12 * I} \left(Ra * a * (3aL - 4a^2 + 6(L/2 - a)^2) + Rb * c * (3cL - 4c^2 + 6(L/2 - a)^2) \right)$$

Si se observa con cuidado, el factor alfa está en función de la Geometría de la viga (Inercia), de la posición o distancia de las cargas a los extremos y principalmente de las fuerzas aplicadas sobre el elemento las cuales producen las reacciones Ra y Rb. Las magnitudes de delta son las tomadas en el ensayo en forma directa cuando se leyó el Deformímetro del punto medio de la viga, es decir la Deformación de L/2.

También algo importante para resaltar, es que la ecuación (**) mostrada con anterioridad, se puede expresar como:

$$E_F * \Delta = \alpha$$

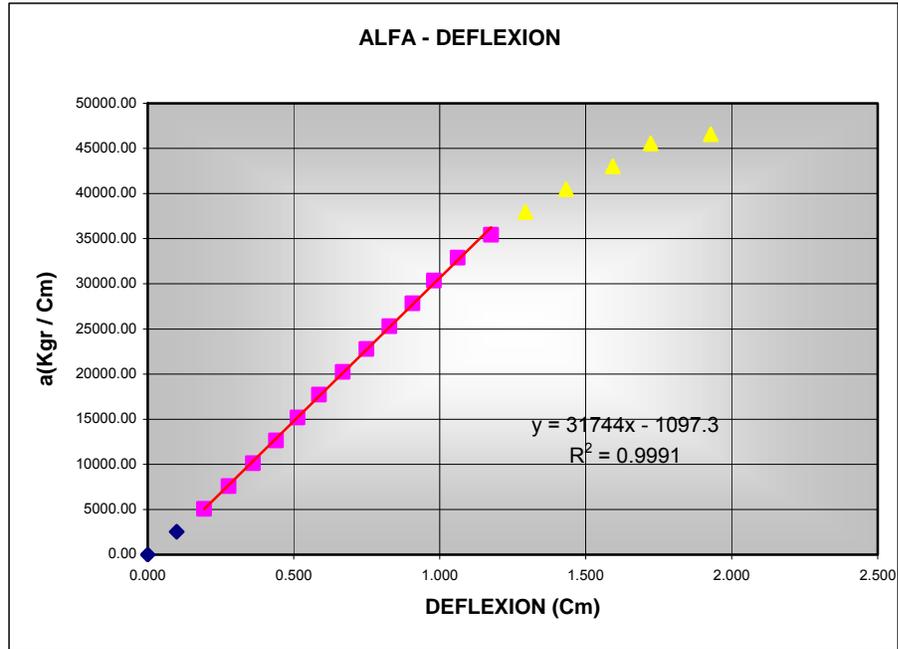
La cual sigue la Ley de Hooke, es decir está dentro del rango elástico.

Se ve entonces que es posible graficarla y que posee una relación lineal por debajo del Límite Proporcional, el cual se establece en forma subjetiva a criterio del diseñador, analizando la nube de puntos y determinando por medio de una regresión la ecuación en cada caso.

La pendiente de dicha recta, es el MODULO DE ELASTICIDAD APARENTE, y se denomina Aparente por que asume que las deformaciones totales son únicamente producidas por Flexión, sin contrarrestar el aporte real del cortante. Tal vez algo importante y que no se quiere dejar de mencionar es el análisis en las unidades: σ se expresa en Kgr / Cm y Δ en Cm, lo cual conlleva a que E_F se exprese en Kgr / Cm².

Para que lo anterior quede claro, se muestra un ejemplo de lo explicado: esta es una viga en la que las cargas son aplicadas en los entre nodos y cuyos valores de Módulo de Elasticidad Aparente se representan por medio de la Figura No. 33.

Gráfica 1. Módulo de elasticidad aparente en Flexión.



$Y = 31744 X - 1097.3$ con un Factor $R^2 = 0.9991$

Para establecer las Módulo de Elasticidad Real, se hace necesario incluir el efecto de las Deformaciones por cortante. Para lo anterior, se utiliza el procedimiento matemático de la Carga Virtual en donde se establecen dos modelos:

REAL: El mismo que se ha venido trabajando de las dos carga a distancias a, b y c de los extremos, produciendo Momentos y Cortantes reales (M_r y V_r .)

VIRTUAL: Una viga con la misma longitud de la real, pero sólo que aplicando una carga virtual de magnitud uno (1), en todo el centro de la luz ($L/2$), arrojando Momentos y Cortantes virtuales (M_v y V_v), es ubicada en el centro por que es allí donde se desea calcular la deformación.

Figura 28. Sistema utilizado para la carga real.

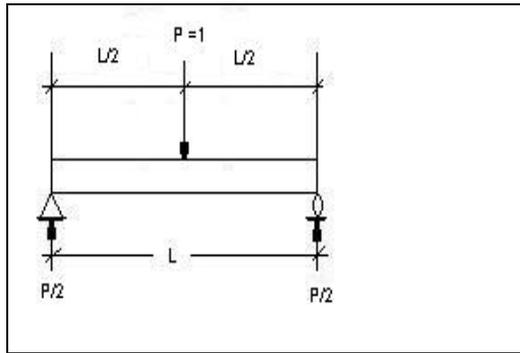
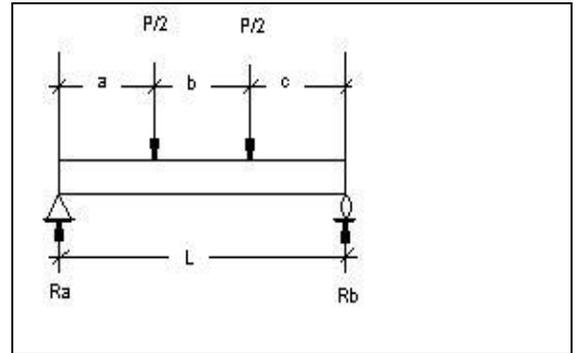


Figura 29. Sistema utilizado para la carga virtual.



Con estas dos situaciones, el procedimiento lleva a la siguiente formulación:

$$\Delta_r = \int \frac{Mr * Mv}{E * I} dx + \int \frac{Vr * Vv}{G * (K' * A)} dx$$

Donde:

E: Módulo de Elasticidad Real (Kgr / Cm²).

I: Inercia (Cm⁴).

G: Módulo de Cortante (Kgr / Cm²).

K': Es el factor de forma de la sección circular hueca, su valor es de 1/2 (Adimensional).

A: Área de la sección transversal (Cm²)

Al desarrollar dicha relación, se llega a las siguientes ecuaciones:

$$\Delta_F = \frac{1}{96EI} \left(Ra * (24Lc^2 - 2L^3 - 16c^3) + P * (L^3 + 4b^3 + 16c^3 - 4a^3) - PL * (12b^2 + 24c^2 + 6aL) \right) + P * (12ab^2 - 12bc^2 - 24ac^2) + 24PL * (2ac + bc - ab)$$

$$\Delta_C = \frac{1}{4AK'G} (2Ra * (L - c) + P * (a + 2c - (L + b)))$$

Otra forma de expresar lo anterior es:

$$\Delta_F = \frac{1}{96EI} [B]$$

$$\Delta_C = \frac{1}{4AK'G} [C]$$

Donde:

Δ_F : Deformación por Flexión (Cm).

Δ_C : Deformación por Cortante (Cm).

$$[B] = ABS \cdot \left(\begin{aligned} &Ra * (24Lc^2 - 2L^3 - 16c^3) + P * (L^3 + 4b^3 + 16c^3 - 4a^3) - PL * (12b^2 + 24c^2 + 6aL) \\ &+ P * (12ab^2 - 12bc^2 - 24ac^2) + 24PL * (2ac + bc - ab) \end{aligned} \right)$$

$$[C] = ABS \cdot (2Ra * (L - c) + P * (a + 2c - (L + b)))$$

Como se ve, es necesario de antemano determinar el Módulo de Cortante o Rigidez.

Por eso se sigue el procedimiento recomendado por la ASTM en su título D 1.998, en el cual se halla dicha variable para elementos de madera en forma de sección rectangular; aplicando las correcciones pertinentes para elementos huecos y circulares, se emplea para encontrar la respectiva magnitud.

Como se dijo con anterioridad, las deformaciones totales están compuestas de una componente debida a la Flexión y otra aportada por el Cortante, con base en esta idea, se propone lo siguiente:

Partiendo de la ecuación fundamental:

$$\Delta_{TOTAL} = \Delta_F + \Delta_C$$

Con frecuencia la relación entre las Deflexiones y las constantes Elásticas son simplificadas por ignorar la contribución de Cortante, en otras palabras el segundo término no se considera. Con esto, la constante restante es llamada APARENTE con su respectivo Módulo de Elasticidad (Aparente), expresada de la siguiente manera:

$$\Delta_{TOTAL} = \frac{1}{96E_F I} [B]$$

En la misma ecuación, el Módulo de Elasticidad Aparente puede ser expresado en términos de Las constantes Elásticas verdaderas:

$$\frac{1}{96E_F I} [B] = \frac{1}{96EI} [B] + \frac{1}{4AK'G} [C]$$

Para el caso que se está analizando, sección circular hueca, Diámetros externos e internos, la expresión queda reducida a:

$$\frac{1}{E_F} = \frac{1}{E} + \frac{3 * L^2 * [C]}{G * [B]} * \frac{(DE^2 + DI^2)}{L^2}$$

La ecuación anterior puede ser sustituida por:

$$Y = \frac{1}{E_F}$$

$$M = \frac{3 * L^2 * [C]}{G * [B]}$$

$$X = \frac{(DE^2 + DI^2)}{L^2}$$

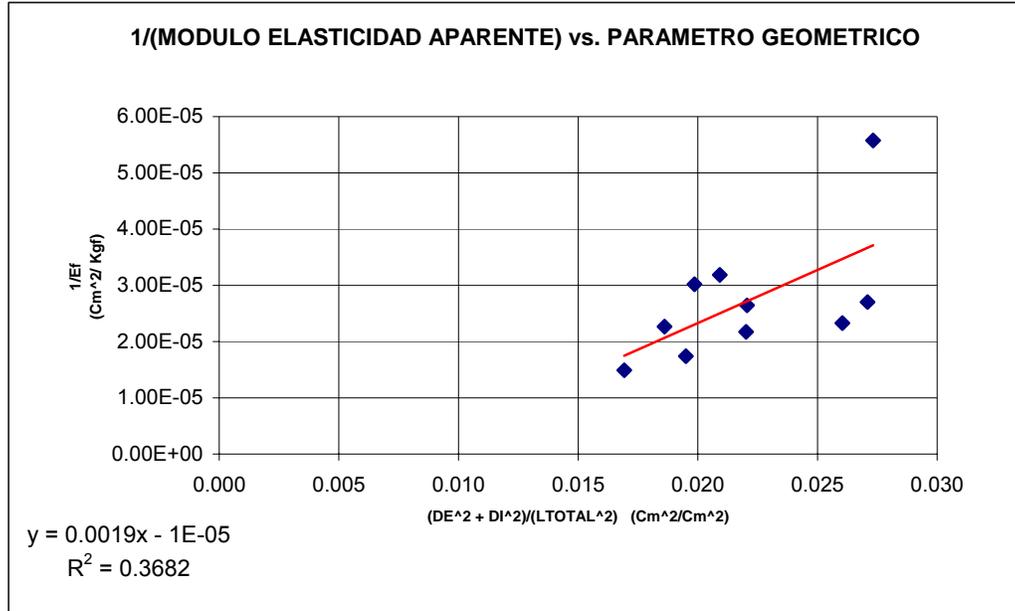
Al graficar Y vs. X con las variables anteriores, la pendiente resultante M (que se llamará K) será introducida en la segunda ecuación anterior, con lo cual se despeja el Módulo de cortante para cada probeta:

$$G = \frac{3 * L^2 * [C]}{K * [B]}$$

Se muestra una de las graficas obtenidas, cuya ecuación $Y = 0.0019x - 16.05$

Proporciona una pendiente $K = 0.0019$:

Gráfica 2. (1/Ef.) Vs. Parámetro Geométrico



Después de establecer la magnitud del Módulo de Cortante, se procede a obtener las Deformaciones producidas por el Cortante:

$$\Delta_C = \frac{[C]}{4 * A * 0.5 * G}$$

Al establecer dichas deformaciones, se restan de las totales, en otras palabras se restan de las reales para así obtener las Deformaciones producidas por el efecto de Flexión:

$$\Delta_{TOTAL} - \Delta_C = \Delta_F$$

Al hallar las deformaciones producidas por Flexión, restando las de Cortante, se procede a graficar de nuevo:

$$E_{REAL} * \Delta_{FLEXION} = \alpha$$

Donde:

Y = Factor Alfa, hallado ya con anterioridad.

Δ_F = Delta Flexión (Cm).

E_{real} = Módulo de Elasticidad Real (Kgr /Cm²).

Este E es el real, ya que en definitiva sólo tiene en cuenta las Deformaciones producidas por Flexión, descontando las producidas por Cortante. Algo importante por resaltar de este ensayo, es que se pueden analizar otras condiciones con la misma prueba, como son:

◇ EL ESFUERZO DE CORTANTE TRANSVERSAL O INDIRECTO: El cual se trabaja con la ecuación:

$$\tau_M = \frac{V * Q}{I * T}$$

Donde:

τ_M : Esfuerzo cortante Máximo (Kgr / Cm²).

V: Carga aplicada transversal al eje longitudinal de la viga (Kgr).

Q: Primer momento de inercia (Cm³).

Del ensayo de Cortante Perpendicular se obtienen datos como:

◇ **Esfuerzo Máximo ($\sigma_{\text{máx}}$):** Es la máxima resistencia de las fibras a Cortante Transversal; este parámetro se expresa en kilogramos por centímetro cuadrado (Kg/cm²).

En cuanto a la nomenclatura empleada y el procedimiento utilizado, es el mismo que se trabajó para el Ensayo de Flexión.

◇ EL ESFUERZO DE COMPRESION PERPENDICULAR: se define como:

$$\sigma = \frac{P}{A}$$

Donde:

P: Carga aplicada (Kgr).

A: Área de contacto o apoyo (Cm^2), para el caso en cuestión es un dispositivo de área semicircular.

El Manual de Maderas del Grupo Andino recomienda que no se deba utilizar sistemas de apoyo que introduzcan tracciones en la dirección perpendicular a las fibras.

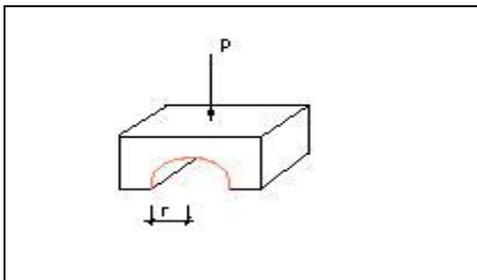
Del ensayo de Compresión Perpendicular se obtienen datos como:

- ✧ **Esfuerzo Máximo ($\sigma_{\text{máx}}$):** Es la máxima resistencia que puede soportar el material al fenómeno, se denota en kilogramos por centímetro cuadrado (Kgr / Cm^2).

En cuanto a la nomenclatura empleada y el procedimiento usado, es el mismo que se trabajó para el Ensayo de Flexión.

Para su determinación se aplicó la ecuación descrita al inicio de la página modificando su denominador. Se muestra a continuación el elemento de contacto con la Guadua, empleado para realizar la prueba:

Figura 30. Modelo de aplicación de carga para Compresión Perpendicular.



La semicircunferencia mostrada posee un radio de 5 cm, ya que este se seleccionó para efectuar el ensayo tratando de obtener el mayor agarre con la probeta de Guadua. Al ser modificada la fórmula, esta puede ser expresada para la Guadua de la siguiente manera:

$$\sigma_c = \frac{2 * P}{\pi * r^2}$$

Donde:

P: Carga Última de la prueba de flexión en Kgr.

r : radio de la semicircunferencia, el cual se utilizó de 5 cm.

Con esto culmina la etapa teórica de cada ensayo, y se procede a mostrar los resultados y los análisis pertinentes.

4. PRESENTACION Y ANALISIS DE RESULTADOS.

4.1 PROPIEDADES DEL SUELO

4.1.1 PROPIEDADES QUIMICAS DEL SUELO.

Tabla 5. Resultados de análisis químicos del suelo.

ENSAYO	SUELO ANALIZADO	VALOR TEORICO
PH	4.8	5.5 – 6.0
C %	0.65	-----
P ppm	5	20 – 30
Ca me/100mg	0.72	5
Mg me/100mg	0.18	1.84
K me/100mg	0.06	0.6
Na me/100mg	0.11	0.21 – 0.27
AL me/100mg	3.5	-----
B ppm	0.18	0.15 – 0.2
Fe ppm	153.4	280 – 300
Mn ppm	1.02	30 – 35
Cu ppm	0.59	1 – 5
Zn ppm	0.36	8 – 10
ARENAS TOTALES %	74	-----
LIMOS, %	14	-----
ARCILLAS, %	12	-----
TEXTURA	FCO-ARENOSO	FCO-ARENOSO

Como se puede observar, las características Químicas del suelo de la Finca, distan bastante de las ideales descritas en la Bibliografía consultada (Giraldo Y Sabogal), reforzando la idea de que esta es una zona, cuyas características en la actualidad No son las óptimas para el cultivo de Guadua; sin embargo, estos parámetros se pueden mejorar.

Como ya se dijo antes, en Santander la mayoría de suelos son ácidos, y no poseen muchas de las condiciones con las que cuenta el eje cafetero, esto probablemente repercuta en resistencias más bajas comparadas con las de esa zona del país.

Para confirmar lo anterior, se realizó una comparación de valores de resistencia con pruebas desarrolladas allí encontradas en la Bibliografía consultada, esta comparación se puede analizar en el ítem N 5.5 y siguientes. Se muestra a continuación el informe dado por el Departamento de Suelos Del Ministerio de Agricultura:

4.1.2 RESULTADOS:

- ✧ La reacción del Suelo es muy fuertemente Ácida (PH = 4.8) y el porcentaje de saturación de Aluminio es de 77%
- ✧ El contenido de materia orgánica es bajo.
- ✧ El contenido de Nitrógeno Total es bajo.
- ✧ El nivel de Calcio, Magnesio, Potasio, Boro, Manganeso, Cobre, Zinc, es bajo.
- ✧ El nivel de Hierro es alto.
- ✧ El nivel de Sodio es normal.
- ✧ La textura es adecuada.

4.1.3 RECOMENDACIONES:

- ✧ CAL DOLOMITICA (CARBONATO DE CALCIO Y MAGNESIO): Aplicar 1000 Kg. por Hectárea, incorporada ala suelo.
- ✧
- ✧ ABONO ORGANICO (ESTIERCOL BIEN DESCOMPUESTO): 15 días después de incorporada la cal, aplicar 2200 Kg. por hectárea.
- ✧

- ✧ ABONO 18 – 18 – 18: 30 DIAS de la incorporación de la cal, aplicar 220 Kg. por hectárea. 6 meses después aplicar 250 Kg. por hectárea
- ✧
- ✧ CUBOZINC: 30 días después de incorporada la cal, aplicar 22 Kg. por hectárea.
- ✧
- ✧ SULFATO DE MANGANESO 28 %: 30 días después de incorporada la cal, aplicar 11 Kg. por hectárea.

Los abonos se aplican sobre suelo húmedo.

Dentro de 13 meses se recomienda efectuar un nuevo análisis de suelos completo.

4.2 PROPIEDADES FISICAS DEL SUELO.

El color del suelo de la Finca es Negro, característico de lugares donde se siembra Guadua. La zona de la finca donde se encuentra el cultivo posee un buen drenaje.

4.2.1 ENSAYO DE GRANULOMETRIA:

Se hace con el objeto de definir la distribución de granos que conforman un suelo, entre mejor gradado esté, mayor aceptación en Ingeniería tiene.

Según lo obtenido, la muestra se clasifica como una arena, ya que un 96.37 % de su composición se encuentra encasillada en esta región dentro de la gráfica y sólo un 3.63 % son finos.

Consultando en la Bibliografía³² se encontró lo siguiente:

Para suelos con contenido de Arenas > Gravas, Finos < 50%, y además que ese % de Finos sea < 5%, la clasificación es ARENOSO. Ahora que su Coeficiente de Uniformidad

32. Arango Antonio. Manual De Laboratorio De Mecánica De Suelos. Universidad Nacional De Medellín. Facultad De Ingeniería De Minas. Medellín.

(Cu) sea < 6 y su Coeficiente de Contracción (Cc) se encuentre dentro del rango de 1 a 3 por encima o por debajo, su clasificación es de MAL GRADADO. Esta clasificación es la del SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACION (UCS). Por lo anterior el suelo de la Finca BARINAS, desde el punto de vista Físico Granulométrico queda clasificado como ARENOSO MAL GRADADO (SP). Confirmando la clasificación determinada en el ensayo Químico del suelo, que arrojó un suelo Franco arenoso.

4.2.2 LIMITE LÍQUIDO (LL):

Este ensayo, es realizado para determinar el valor en el cual, el contenido de humedad en una muestra dada pasa de un estado líquido a un estado plástico.

Este resultado ayuda a clasificar el suelo, cuando el porcentaje de finos es significativo y sirve para determinar ciertos parámetro como el índice de plasticidad y el índice de compresión muy utilizados en los análisis para el estudio de cimentaciones.

En este caso se halló para apoyar la clasificación del suelo. El Límite Líquido es la humedad en la cual se dan 25 golpes a la cazuela; para este caso el resultado hallado es 30.25%.

4.2.3 LIMITE PLASTICO (LP):

El resultado de esta prueba, determina la diferencia entre el estado plástico y el estado semisólido. El Límite plástico se calcula como el promedio de los contenidos de humedad.

Para este caso $LP = 18.471\%$.

Ahora se calcula el índice plástico como: $IP = LL - LP$

El índice plástico = $30.25 - 18.471 = 11.51\%$.

4.2.4 LIMITE DE CONTRACCION (LC):

Se define, como el punto en que una muestra pasa del estado sólido a semisólido o viceversa. El valor para este caso fue de: $LC = 27.5 \%$

4.2.5 GRAVEDAD ESPECÍFICA:

Su uso es limitado en Ingeniería, ya que la mayoría de suelos poseen rangos muy parecidos de esta característica.

Se aclara que la constante de Gravedad Específica del Agua (GT) a temperaturas diferentes³³, se tomó como $GT = 0.9968$ a 26 grados Centígrados, dando como resultado una Gravedad Específica media (G_s media) = 2,4825.

4.2.6 COMPACTACION:

Se define como el grado de humedad óptimo, en el cual un suelo es sometido a fuerzas de impacto o amasado, con el fin de aumentar su capacidad de resistencia cuando le sea solicitado. En este caso, se realizó la prueba con el objeto de determinar el valor en caso de una posible construcción de una pequeña edificación, por parte del dueño de la Finca (Se recomienda volverlo a desarrollar al momento del diseño). El valor aproximado de humedad óptima fue de 6.5% para una Densidad Seca de $1.98 \text{ Grs} / \text{Cm}^3$.

Ahora bien, los ensayos Físicos del suelo, fueron un apoyo para reforzar ciertas dudas del ensayo Químico, confirmando el concepto emitido por el LABORATORIO DEL MINISTERIO DE AGRICULTURA.

Con esto se cumple el segundo Objetivo de este proyecto:

Determinar las propiedades Químicas y Físicas del suelo de cultivo en el Guadual de la zona de estudio y compararlo con las apropiadas para el cultivo de la Guadua proponiendo alternativas para su mejoramiento, para mas detalles ver Anexo F.

33 Arango Antonio. Manual De Laboratorio De Mecánica De Suelos. Universidad Nacional De Medellín. Facultad De Ingeniería De Minas. Medellín, página 14 Referencia 21.

4.3 PROPIEDADES FISICAS DE LA GUADUA.

4.3.1 HUMEDAD.

Según el estado en que se encuentre el material, su resistencia variará. La madera pierde resistencia a medida que aumenta su contenido de humedad³⁴.

Comercialmente Se trabajan 3 tipos de Humedad en la madera: En estado verde, en estado seco al aire y en estado anhidro.

Cabe resaltar que cuando la Guadua se emplea como elemento estructural, el CH debe ser menor al 25%, si se tiene en cuenta que el CH máximo permisible es del 30%. Se realizaron dos tipos de pruebas para establecer en diferentes condiciones la Humedad en la Guadua.

En primer lugar se describen las magnitudes de la diferencia de pesos en condición inicial verde y final anhidra, llamada: contenido de Humedad Verde – Anhidra:

CHCN: Cepa con nodo intermedio: 74.547%.

CHBN: Basa con nodo intermedio: 59.780%.

CHCA: Cepa Abierta: 74.192%.

CHBA: Basa Abierta: 51.366%.

Se observa que en la sección Cepa, existe mayor contenido de Humedad tanto con Nodo como Abierta; siendo lógico, ya que es esta la parte de la planta más cerca la suelo y por tanto es la mas afectada por los cambios de Humedad, además por poseer diámetros mayores, tiene mayor capacidad de almacenamiento ya que los espacios entre sus células (vacíos) son de mayor tamaño que en la sección Basal.

Los valores de interés son los relacionados con el contenido de humedad Seca al aire - Anhidra, los cuales arrojan lo siguientes:

34. NORMA SISMO RESISTENTE DE 1998, CAPITULO G NUMERAL G.2.2.2.2.

CHCN: Cepa con nodo intermedio: 24.716%.

CHBN: Basa con nodo intermedio: 20.456%.

CHCA: Cepa Abierta: 25.711%.

CHBA: Basa Abierta: 22.197%.

En esta situación se observa el mismo comportamiento descrito anteriormente.

En el Anexo G, se encuentran las tablas respectivas, allí se muestran los resultados de las pruebas hechas al material.

4.3.2 DENSIDAD. Dentro de la NORMA SISMORESISTENTE DE 1998 en su capítulo G numeral G.1.3.4. se clasifican las maderas según su resistencia en tres grandes grupos:

GRUPO A: maderas con Densidad Básica superior a $710 \text{ Kgr} / \text{m}^3$.

GRUPO B: maderas con Densidad Básica entre 560 y $700 \text{ Kgr} / \text{m}^3$.

GRUPO C: maderas con Densidad Básica entre 400 y $550 \text{ Kgr} / \text{m}^3$.

Según lo anterior, si la Guadua se trabajase como una madera, estará clasificada dentro del GRUPO:

DC: sección Cepa: $540 \text{ Kgr} / \text{m}^3$ Grupo C.

DB: sección Basa: $627 \text{ Kgr} / \text{m}^3$ Grupo B.

Estos valores se muestran en las tablas respectivas del Anexo G.

Según los valores encontrados en la Bibliografía, la Densidad Básica en las Guaduas del eje cafetero se encuentran en valores que oscilan entre 625 y $789 \text{ Kgr} / \text{m}^3$, observándose que las trabajadas en la UIS están por debajo. Esto puede verse reflejado directamente en las resistencias ya que al tener menor Densidad, las resistencias serán menores; con lo anterior es probable también que la Basa obtenga mayores valores de resistencia que las Cepas.

Otras condiciones que se desarrollaron fueron

Densidad Verde:

DC: sección Cepa: 936 Kgr / m³

DB: sección Basa: 947 Kgr / m³

Densidad Seca al aire:

DC: sección Cepa: 816 Kgr / m³

DB: sección Basa: 857 Kgr / m³

Densidad Anhidra:

DC: sección Cepa: 655 Kgr / m³

DB: sección Basa: 709 Kgr / m³

Se puede observar que en todas las condiciones la sección Basa es más Densa que la Cepa, además la Densidad anhidra es la menor numéricamente de las tres condiciones analizadas.

4.4 PROPIEDADES MECANICAS DE LA GUADUA.

4.4.1 COMPRESIÓN PARALELA. Siguiendo las recomendaciones de la Norma INBAR, para cada Prueba se determina una condición que representa el Esfuerzo del fenómeno; además del criterio anterior, se optó por elegir la situación que posea menor valor numérico, esto por razones de seguridad como el hecho del cultivo no estar tecnificado, de no ser un material homogéneo y por ser la Guadua un material Isotrópico. Es por eso que de aquí en adelante se habla acerca del: VALOR OFICIAL, el cual es el representativo en cada ensayo.

En Compresión, las pruebas oficiales sobre la Guadua son las de la condición abierta por los dos lados: CEPA: 393.785 Kgr / Cm² y BASA: 506.019 Kgr / Cm², de las dos magnitudes la cifra Pública en esta investigación es la de menor valor numérico, es decir CEPA: 393.785 Kgr / Cm².

Se tomó el valor representativo del Esfuerzo en el Límite Proporcional como la magnitud correspondiente de LP en la condición Cepa Abierta, con un valor medio de 313.520 Kgr / Cm² (ver Tabla No. 13).

A cada condición se le halló la media, la Desviación Estándar y el coeficiente de variación, el cual entre más cercano acero refleja mejor confiabilidad de los resultados. Respecto de los valores anteriores, se observa que la sección Cepa posee menor resistencia que la Basa, esto puede explicarse con base en el hecho de las Densidades. Entre menor Densidad posee una madera, menor será su resistencia.

Referente al Módulo de Elasticidad, este es característico de todo el material independiente de la zona de la planta y su valor fue calculado en 79421.649 Kgr / Cm².

También se analizará el aspecto relacionado con las fallas, a continuación se hará una pequeña descripción al respecto.

- ✧ TIPOS DE FALLAS. El análisis del comportamiento de las diferentes muestras ensayadas, depende principalmente del tipo de falla que se presenta en éstas, bajo sollicitaciones de carga a Compresión Paralela a la fibra. Este tipo de identificación en los ejemplares examinados, permite llevar a cabo una clasificación de las fallas presentes, sin entrar en detalle respecto a relaciones de una u otra variable, ya que no era el objetivo de la prueba. En cada formato de experimento se muestra la forma de cómo el espécimen quedó al final del ensayo. A continuación se establecen y explican las fallas representativas bajo este tipo de carga:
 - ✧ Falla por Aplastamiento: Esta falla es típica de probetas Abiertas (Sin nodos), se presenta cuando el espécimen de Guadua (Basa o Cepa) se fisura a lo largo de su eje longitudinal.
 - ✧ Falla por Corte Perpendicular a la fibra y Aplastamiento: Esta falla es característica de las probetas con nodos, se manifiesta cuando el espécimen de Guadua (Basa o Cepa) se fisura Perpendicularmente a sus fibras en la proximidad de cualquier nodo e inmediatamente después se generan rajaduras a lo largo de su eje longitudinal. En la Foto No. 47 se indica esta clase de falla.

Fotografía 22. Probetas de compresión tapadas.



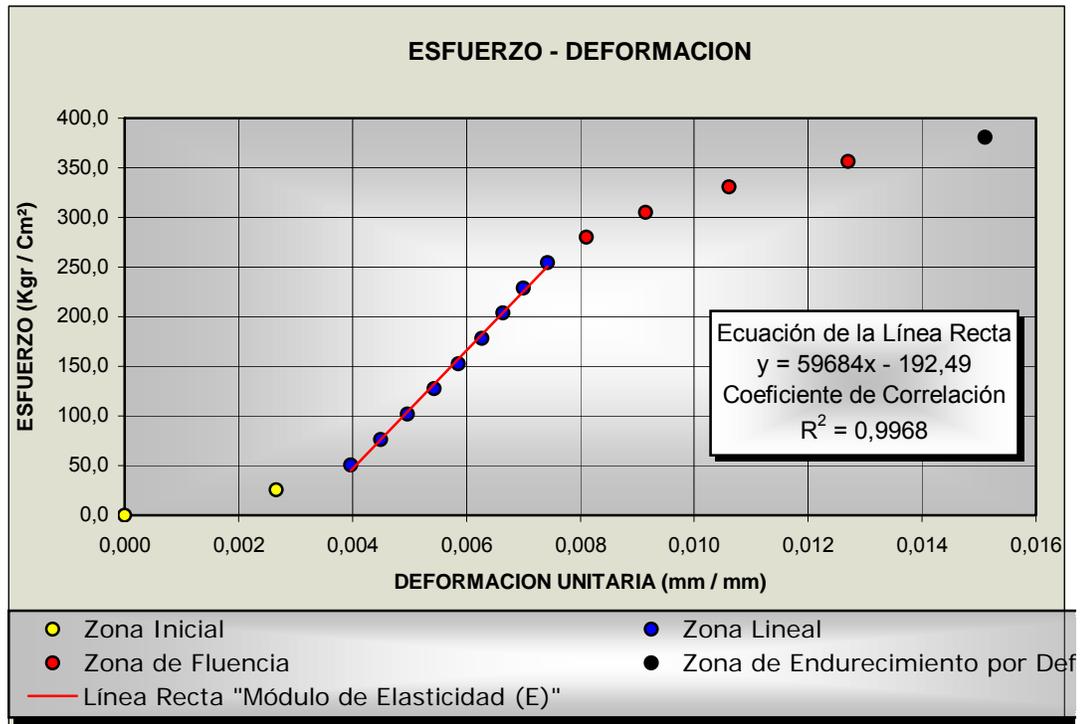
En el Anexo H se presentan los resultados concernientes a los ensayos efectuados bajo esta sollicitación de carga; es relevante mencionar que después de falladas las probetas, a cada una se les tomó una lámina de aproximadamente 2 cm * 4.5 cm * 0.5 cm; con el fin de obtener el valor de Densidad Seca al aire, Densidades Anhidra y Contenido de Humedad, estos valores se determinaron para cada probeta en su respectivo formato de Excel.

Con respecto a los resultados obtenidos en las pruebas de Compresión Perpendicular, los valores obtenidos fueron muy interesantes. Se tomó como valor representativo el de la condición de carga aplicada en los nodos (por recomendación de la INBAR), los cuales fueron 19.251 Kgr / Cm² y 48.383 Kgr / Cm², tomándose la cifra de 19.521 Kgr / Cm² (ver Tabla No. 20); al igual que el caso de Compresión Paralela se optó por el menor valor debido a la seguridad.

Comparando los resultados de Compresión Paralela con respecto al perpendicular se nota una marcada diferencia entre las dos, en donde la Paralela es 20 veces más grande que la Perpendicular.

Se muestra una curva característica de Esfuerzo de Compresión vs Deformación.

Gráfica 3. Curva característica de Esfuerzo vs. Deformación en compresión paralela, condición cepa abierta por los dos lados (registros oficiales).



ESFUERZO EN EL L.P.: 254.53 Kgr / Cm² y ESFUERZO ULTIMO: 380.52 Kgr / Cm².

4.4.2 TRACCIÓN PARALELA. En cuanto a la prueba de Tracción, las dos condiciones expuestas (Con nodo intermedio y sin nodo intermedio) se toman como registros Públicos de ensayos según la INBAR (Cepa → Valores menores de resistencia, por ello este valor es considerado como valor crítico y de diseño):

Con Nodo Intermedio: Cepa: 509.573 Kgr / Cm².

Sin Nodo Intermedio: Cepa: 2505.592 Kgr / Cm².

En esta condición se confirma nuevamente lo expuesto en Compresión acerca de la resistencia mayor de la Basa sobre la Cepa. Se observa la gran diferencia entre los resultados de las dos condiciones, en donde el valor de la probeta con nodo es casi la tercera parte de la probeta sin nodo.

En cuanto al Esfuerzo en el Límite Proporcional se realizó el mismo proceso de Compresión, arrojando los siguientes valores:

Con Nudo Intermedio: Ceba: 435.551 Kgr / Cm².

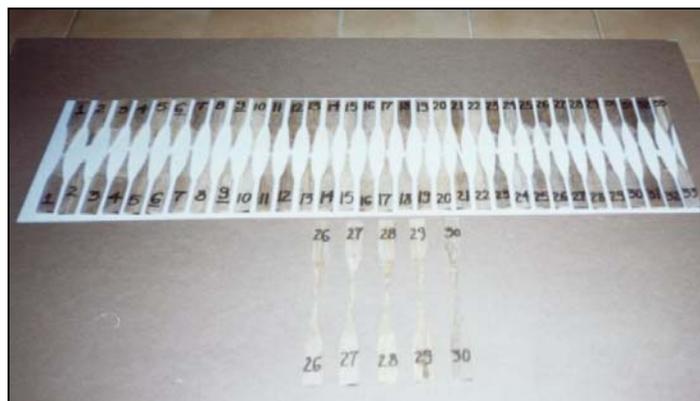
Sin Nudo Intermedio: Ceba: 1930.464 Kgr / Cm².

Respecto al El Módulo de Elasticidad es también tomado como el promedio de todas las condiciones analizadas, ya que este es representativo de todo el material, su valor es de 107244.02 Kgr / Cm². La magnitud anterior es la cifra significativa de la variable para todo el proyecto, ya que en esta prueba el error de cálculo de áreas es muy pequeño comparado con el de Compresión y Flexión.

✧ TIPOS DE FALLAS. A continuación se establecen las fallas representativas bajo esta condición de carga:

- ✧ Falla Transversal: Esta es la falla representativa de esta prueba, se presenta cuando la lámina de Guadua ahusada (Basa o Ceba) se fisura perpendicularmente a sus fibras. En la Foto No. 51 se muestra este tipo de falla.

Fotografía 23. Probetas de Tracción ya falladas.



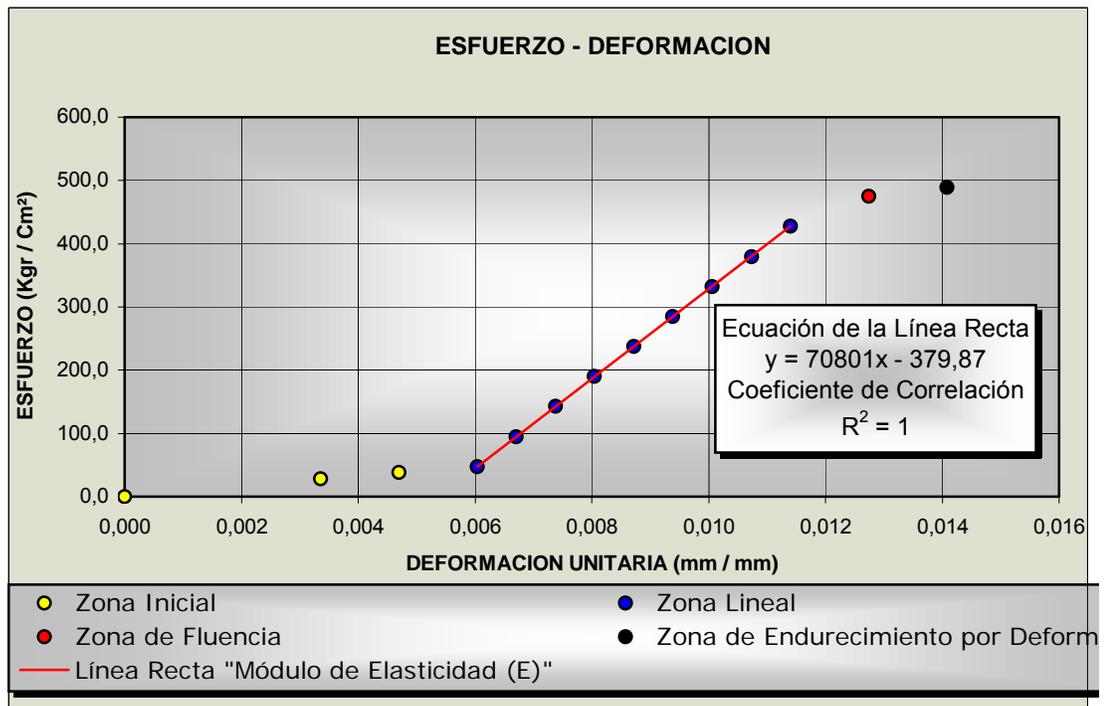
- ✧ Falla Longitudinal: Esta falla poco usual, se manifiesta cuando el espécimen de Guadua (Basa o Cepa) se fisura paralelamente a su eje longitudinal, de tal modo, que no se genera una verdadera falla a Tracción.

En el Anexo H se presentan los resultados concernientes a los ensayos efectuados bajo este tipo de carga; valores como el Módulo de Elasticidad, el Esfuerzo Máximo a Tracción Paralela a la fibra, el Esfuerzo en el Límite Proporcional y su respectiva curva Esfuerzo – Deformación, para cada una de las muestras analizadas.

Como se hizo en Compresión, ya fallado el material se procedió a extraer de cada probeta una lámina de iguales dimensiones con el fin de obtener el valor de Densidad Seca al aire, Densidades Anhidra y Contenido de Humedad, estos valores se determinaron para cada probeta en su respectivo formato de Excel.

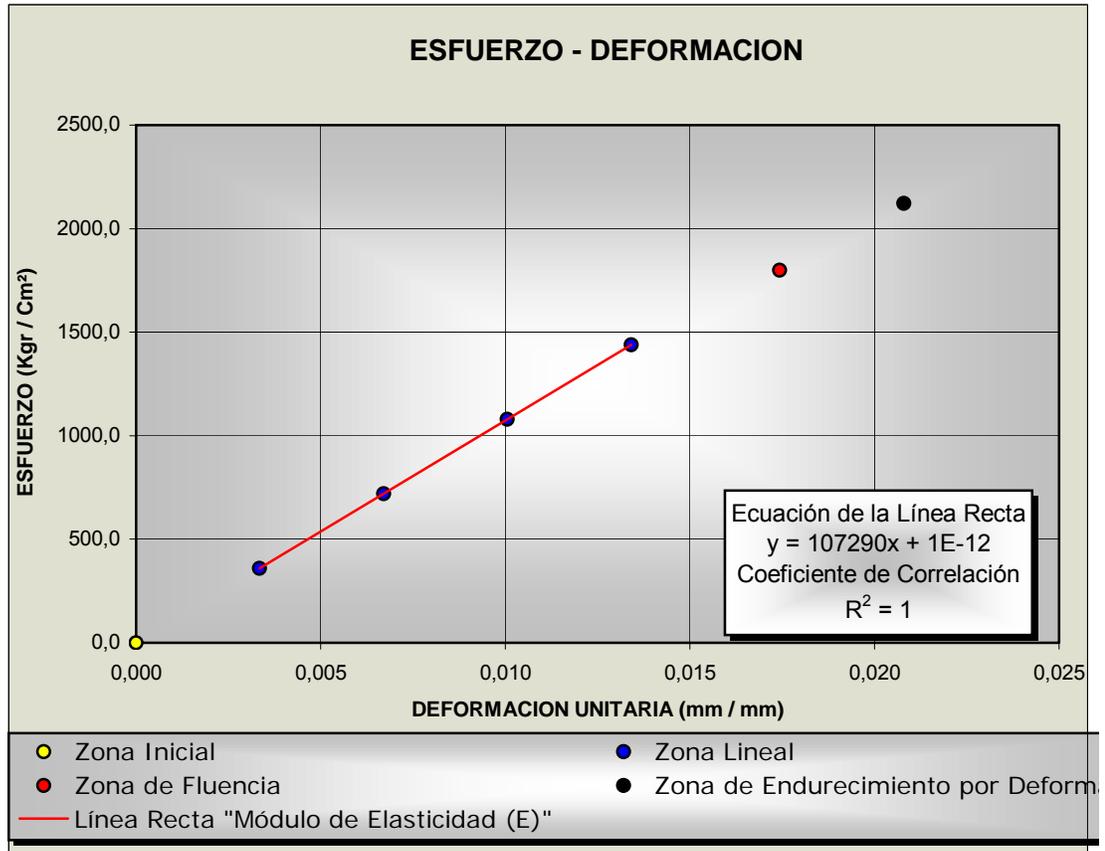
Las figuras se muestran con el objeto de observar el comportamiento de la prueba.

Gráfica 4. Curva característica de Esfuerzo vs. Deformación en Tracción, condición cepa con nodo intermedio (registro oficial).



ESFUERZO EN EL L.P.: 427.35 Kgr / Cm² y ESFUERZO ULTIMO: 489.08 Kgr / Cm².

Gráfica 5. Curva característica de Esfuerzo vs. Deformación en tracción, condición cepa sin nodo intermedio (registro oficial).



ESFUERZO EN EL L.P.: 1439.10 Kgr / Cm² y ESFUERZO ULTIMO: 2122.67 Kgr / Cm².

4.4.3 CORTANTE. Se toman como valores representativos las magnitudes menores halladas a las probetas Abiertas y Cerradas (también por recomendación de la norma INBAR) y como en los casos anteriores el menor de cada condición. Para este caso las magnitudes halladas fueron de:

Probetas Abiertas 59.055 Kgr / Cm².

Probetas Cerradas 59.345 Kgr / Cm²

En esta prueba la sección Basa soportó un poco mas que la sección Cepa, pero en si la diferencia no es relevante, a lo cual se puede argumentar que las dos secciones poseen igual capacidad al efecto.

✧ TIPOS DE FALLAS. Básicamente, en esta prueba se presento un solo tipo de falla:

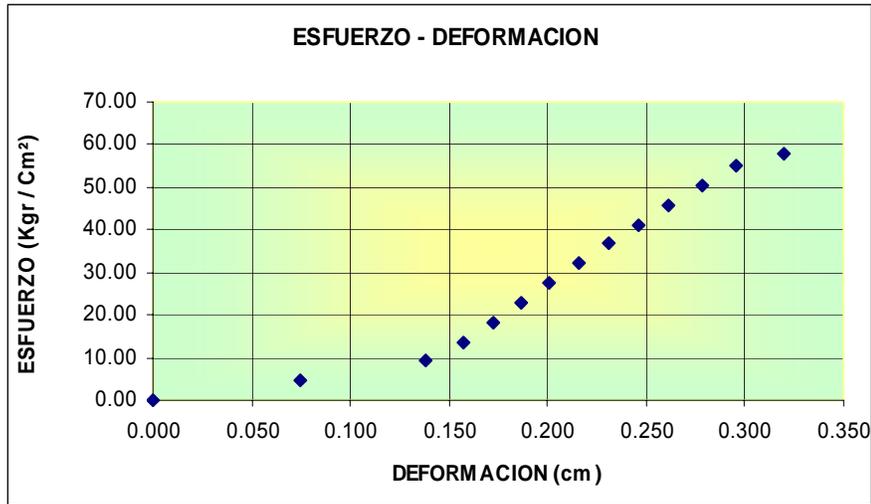
- ✧ Falla Longitudinal: Cuando se colocaron las platinas sobre las Probetas, la Fuerza aplicada por la Máquina en forma de Compresión hizo que los elementos de Acero cortasen de manera longitudinal a la muestra, en todos casos solo cortaron los 4 lados. En la Fotografía No. 58 se muestra lo explicado.

Fotografía 24. Probetas de cortante con nodo intermedio ya falladas.



Después de haber fallado, se procedió a extraer de cada probeta una lámina de aproximadamente 2 cm. * 4.5 cm. * 0.5 cm. con el fin de obtener el valor de Densidad Seca al aire, Densidades Anhidra y Contenido de Humedad, estos valores se determinaron para cada probeta en su respectivo formato de Excel. Se muestra la curva característica del ensayo de Cortante Directo, de donde la verdad no se extrae mucha información sólo el Módulo de Cortante Directo y el comportamiento Típico de la prueba; debe observarse que en el eje X se ubicó la Deformación en Centímetros y no en mm / mm.

Gráfica 6. Curva característica en el ensayo de cortante directo.



Respecto del Cortante Perpendicular o indirecto, se estableció la ecuación de para la Guadua, la cual es:

$$\tau_M = \frac{4 * V}{3 * A} \left(\frac{d_e^2 + (d_e * d_i) + d_i^2}{d_e^2 + d_i^2} \right)$$

Donde:

d_e : Diámetro externo en Cm.

d_i : Diámetro Interno en Cm.

V: Carga transversal definida anteriormente.

A: área de la sección (Cm²).

En cuanto a los resultados obtenidos en las pruebas de Cortante Indirecto (Proveniente del ensayo de Flexión), se tomó como representativo el de la condición de carga aplicada en los nodos (Por recomendación de la INBAR), condición Cepa: 167.090 Kgr / Cm² y Basa: 82.530 Kgr / Cm²; al igual que los casos anteriores se optó por el menor valor debido a la seguridad, el cual fue de 82.530 Kgr / Cm².

4.4.4 .FLEXION. Con respecto a los resultados obtenidos en las pruebas de Flexión , se tomó como representativo el de la condición de carga aplicada en los nodos (por recomendación de la INBAR), de igual forma se optó por el menor valor de Esfuerzo Último debido a la seguridad, el cual fue de 288.364 Kgr / Cm². Los Módulos hallados son:

MODULO DE ELASTICIDAD DEBIDO AL EFECTO DE FLEXION:

34669.517 Kgr / Cm²

MODULO DE CORTANTE DEBIDO AL EFECTO DE FLEXION:

13599.79 Kgr / Cm²

Estos fueron tomados como el promedio general de todas las Condiciones por lo que son propiedades innatas del material. La identificación del tipo de fallas en Flexión arrojó únicamente 2 clases; se describen a continuación:

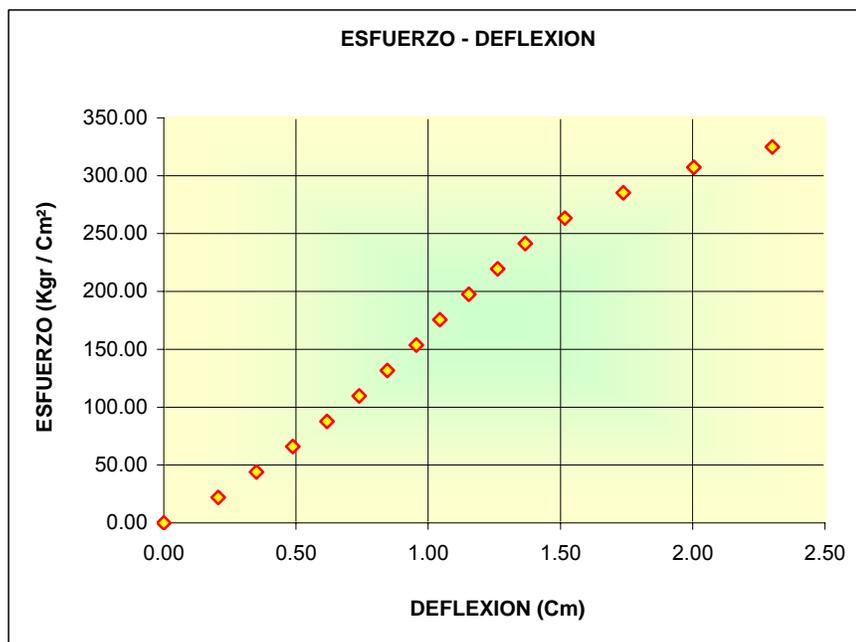
- ✧ Falla por Aplastamiento. Esta falla no es usual, se solucionó al adaptarle en forma adecuada los apoyos, ya que era en esa zona donde se presentaba el desperfecto.
- ✧ Falla por Flexión. Esta es la falla esperada, se presentó como una fisura longitudinal a lo largo del eje neutro de la viga, que por lo general se extendía de la parte central hacia los costados, en la Fotografía No. 60 las líneas con marcador que se observan son las aberturas presentadas.

Fotografía 25. Probetas de Flexión con 3 nodos, ya falladas, en las cuales las cargas fueron aplicadas en los entrenados.



Al igual que en el ensayo de Cortante, después de haber fallado, se procedió a extraer de cada probeta una lámina de aproximadamente 2 cm. * 4.5 cm. * 0.5 cm. con el fin de obtener el valor de Densidad Seca al aire, Densidades Anhidra y Contenido de Humedad, estos valores se determinaron para cada probeta en su respectivo formato de Excel; con esto se cumple el tercer objetivo: Determinar las propiedades Físicas y Mecánicas de la Guadua extraída de la zona objeto de estudio.

Tabla 6. Curva característica en el ensayo de Flexión.



Esta grafica muestra el comportamiento de la prueba, nótese que al igual que la de Cortante Directo el eje X es la Deflexión en Centímetros. Después de observar el comportamiento de la Guadúa por medio de sus Gráficos en Laboratorio, se muestran los Cuadros Generales de Resultados.

4.5 PARAMETROS DE DISEÑO EN ELEMENTOS DE GUADUA.

En maderas, el diseño se realiza por el método de Esfuerzos Admisibles, para esto se determinan los Esfuerzos Últimos, los cuales se reducen por medio de Factores de Seguridad para obtener las mencionadas Magnitudes.

En general la ecuación para hallar estos valores en cualquier prueba es la siguiente: ³⁵

$$\text{Esfuerzo Admisible} = \frac{\text{F.C.} \times \text{F.T.}}{\text{F.S.} \times \text{F.D.C.}} \times \text{Esfuerzo último}$$

Donde:

F.C. FACTOR DE REDUCCIÓN POR CALIDAD: En este factor se tuvo en cuenta el seleccionar elementos con defectos permitidos por la norma de clasificación visual y además que no presentaran ataque de insectos xilófagos o rajaduras por contracción longitudinal (ver fotografías N 65 y 66 en anexo B), con base en lo anterior se tomó el valor recomendado por el Manual de Diseño para Maderas del Grupo Andino el cual es F.C.= 0.8.

F.T. FACTOR DE REDUCCIÓN POR TAMAÑO: Influye directamente en los esfuerzos de rotura en Tracción Paralela a las fibras y en menor grado en la resistencia a otros tipos de sollicitación. El Factor de reducción por tamaño se tuvo en cuenta al ensayar elementos a escala natural, con distintos Diámetros y Espesores de pared. Por lo cual se tomó el recomendado para cada caso del Manual de Diseño para Maderas del Grupo Andino.

F.S. FACTOR DE SERVICIO Y SEGURIDAD: Como el diseño se efectúa para condiciones de servicio, los Esfuerzos Últimos deben ser reducidos también a estas condiciones por debajo del Límite de Proporcionalidad. Este valor se toma del Manual de Diseño para Maderas del Grupo Andino. El Factor de seguridad debe considerar incertidumbre respecto a:

Conocimiento del material y su variabilidad.

La confiabilidad de los ensayos para evaluar adecuadamente las características resistentes del material.

La presencia de defectos no detectados al momento de la clasificación visual.

El tipo de falla, frágil o dúctil, que puede presentarse al sobreesforzar el material.

³⁵ MANUAL DE DISEÑO PARA MADERAS DEL GRUPO ANDINO. Editado por la Junta del Acuerdo de Cartagena. Lima – Perú, 1984.

La evaluación de las cargas aplicadas y la determinación de los esfuerzos internos producidos por estas cargas en los elementos estructurales.

Dimensiones reales de los elementos con respecto a las supuestas en el análisis y el diseño. Entre otras.

Este se relaciona en forma independiente para cada caso.

F.D.C. FACTOR DE DURACIÓN DE CARGA: Los esfuerzos de rotura de la madera disminuyen con la duración de la aplicación de la carga. Este valor se toma del Manual de Diseño para Maderas del Grupo Andino. Se relaciona en forma independiente para cada caso.

4.5.1 COMPRESION. Para el diseño de elementos estructurales en madera (En este caso Guadua) se siguieron las pautas planteadas por el Manual de Diseño para Maderas del Grupo Andino, en el cual se presentan varios factores de seguridad³⁶ para determinar el Esfuerzo Admisible a partir del esfuerzo máximo a Compresión Paralela a la fibra de la Guadua. En el manual se especifica que para elementos sometidos a esta sollicitación de carga se deben utilizar los siguientes factores:

F.C.: Factor de reducción por calidad: Este parámetro representa una reducción en el valor de la resistencia Última a Compresión Paralela a la fibra, debido a defectos e imperfecciones que se detallaron en las probetas a ensayar; el valor de este factor es 0.8.

F.S.: Factor de servicio y seguridad: Mediante el cual se busca que los Esfuerzos Últimos a Compresión Paralela a la fibra, se deben reducir por debajo del Límite de Proporcionalidad con el objeto de garantizar de manera aproximada las hipótesis de comportamiento lineal y elástico del material; el valor de este factor es 1.6.

F.T.: Factor de reducción por tamaño: Bajo Esfuerzos de Compresión Paralela, el Manual de Diseño para Maderas del Grupo Andino no ha considerado este parámetro.

F.D.C.: Factor de duración de carga: Este parámetro se relaciona con la duración de la aplicación de la carga a la probeta ensayada; para Compresión se tienen los siguientes factores: 1.25.

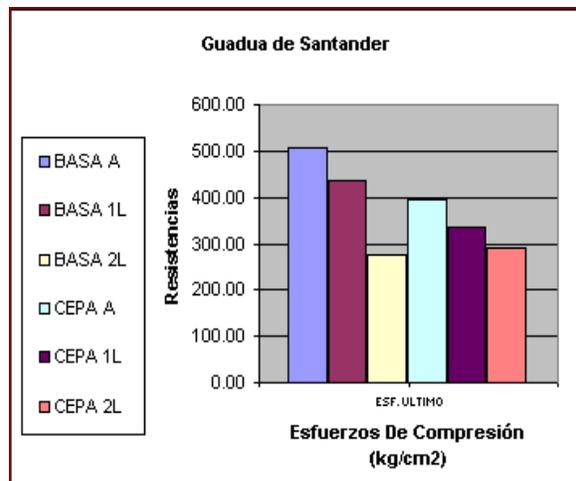
³⁶ Ibid. P. 58.

$$\text{Esfuerzo Admisible Compresión} = \frac{0.8}{1.6 \times 1.25} \times \text{Esfuerzo último} \dots\dots \sigma_{adm} = 0.4 \times \sigma_u$$

- CPB2L = 0.4* 276.843 = 110.737Kg/ cm²
- CPB1L = 0.4* 434.184 = 173.673 Kg/ cm²
- CPBA = 0.4* 506.019 = 202.407Kg/ cm²
- CPC2L = 0.4* 287.370 = 114.948 Kg/ cm²
- CPB1L = 0.4* 335.119 = 134.047 Kg/ cm²
- CPBA = 0.4*393.785 = 157.514 Kg/ cm² (VALOR OFICIAL).

Gráfica 7. Tabla y cuadro comparativo entre las diferentes condiciones de compresión.

CONDICION	ESF. ULTIMO	%
BASA A	506.019	100
BASA 1L	434.184	85.8%
BASA 2L	276.843	54.7%
CEPA A	393.785	77.8%
CEPA 1L	335.119	66.2%
CEPA 2L	287.843	56.7%



4.5.2 TRACCION. Para el diseño de elementos estructurales en madera (En este caso Guadua) se siguieron las especificaciones planteadas por el Manual de Diseño para Maderas del Grupo Andino, en el cual se bosquejan varios factores de seguridad para estimar el Esfuerzo Admisible a partir del esfuerzo máximo a Tracción Paralela a la fibra de la Guadua. En el manual se establece que para elementos sometidos a esta solicitud de carga se deben emplear los siguientes factores:

F.C.: Factor de reducción por calidad: Este parámetro genera una reducción en el valor de la resistencia última a Tracción Paralela, debido a deficiencias que se observaron en las muestras a ensayar; el valor de este factor es 0.8.

F.S.: Factor de servicio y seguridad: Mediante el cual se busca que los esfuerzos últimos a Tracción Paralela, se deben reducir por debajo del Límite de Proporcionalidad con el fin de garantizar de forma aproximada las hipótesis de comportamiento lineal y Elástico del material; el valor de este factor es 1.2.

F.T.: Factor de reducción por tamaño: Bajo esfuerzos de Tracción Paralela, el Manual de Diseño para Maderas del Grupo Andino considera un factor de reducción por tamaño igual a 0.9.

F.D.C.: Factor de duración de carga: Este parámetro se relaciona con la duración de la aplicación de la carga a la lámina de Guadua ensayada; el valor de este factor es Para determinar el esfuerzo Admisible de Tracción, el Manual de Diseño para Maderas del Grupo Andino recomienda el siguiente valor: 1.15.

Se tiene entonces:

$$\text{Esfuerzo Admisible Tracción} = \frac{0.8 \times 0.9}{1.2 \times 1.15} \times \text{Esfuerzo último} \dots \sigma_{adm} = 0.522 \times \sigma_u$$

$$\text{TCCN} = 0.522 \times 509.573 = 265.864 \text{ Kg/ cm}^2 \text{ (VALOR OFICIAL CON NODO).}$$

$$\text{TCSN} = 0.522 \times 2505.592 = 1307.265 \text{ Kg/ cm}^2 \text{ (VALOR OFICIAL SIN NODO).}$$

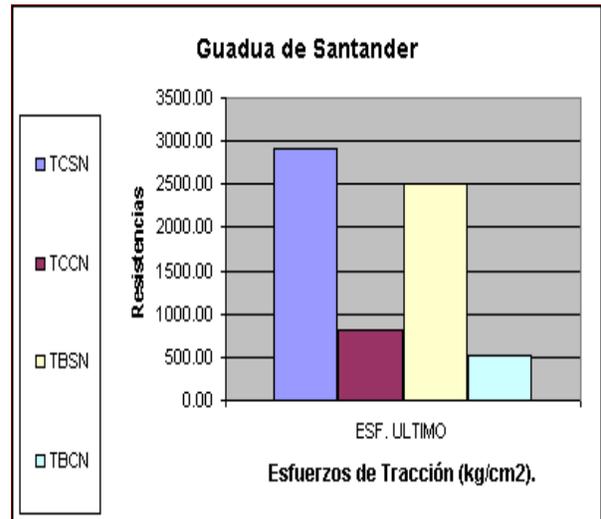
$$\text{TBCN} = 0.522 \times 810.302 = 422.766 \text{ Kg/ cm}^2$$

$$\text{TBSN} = 0.522 \times 2940.725 = 1534.291 \text{ Kg/ cm}^2$$

Este procedimiento, junto con los Factores de seguridad para el caso de Tracción Paralela, es sólo aplicable a latas de Guadua. En el caso que la prueba se realice con el tallo completo, el análisis se debe concentrar en las uniones.

Gráfica 8. Tabla y cuadro comparativo entre las diferentes condiciones de tracción.

CONDICION	ESF. ULTIMO	%
TCSN	2940.725	100
TCCN	810.302	27.55%
TBSN	2505.592	85.20%
TBCN	509.573	17.32%



4.5.3 CORTANTE. Para determinar el esfuerzo Admisible de Cortante, el Manual de Diseño para Maderas del Grupo Andino sugiere los siguientes valores:

F.S. = 4, valor con el cual se busca que el Factor de servicio y seguridad esté por debajo del Límite de Proporcionalidad; este valor incluye factor por concentración de Esfuerzos = 2; en el resto de condiciones no se contempla.

Se tiene entonces:

$$\text{Esfuerzo Admisible Cortante} = \frac{1}{4} \times \text{Esfuerzo último} \dots\dots\dots \sigma_{adm} = 0.25 \times \sigma_u$$

$$VCSN = (0.25) \times 59.055 = 14.763 \text{ Kg/ cm}^2 \text{ (VALOR OFICIAL SIN NODO)}$$

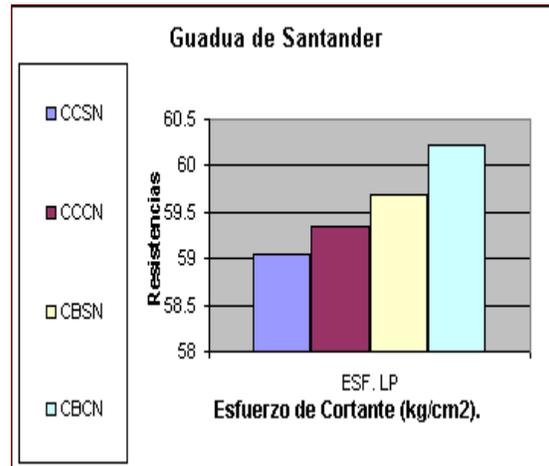
$$VBSN = (0.25) \times 59.677 = 14.919 \text{ Kg/ cm}^2$$

$$VCCN = (0.25) \times 59.345 = 14.836 \text{ Kg/ cm}^2 \text{ (VALOR OFICIAL CON NODO).}$$

$$VBCN = (0.25) \times 60.218 = 15.054 \text{ Kg/ cm}^2$$

Gráfica 9. Tabla y cuadro comparativo entre las diferentes condiciones de cortante.

CONDICION	ESF. ULTIMO	%
CCSN	59.055	98.06%
CCCN	59.345	98.56%
CBSN	59.677	99.10%
CBCN	60.218	100



4.5.4 FLEXION. Para determinar el esfuerzo admisible de Flexión, el Esfuerzo último se afecta por los siguientes factores de reducción:

$$F.C = 0.8$$

$$F.T = 0.9$$

F.D.C. factor de duración de carga: el Manual de Maderas del Grupo Andino³⁷ recomienda para las maderas que en él se estudian, un valor para el factor de reducción por duración de carga igual a 1.15.

F.S. = 2, Tomado del Manual de Maderas del Grupo Andino.

Se tiene entonces:

$$\text{Esfuerzo Admisible Flexión} = \frac{0.8 \times 0.9}{1.15 \times 2} \times \text{Esfuerzo último} \dots \sigma_{adm} = 0.313 \times \sigma_u$$

$$FB3N = 0.313 \times 457.993 = 143.371 \text{ Kg/ cm}^2$$

$$FB4N = 0.313 \times 288.364 = 90.270 \text{ Kg/ cm}^2 \text{ (VALOR REPRESENTATIVO).}$$

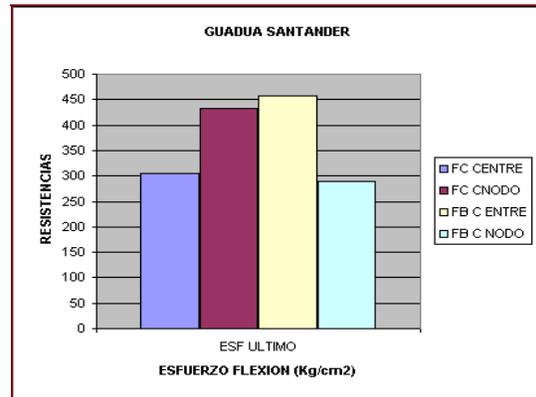
$$FC3N = 0.313 \times 304.526 = 95.329 \text{ Kg/ cm}^2$$

$$FC4N = 0.313 \times 433.693 = 135.765 \text{ Kg/ cm}^2$$

37. Junta del Acuerdo de Cartagena. Op. Cit Pag.7-8.

Gráfica 10 Tabla y cuadro comparativo entre las diferentes condiciones de flexión.

CONDICION	ESF ULTIMO	%
FC CENTRE	304.526	66.5%
FC CNODO	433.693	94.7%
FB CENTRE	457.993	100.0%
FB C NODO	288.364	63.0%



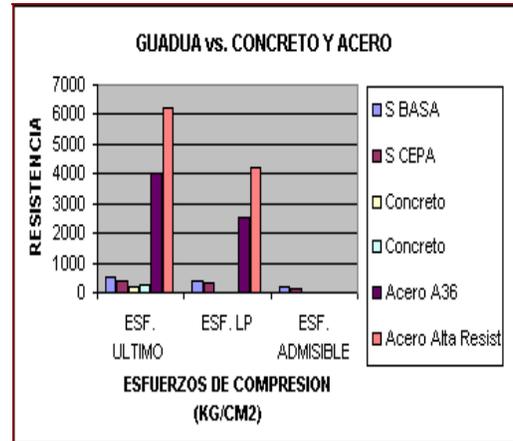
4.6 CUADROS COMPARATIVOS DE RESISTENCIAS HALLADAS

4.6.1 CUADROS COMPARATIVOS CON CONCRETO Y ACERO. A continuación se analizan los resultados de los gráficos comparativos acerca de los valores últimos, en el Límite Proporcional en las pruebas de Compresión y Tracción del Concreto de resistencia media y alta y de los Aceros de resistencia media y alta.

Tomando el valor numérico de la condición de CEPA: 393.73 Kg/cm² (Esfuerzo último) ,313.52 Kg/cm² (Esfuerzo en el LP) y 157.48 Kg/cm² (Esfuerzo Admisible), al compararlo con los materiales tradicionales para construcción, tanto la Ceba como Basa superan al concreto (Esfuerzo último), demostrando así que a pesar del cultivo no poseer condiciones ideales se obtiene material adecuado con Fatigas Admisibles.

Gráfica 11 tabla y diagrama de barras entre la guadua y el concreto - acero entre las diferentes condiciones de compresión.

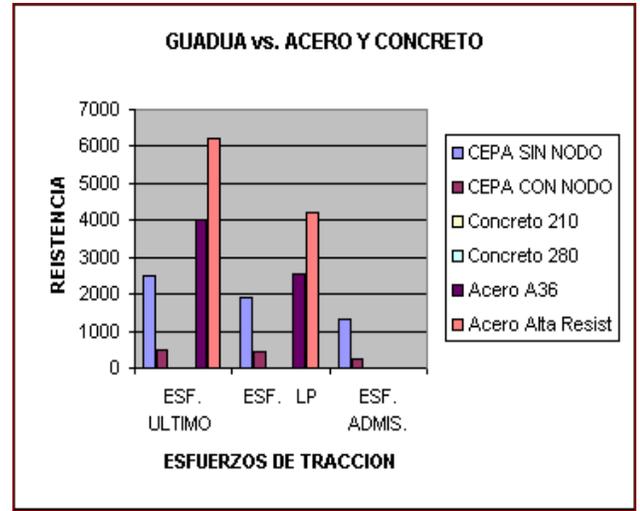
CONDICION	ESF. ULTIMO	ESF. LP	ESF. ADMISIBLE
S BASA	506.01	397.25	202.407
S CEPA	393.79	313.52	157.48
Concreto	210		
Concreto	280		
Acero A36	4000	2530	
Acero Alta Resist	6200	4200	



En cuanto a la prueba de Tracción, El material de estudio arrojó datos satisfactorios en comparación con el Acero, ya que la Guadua soportó esfuerzos por encima de los 2000 Kg/cm² (En situación de no poseer Nudo intermedio), esto sin ser el cultivo tratado. Estaría en un próximo proyecto verificar si al hacerle el tratamiento adecuado al Guadual estas condiciones mejoren.

Gráfica 12. Tabla y diagrama de barras entre la Guadua y el Acero-Concreto en las condiciones de Tracción.

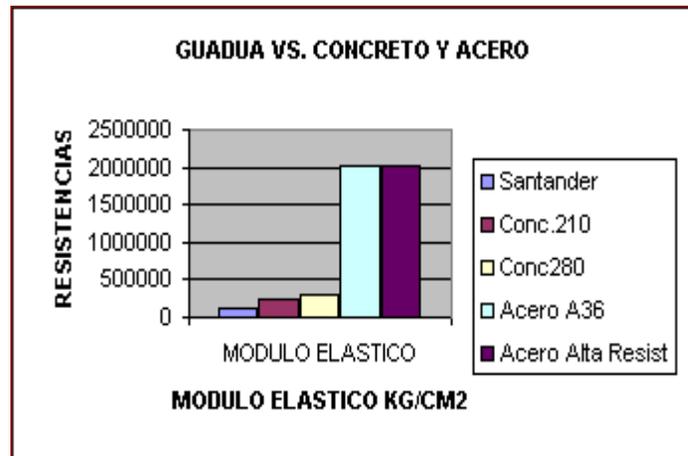
CONDICION	ESF. ULTIMO Kg/cm2	ESF. LP Kg/cm2	ESF. ADMIS. Kg/cm2
CEPA SIN NODO	2505.59	1930.46	1307.26
CEPA CON NODO	509.57	435.55	265.86
Concreto 210			
Concreto 280			
Acero A36	4000	2530	
Acero Alta Resist	6200	4200	



En cuanto al Modulo Elástico, es superado por los materiales tradicionales. De igual forma sucede con el Modulo de Cortante.

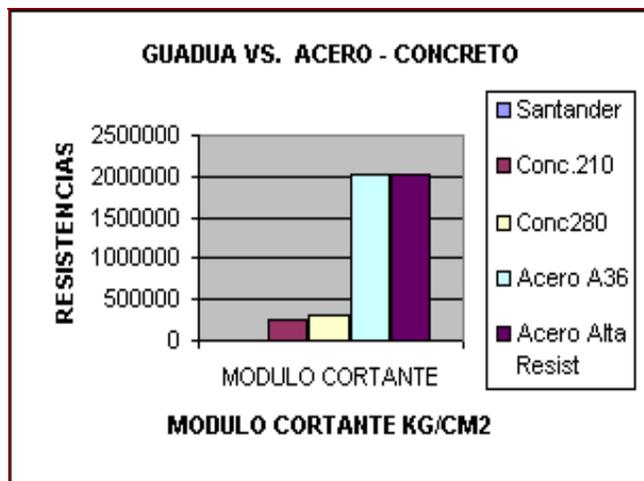
Gráfica 13. Tabla y diagrama de barras entre la Guadua y el Acero-Concreto en el modulo elástico.

CONDICION	MODULO ELASTICO kg /cm2
Santander	107244.02
Conc.210	252000.00
Conc280	315000
Acero A36	2.03E+06
Acero Alta Resist	2.03E+06



Gráfica 14. Tabla y diagrama de barras entre la Guadua y el Acero-Concreto en el modulo de cortante.

CONDICION	MODULO CORTANTE kg /cm2
Santander	13167
Conc.210	252000.00
Conc280	315000
Acero A36	2.03E+06
Acero Alta Resist	2.03E+06



4.6.2 CUADROS COMPARATIVOS CON MADERAS DE LA REGION. Al realizar comparaciones lo que se busca es establecer que tan bueno es un material con respecto a otro. Es importante el hecho de ejecutar dicho proceso con maderas propias de Santander, para observar que tanta diferencia presentan las unas con respecto las otras, ya que se propone a la Guadúa como material maderable para un futuro.

Se asume en igualdad de condiciones los aspectos concernientes al suelo y al medio ambiente, a pesar de que en el Departamento, existen diferencias entre Municipio y otro.

Para los datos del Abarco, La Aceitemaria, El caracolí, El Sapán y la Tolúa, se consultó en la Tesis de Grado de los Ingenieros Cárdenas y Hernández.³⁸

Para los datos del Canelo se consulto en la Tesis de Grado de los Ingenieros Pico y Monsalve.³⁹

Para el Pino Douglas y la Picea se tomaron los valores de la Resistencia de Beer, con la idea de comparar con maderas utilizadas en otro país.

Respecto de los cuadros, se puede establecer lo siguiente:

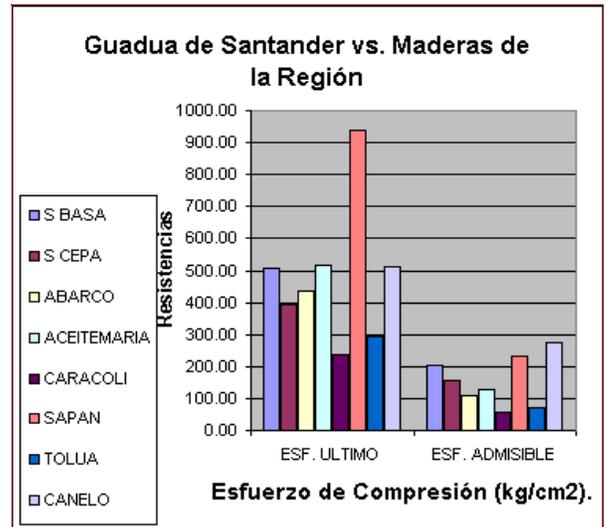
- ✧ COMPRESION. La Guadua supera a maderas como el Caracolí y la Tolúa, a la vez es superada en poca diferencia por la Aceitemaria, el Canelo y el Abarco. Sigue siendo el Sapán el rey de las maderas en cuanto a esta propiedad (por lo menos en Santander)

38. CARDENAS, Mario Y HERNANDEZ, Rafael. Estudio De Las Propiedades Físico- Mecánicas De Algunas Maderas De La Región De Santander Y Sus Usos En La Construcción. Universidad Industrial De Santander. Bucaramanga, 1985

39 PICO, Enrique Y MONSALVE, Gilberto. Incidencia De La Humedad En Las Propiedades Físico – Mecánicas De Las Maderas Usadas En Construcción. Universidad Industrial De Santander. Bucaramanga,1991

Gráfica 15. Tabla y diagrama de barras entre la Guadua y las maderas de la región en compresión.

CONDICION	ESF. ULTIMO	ESF. ADMISIBLE
S BASA	506.01	202.407
S CEPA	393.79	157.48
ABARCO	437.02	107.45
ACEITEMARIA	515.77	126.84
CARACOLI	235.1	57.834
SAPAN	939.64	231.14
TOLUA	291.9	71.75
CANELO	512.79	275.89



✧ CORTANTE. Las condiciones recomendadas para realizar ensayos de este tipo, son los desarrollados en este proyecto, es decir Probetas Con Nudo Intermedio Y sin Nudo intermedio o Abierta por los dos lados.

Sin Nudo: Cepa: 59.05 Kg/cm²

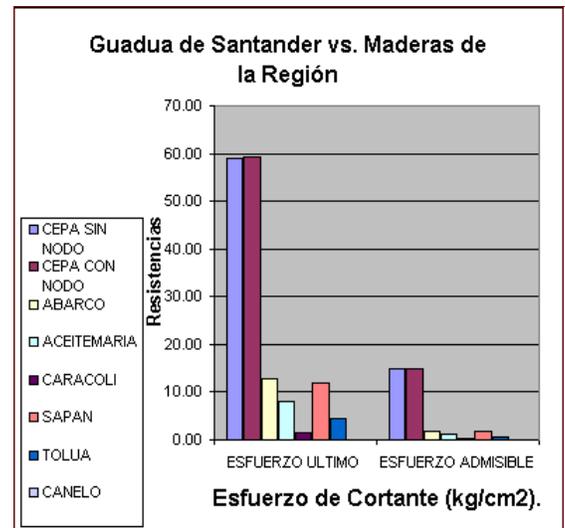
Con Nudo: Cepa 59.35 Kg/cm²

Según los valores encontrados en la Bibliografía, la Guadua supera a las maderas en su resistencia en este Fenómeno; siendo relevante, ya que es esta condición la más desfavorable de todas (junto a Compresión Perpendicular).

Debido a lo anterior es de suma importancia que al diseñar uniones se tenga mucho cuidado para que no falle por esta condición (Cortante)

Gráfica 16. Tabla y diagrama de barras entre la Guadua y las maderas de la región en cortante.

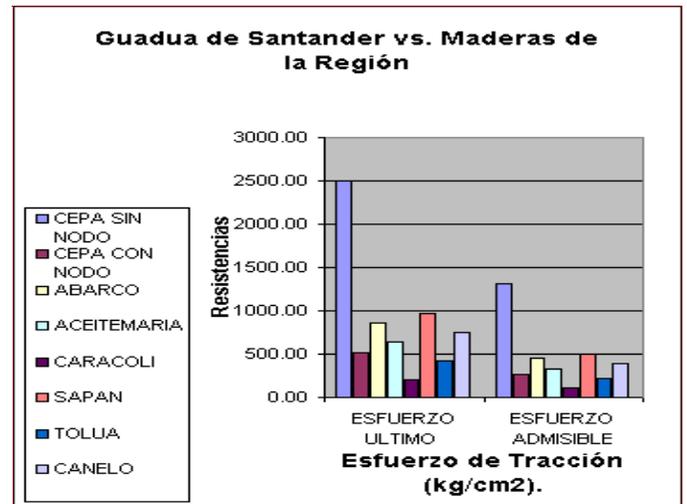
		ESFUERZO ULTIMO	ESFUERZO ADMISIBLE
CEPA	SIN NODO	59.05	14.7625
CEPA	CON NODO	59.35	14.8375
ABARCO		12.8	1.876
ACEITEMARIA		8.05	1.31
CARACOLI		1.53	0.235
SAPAN		11.9	1.83
TOLUA		4.4	0.68
CANELO			



✧ TRACCIÓN. Es esta propiedad la más sobresaliente de todas; es superior a todas las maderas y aventaja en casi tres veces el valor del Sapán en su condición de probeta Sin Nodo.

Gráfica 17. Tabla y diagrama de barras entre la Guadua y las maderas de la región en Tracción.

	ESFUERZO ULTIMO	ESFUERZO ADMISIBLE
CEPA SIN NODO	2505.60	1307.265
CEPA CON NODO	509.57	265.864
ABARCO	859.5	448.659
ACEITEMARIA	640.68	334.43496
CARACOLI	202.25	105.5745
SAPAN	970.75	506.7315
TOLUA	421.94	220.25268
CANELO	756.73	395.01306



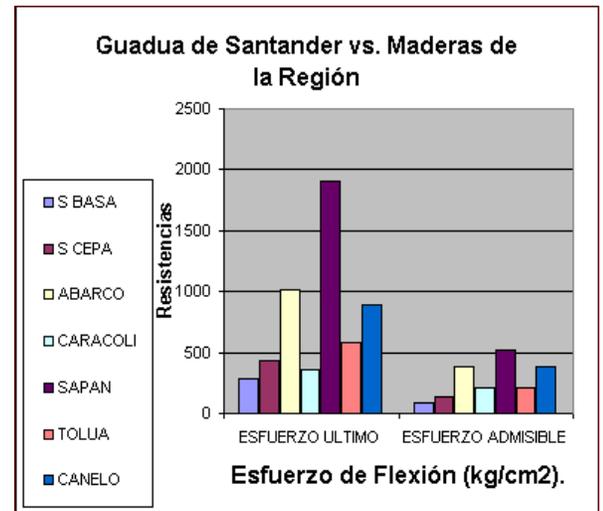
✧ FLEXION. En esta prueba, lo sugerido por la INBAR es realizar pruebas a probetas cuya carga sea aplicada en los Nodos.

Carga aplicada en los Nodos: Cepa 433.69 Kg/cm² , Basa 288.36 Kg/cm² .

Al tomar el valor de resistencia de la Basa para Flexión, los resultados no son los mejores, ya que en esta condición las maderas tradicionales superan por amplio margen a la Guadua, sin embargo se proponen alternativas como la utilización en vigas de 2 o 3 Guaduas o el rellenarlas de mortero en los puntos de aplicación de las cargas, además de mejorar las condiciones del cultivo para extraer material con mejores condiciones.

Gráfica 18. Tabla y diagrama de barras entre la Guadua y las maderas de la región Flexión.

	ESFUERZO ULTIMO	ESFUERZO ADMISIBLE
S BASA	288.36	90.27
S CEPA	433.69	135.765
ABARCO	1010.64	378
ACEITEMARIA	950.46	241.4
CARACOLI	357.59	213.8
SAPAN	1904.84	514
TOLUA	587	216
CANELO	891	387.17

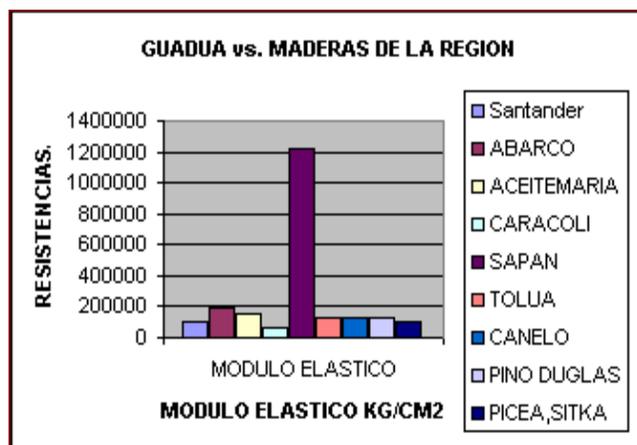


- ◇ MODULO ELASTICO. EL registro oficial se tomó de la prueba de Tracción, ya que es la que menos error tiene en el momento de la medición de su área afectada, el valor hallado fue el 107244.02 Kg/cm².

Supera en este parámetro a maderas como el Caracolí y la Picea (material extranjero); es superado en muy poco margen por elementos como el Canelo, el Canelo y el Pino Douglas. En esta condición el Rey es de nuevo el Sapán.

Gráfica 19. Tabla y diagrama de barras entre la Guadua y las maderas de la región en el modulo elástico.

	MODULO ELASTICO kgf /cm2
Santander	107244.00
ABARCO	189700.00
ACEITEMARIA	160000.00
CARACOLI	58000
SAPAN	1220000
TOLUA	130000
CANELO	124500
PINO DUGLAS	133000
PICEA,SITKA	105000



- ◇ MODULO DE CORTANTE. En muy pocos materiales maderables se tiene este valor, por lo cual se recurrió a compararlo con elementos descritos en la Bibliografía. La Guadua con su registro de **13167** Kg/cm² extraído de la prueba de Flexión, supera en casi dos veces los valores investigados, confirmando el hecho de aventajar en amplio margen al Esfuerzo Cortante de las maderas tradicionales (ver Tabla N 40).

Con esto se cumple el cuarto objetivo: Proponer algunos Parámetros de Diseño de elementos de Guadua y establecer comparaciones con los de otros materiales de construcción como el Concreto, el Acero y Algunas maderas propias de la Región.

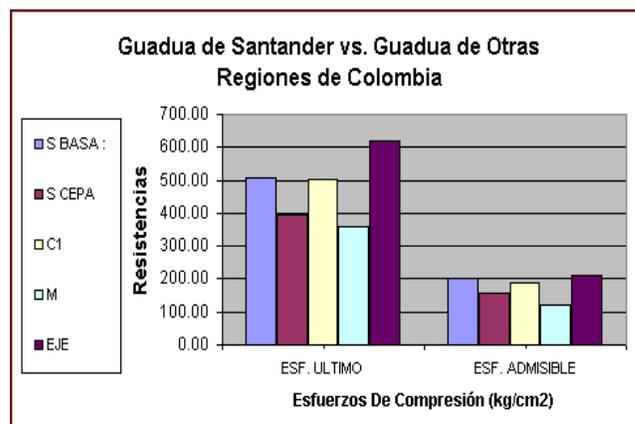
4.6.3 CUADROS COMPARATIVOS CON ESTUDIOS SIMILARES. Es de aclarar al lector, que para el caso en el cual se comparan los resultados con Guadua localizada en el Eje Cafetero, se asume que dichos cultivos han sido tratados adecuadamente y que las condiciones del suelo son las ideales descritas en la Bibliografía.

En el caso de la Guadua de Cundinamarca y Medellín, los autores de los trabajos no especifican por ningún lado la situación de los sembradíos, sin embargo se sabe que los parámetros ambientales y de suelo de estos Departamentos tampoco son los óptimos.

❖ COMPRESION. Tomando el valor de 393.79 Kg/cm^2 como el representativo, se observa que es superado por amplio margen con respecto a los valores consultados del eje cafetero y de Cundinamarca, si se comparara con los valores de 506.21 Kg/cm^2 también el eje cafetero posee mayor magnitud; para los dos casos la Guadua de Santander posee resistencia mas alta que la de Medellín. (eje: $621 \text{ Kg/cm}^2 >$ Santander: 393.79 Kg/cm^2);

Gráfica 20. Tabla y diagrama de barras entre la Guadua y Guadua de otras regiones de Colombia en Compresión.

	ESF. ULTIMO	ESF. ADMISIBLE
S BASA :	506.01	202.407
S CEPA	393.79	157.48
C1	504.37	188.25
M	360	120
EJE	621	210



❖ TRACCION. Cuando se compara con respecto al eje cafetero, la Guadua de Aratoca posee menor resistencia, aunque en un margen mínimo. Con respecto a la de Medellín, la de Santander posee mejor calidad (eje: $2911 \text{ Kg/cm}^2 >$ Santander: 2505.59 Kg/cm^2 Probetas Sin Nudo, Con Nudo Intermedio: 509.57 Kg/cm^2)

Se aclara el origen de los resultados.

S : en las secciones Cepa y Basa, en las condiciones abiertas.

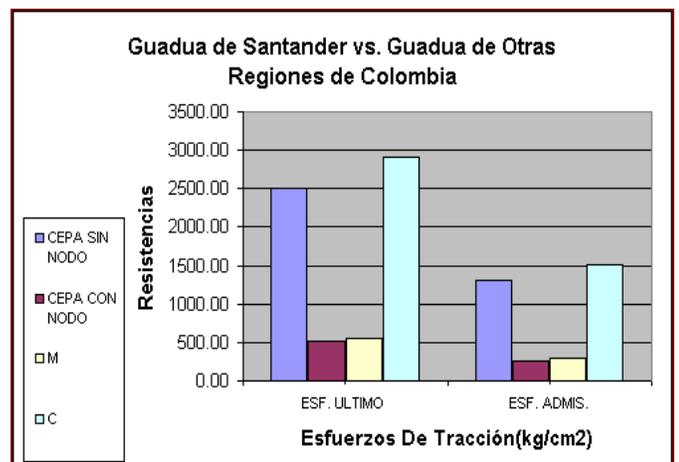
C1: Cundinamarca, estudio realizado por Ing. Maritza Uribe (ver Bibliografía).

M : Estudio realizado en la UNAL Medellín, convenio AIS – FOREC

Eje: Datos suministrados por el Arq. Janer Rodríguez.

Gráfica 21. Tabla y diagrama de barras entre la Guadua y Guadua de otras regiones de Colombia en Tracción.

	ESF. ULTIMO	ESF. ADMIS.
CEPA SIN NODO	2505.59	1307.26
CEPA CON NODO	509.57	265.864
MEDELLIN	552.3	288.3006
CUNDINAMARCA	2911	1519.542



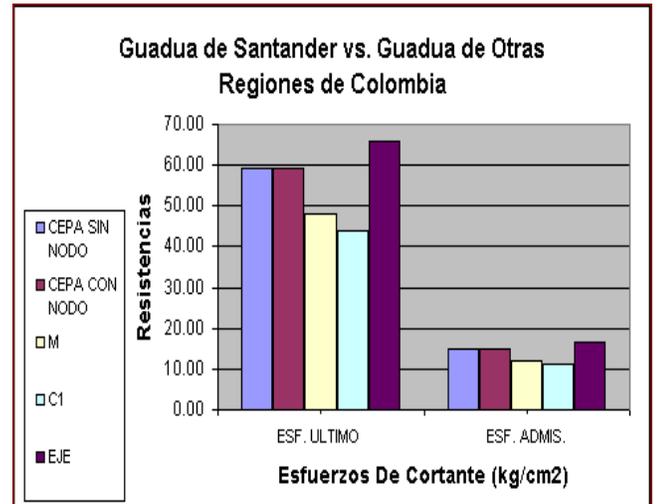
Referencia de estudios: igual a la de Compresión.

CORTANTE:

La Guadua del eje cafetero supera por muy poco en esta condición a la Guadua Santandereana (eje: 66 Kg/cm² > Santander: 59.05 Kg/cm² y 59.35 Kg/cm²); con respecto a Medellín Y Cundinamarca estas poseen valores menores que la analizada en este proyecto.

Gráfica 22. Tabla y diagrama de barras entre la Guadua y Guadua de otras regiones de Colombia en Cortante.

	ESF. ULTIMO	ESF. ADMIS.
CEPA SIN NODO	59.05	14.7625
CEPA CON NODO	59.35	14.84
MEDELLIN	48	12
CUNDINAM	44	11
EJE	66	16.5



S : Estudio UIS.

C1: Cundinamarca, estudio realizado por Ing. Edwin Prieto. (Ver Bibliografía).

M : Estudio realizado en la UNAL Medellín, convenio AIS – FOREC

Eje: Datos suministrados por el Arq. Janer Rodríguez

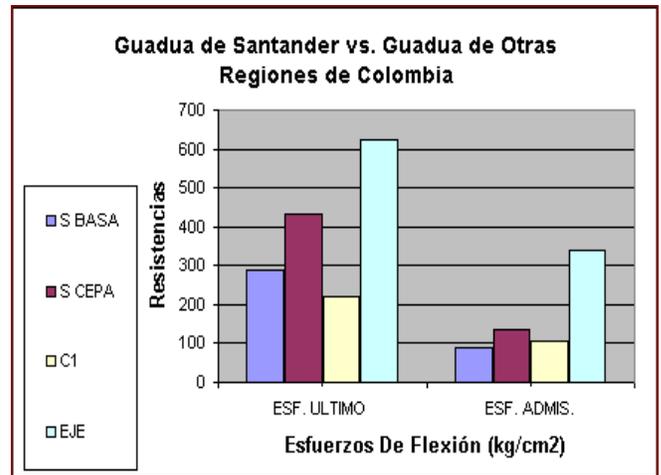
FLEXION

En esta condición la Guadua de Santander posee menor valor de resistencia respecto a la del eje cafetero pero mayor que la de Cundinamarca

(Eje: $624 \text{ Kg/cm}^2 > \text{Santander: } 288.36 \text{ Kg/cm}^2 > \text{Cundinamarca: } 221.5 \text{ Kg/cm}^2$).

Gráfica 23. Tabla y diagrama de barras entre la Guadua y Guadua de otras regiones de Colombia en Flexión.

	ESF. ULTIMO	ESF. ADMIS.
S BASA	288.36	90.27
S CEPA	433.69	135.76
CUNDIN.	221.5	107
EJE	624	340



S : Estudio UIS.

C1: Cundinamarca, estudio realizado por Ing. Edwin Prieto. (Ver Bibliografía).

Eje: Datos suministrados por el Arq. Janer Rodríguez

MODULO ELASTICIDAD

La Guadua del eje cafetero posee mayor Modulo Elástico que la de Santander y esta su vez es mayor que de Cundinamarca

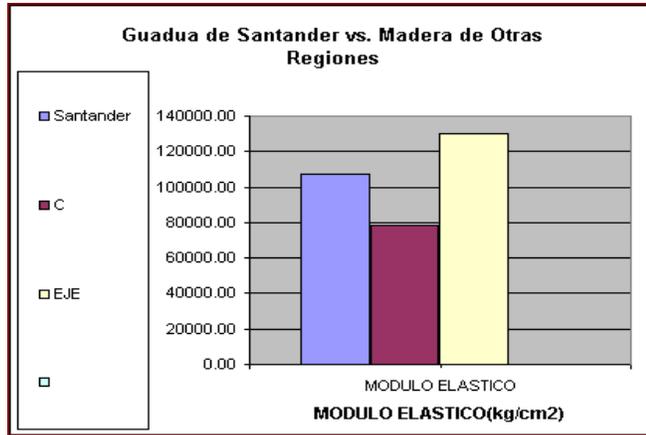
(Eje: $130000 \text{ Kg/cm}^2 > \text{Santander: } 107244 \text{ Kg/cm}^2 > \text{Cundinamarca: } 78500 \text{ Kg/cm}^2$).

El dato del Módulo es el promedio de la prueba de Tracción, ya que este se tomó como oficial.

El pino Douglas y la Picea Sitka, fueron registros encontrados en la Mecánica de Materiales de Beer and Jonston.

Gráfica 24. Tabla y diagrama de barras entre la Guadua y Guadua de otras regiones de Colombia en el modulo elástico.

	MODULO ELASTICO kgf /cm2
Santander	107244.02
C	78500.00
EJE	130000.00



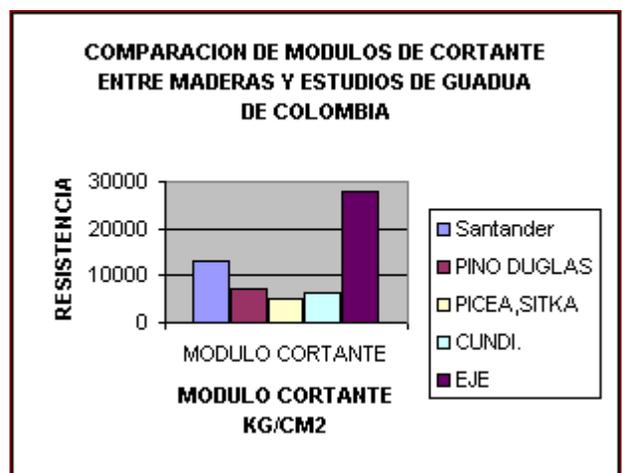
MODULO DE CORTANTE

Respecto a este parámetro la Guadua de Santander obtuvo menor magnitud en su Módulo de Rigidez que la del eje cafetero, pero mayor valor que la de Cundinamarca.

(Eje: 28000 Kg/cm² > Santander: 13167 Kg/cm² > Cundinamarca: 6500 Kg/cm²).

Gráfica 25. Tabla y diagrama de barras de comparación entre maderas y estudios de Guadua de Colombia para el modulo de Cortante.

	MODULO CORTANTE kgf /cm2
Santander	13167.60
PINO DUGLAS	7000
PICEA,SITKA	4900
CUNDI.	6500
EJE	28000



S : Estudio UIS.

C1: Cundinamarca, estudio realizado por Ing. Edwin Prieto. (Ver Bibliografía).

El pino Douglas y la Picea Sitka, fueron registros encontrados en la Mecánica de Materiales de Beer and Jonston

Eje: Datos suministrados por el Arq. Janer Rodríguez

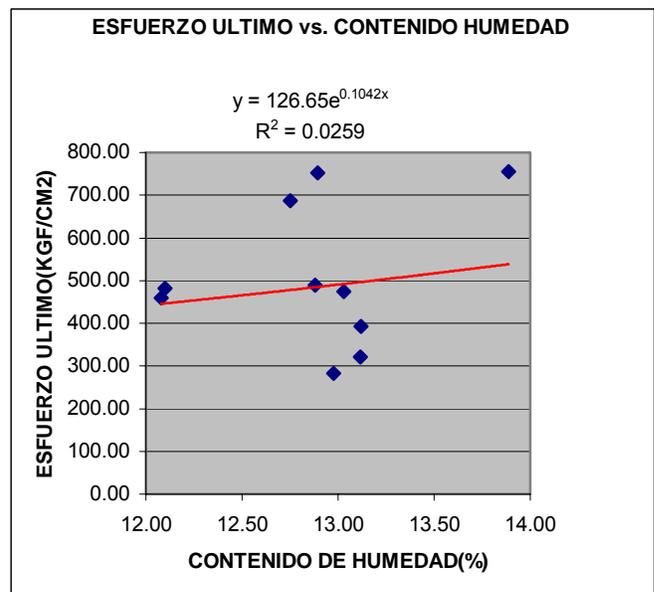
Al observar que en todas las condiciones el material del eje supera al de Santander se concluye que el suelo si influye en las resistencias de la Guadua, por lo cual se recomienda al dueño del cultivo seguir las sugerencias explicadas en los ítems anteriores.

Con este proceso se da por finalizado el quinto objetivo el cual es: Establecer la influencia de las condiciones climáticas y del suelo en dichas propiedades comparando los resultados con estudios realizados en otras zonas del país.

4.6.4 RELACIONES ESFUERZOS ULTIMOS VS. CONTENIDO DE HUMEDAD. Esta relación se establece con el objeto de poder predecir matemáticamente en forma aproximada un comportamiento de la Resistencia con respecto a sus Humedad.

Gráfica 26. Tabla y gráfica modelo de la relación Esfuerzo último vs. Humedad en la Guadua.

	SECCIONCEPA	
	CON NODO	
PROB. N	ESFUERZO ULTIMO	CONTENIDO HUMEDAD
	KGF/CM2	%
1	474.59	13.03
2	489.08	12.88
3	754.81	13.89
4	321.74	13.11
5	392.46	13.12
6	282.44	12.98
7	687.47	12.75
8	459.91	12.08
9	751.74	12.90
10	481.51	12.10



Se determinó del análisis relacionar cada situación con los parámetros ya mencionados, con lo cual se obtuvo una ecuación que en todos los casos fue exponencial, debido a que fue la que mejor se ajustó dentro del rango de ecuaciones utilizables para investigación. No se utilizó las Polinómicas, ya que estas lo que hacen es adaptarse a la nube de puntos suavizando la curva y arrojando un coeficiente alto de regresión. Para mas detalles ver anexo I

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

5.1.1 CONDICIONES AMBIENTALES DE LA ZONA

- ✧ Al comparar las condiciones Físicas del Guadual con las óptimas descritas en la Bibliografía, el resultado no es el mejor, concluyendo lo siguiente: De 5 parámetros ambientales, la zona de estudio solo cumple satisfactoriamente con uno: Brillo Solar.
- ✧ En dos está ligeramente por debajo: Humedad Relativa y Temperatura.
- ✧ En uno se pasa el rango ideal: Altitud.
- ✧ En el último a penas si pasa el valor mínimo recomendado: Precipitación.
- ✧ Se puede concluir que la zona de estudio NO CUMPLE con las condiciones Ambientales descritas como ideales en la Bibliografía.
- ✧ Es importante mencionar que la Guadua analizada se clasificó como variedad cebolla, esta presenta varias desventajas con respecto a la variedad macana típica del eje cafetero, entre ellas se cuenta que la primera es más fibrosa y menos compacta que la segunda, además la macana posee por lo general mas espesor y por lo tanto mayor cantidad de fibras.

5.1.2 PROPIEDADES DEL SUELO.

- ✧ En cuanto a sus propiedades Químicas, el suelo presenta:
 - ✧ La reacción del Suelo es muy fuertemente Ácida (PH = 4.8)
 - ✧ El porcentaje de saturación de Aluminio es de 77%
 - ✧ El contenido de materia orgánica es bajo.
 - ✧ El contenido de Nitrógeno Total es bajo.
 - ✧ El nivel de Calcio, Magnesio, Potasio, Boro, Manganeso, Cobre, Zinc, es bajo, el nivel de Hierro es alto y el nivel de Sodio es normal.

✧ La textura es adecuada.

Con base en las comparaciones realizadas en el ítem sobre las Propiedades Químicas del suelo y en los resultados anteriores, se puede establecer que el cultivo de Guadua estudiada en esta investigación no cumple con las condiciones óptimas descritas en la Bibliografía consultada y que requiere ser tratado adecuadamente.

Se concluye en esta investigación que el suelo influye en la resistencia de la Guadua, lo anterior se expresa en una forma cualitativa más no cuantitativa. Se recomienda para estudios posteriores analizar el comportamiento de cada variable del suelo por separado.

En cuanto a los ensayos Físicos del suelo, se concluye que sirvieron como apoyo a los desarrollados en la parte química, y además confirmaron la clasificación granulométrica, dando como resultado SUELO ARENOSO MAL GRADADO (SP).

5.1.3 HUMEDAD. La sección Cepa contiene mayor Humedad que la sección Basa, siendo lógico, ya que esta es la que se encuentra más cercana al suelo.

Las secciones abiertas poseen menor contenido de humedad que las secciones con nodo, siendo razonable, ya que en estas secciones es donde la Guadua almacena una relativa cantidad de agua gracias a su morfología interna compuesta por una delgada capa de fibras que genere un pequeño sistema de almacenamiento.

Se observa con respecto a la Humedad, que el nodo aunque está compuesto por una delgada capa de fibras, éste, no absorbe mayor cantidad de agua y que su papel no solo es de almacenar pequeñas cantidades de agua sino filtrarla, para permitir el paso gradual del líquido de un entrenudo a otro.

Las diferencias de Humedades entre las condiciones Abiertas y con nodo, no sobrepasan el 8% en ambas secciones de la Guadua aproximadamente.

Todas las secciones empleadas para efectuar los ensayos de laboratorio (Propiedades Mecánicas) se encuentran por debajo del 25% de Humedad, cumpliendo con las recomendaciones de la NSR 98 que establece como valor máximo admisible un 30% de humedad, con el objeto que éstas puedan ser utilizadas en construcción.

En cuanto a su estado verde, la Guadua analizada, si sobrepasó el 50% de Humedad dentro de su estructura, como sucede en otros productos maderables.

5.1.4 DENSIDAD. Al realizar las comparaciones de los valores hallados en el ítem de Densidad, con los establecidos en la NSR 98, la Guadua se podría clasificar en los siguientes grupos de maderas:

DC: Promedio sección Cepa: 540 Kgr / m³.....Grupo C.

DB: Promedio sección Basa: 627 Kgr / m³.....Grupo B.

El Peso específico aparente básico encontrado en la Bibliografía, varía entre 0.789 Grs / Cm³ y 0.625 Grs / Cm³ ; para el caso presente los valores que se obtuvieron, fluctúan entre 0.54 y 0.627 Grs / Cm³, esto conlleva a obtener valores menores de resistencia, ya que una madera entre mas densa, mas resiste.

En todas las condiciones analizadas (Estado verde, seca al aire y anhidra), la Cepa es menos Densa que la Basa.

Se confirma que la Densidad Anhidra es menor numéricamente que las otras dos, siendo lógico ya que al ser sometidas a un proceso de Secado al horno, la cantidad de agua disminuye y por tanto su peso y su Densidad.

5.1.5 ESTADISTICA. Se intentó trabajar el aspecto Estadístico como un proceso de efectos multivariados pero no fue posible, ya que este necesita realizar un proceso de muestra con un número de probetas mayor o igual a 30, a lo cual no había material disponible; además el hecho de manejar cuatro variables a la vez complicaba dicho estudio: las variables se mencionan a continuación: Diámetro externo, Diámetro Interno, Resistencias, longitud de canutos. Siendo necesario argumentar el número de probetas, se optó por manejar la situación como un proceso de efectos fijos con una sola variable, a lo cual el grado de complejidad del análisis disminuyó sustancialmente; este procedimiento también necesitó de una muestra pero de menor número. La cifra de probetas utilizadas fue de 5 por ensayo, sus resultados se muestran en el Anexo E. La variable que se utilizó fue la Resistencia, ya que este valor se extraía directamente de las pruebas realizadas, aunque se

hubiera podido tomar también el Módulo Elástico u otra magnitud relacionada con las pruebas.

Los grados de confianza obtenidos con 10 réplicas por ensayo superaban el 90% , siendo este un valor razonable a la hora de realizar pruebas de cualquier tipo en el aspecto de Ingeniería.

Al finalizar los análisis se aplicaron dos parámetros estadísticos para verificar la certeza de las pruebas (además de los mencionados), estos factores son la desviación estándar y el coeficiente de variación, siendo este relevante por el hecho que entre mas cercano a cero mayor grado de certeza tiene la prueba.

5.1.6 COMPRESIÓN. En cada una de las condiciones analizadas se obtuvo valores de resistencias últimas y en el límite proporcional. Para emitir un único valor representativo se optó por seguir la recomendación de la norma INBAR, la cual establece que el valor a Compresión es de ensayos a probetas abiertas. Con base en lo anterior y con el precepto de la seguridad se eligió la de menor valor numérico, es decir la alcanzada por las Cepas cuya magnitud es 393.785 Kgr / Cm², también por que es la de más bajo coeficiente de variación entre las dos secciones abiertas.

Para el Límite Proporcional se escogió el valor correspondiente al valor oficial: Cepas Abiertas : 313.52 Kgr / Cm², y como Esfuerzo Admisible: 157.51 Kgr / Cm².

Se muestran resultados de varios estudios:

Tabla 7. Resultados de estudios de Compresión de Guadua en Colombia.

Autor	Esfuerzo Máximo Kgr / Cm ²	Esfuerzo Mínimo Kgr / Cm ²	Esfuerzo Promedio Kgr / Cm ²
Martín y Mateus	662	-----	-----
López y silva	438	280	359
Martínez	343		

Cáceres			
Uribe y Durán	618	343	480.5
Gabriele y Herrera	506.019	276.8	393.85

Se observa que los Esfuerzos hallados son mayores en las secciones Abiertas que en las que poseían uno y dos nodos, y a su vez las que tienen un nodo resisten mas que las de dos nodos; con lo cual se concluye que dicho elemento no aporta a la resistencia en forma significativa (Desde el punto de vista de elemento particular, ya que en conjunto su aporte es relevante), desmintiendo lo que muchos autores expresaban argumentando que las secciones cerradas eran más resistentes que las abiertas.

El papel del nodo se limita al de arriostrar el elemento circular para evitar posibles efectos locales de esbeltez.

Es notable que las magnitudes de resistencias en las secciones de Basa son mayores que en las de Cepa, lo anterior se puede explicar por el mal tratamiento realizado al Guadual, ya que las secciones inferiores son las mas afectadas con el hecho de que la planta en su crecimiento debe buscar la luz, al suceder esto la parta de la Cepa es sometida a Esfuerzos previos que limitan posteriormente su capacidad a nuevas cargas externas.

El Módulo de Elasticidad se obtuvo como un promedio de las 3 condiciones analizadas, en donde cada una era la media de Cepa y Basa. Este parámetro es característico de todo el material independiente de la zona de la planta. Su valor fue de 79421.65 Kgr / Cm².

No se tomó el Modulo Elástico hallado a Compresión como el representativo de todas las pruebas, ya que se concluyó que intrínsecamente este valor lleva errores, como lo es el hecho de que las secciones transversales de la Guadua son muy heterogéneas y lo que se hace es aproximar dicha sección al de una corona circular, por lo cual se toman 4 medidas alrededor y se promedian para obtener el área, Lo ideal sería hallar dicha magnitud por medio de un método mas preciso (integración).

En cuanto a los tipos de fallas en la compresión paralela, se notó una serie de comportamientos dependiendo del tipo de probeta: para las de secciones abiertas, la falla fue longitudinal en todos los casos ocurriendo una especie de aplastamiento en algunos

casos y en otros de abultamiento (falla indirecta de Tracción); en las de un nodo, tendían siempre a comprimir el nodo, en donde la falla buscaba rodearlo y posteriormente se presentaba una abertura longitudinal, lo mismo sucedía con las de dos nodos.

Se tomó presta atención a las fallas presentes, para observar el comportamiento y la forma de como se presentaban las fisuras en el material.

En cuanto al análisis de pandeo en las probetas, se concluyó que todas las probetas falladas son columnas cortas, ya que su parámetro de comparación λ es mucho menor de 38 (Ver ítem 4.5.2).

Con respecto a los resultados obtenidos en las pruebas de Compresión Perpendicular, los valores obtenidos fueron muy interesantes. Se tomó como valor representativo el de la condición de carga aplicada en los nodos, el cual fue de 19.251 Kgr / Cm² (Por recomendación de la INBAR, ver tabla No. 22; al igual que el caso de Compresión Paralela se optó por el menor valor debido a la seguridad.

Comparando los resultados de Compresión Paralela con respecto al Perpendicular se nota una marcada diferencia entre las dos, en donde la Paralela es 20 veces más grande que la Perpendicular.

5.1.7 TRACCION. Como se dijo en la sección teórica, el estudio de esta propiedad se limita al de hallar su resistencia con base en latas ahusadas y no al tallo completo, ya que los sistemas de agarre de las probetas afectan el material.

Con base en lo realizado, los valores hallados fueron mayores en las probetas sin nodo que en las que poseían nodos.

Esta diferencia de resistencias en el caso mas crítico es del 83%, lo cual reafirma lo expresado en Compresión acerca de la función del nodo en el tallo.

En el caso de Tracción, las Basas obtuvieron mayor resistencia que las Cepas, confirmando la misma conclusión de Compresión.

Las situaciones de carga para diseñar son: Probetas sin nodo, cuyo valor de Esfuerzo Máximo es 2505.59 Kgr / Cm² y probetas con nodo, cuyo valor de Esfuerzo Máximo es 509.57 Kgr / Cm²

El Módulo de Elasticidad es también tomado como el promedio de todas las condiciones analizadas, ya que este es representativo de todo el material, su valor es de 107244.02 Kgr/ Cm²

Este valor de Modulo de Elasticidad es el representativo de todo el proyecto, ya que en esta prueba el error de cálculo de áreas es muy pequeño comparado con el de Compresión, y la prueba es muy verídica ya que la máquina es precisa por el hecho de arrojar la gráfica en el momento de falla, dando así una idea del comportamiento, la cual se confirmó posteriormente en los análisis con coeficientes de correlación igual a 1 en casi un 80% de las pruebas hechas.

Una característica general encontrada en todas las pruebas, fue el comportamiento de los resultados en cuanto a las graficas esfuerzo vs. Deformación, confirmando lo expresado de las tres zonas: la primera de acomodamiento entre el dispositivo y la probeta, la segunda la de relación lineal y la tercera la zona plástica.

Para la mayor parte de los Materiales Frágiles se encuentra que la resistencia última a Compresión es mucho mayor que a Tensión (Item 4.5.1.1) Esto no se cumple en la Guadua, ya que la resistencia al Tracción sobrepasa a la de Compresión por amplio margen.

5.1.8 CORTANTE. En cuanto a cortante Directo, es la prueba que presentó menos diferencia en sus datos con un promedio en general de 60 Kgr / Cm². Se toman como valores representativos las magnitudes menores halladas a las probetas abiertas y cerradas (también por recomendación de la norma INBAR) y como en los casos anteriores el menor de cada condición, para este caso la magnitud es de 59.05 Kgr / Cm² en Probetas Abiertas y 59.345 Kgr / Cm² en Probetas Cerradas.

En esta prueba la sección Basa soportó un poco mas que la sección cepa, pero en si la diferencia no es relevante, a lo cual se puede argumentar que las dos secciones poseen igual capacidad al efecto.

Ahora en cuanto a cortante perpendicular o indirecto, se estableció la ecuación de para la Guadua, la cual es:

$$\tau_{MAX} = \frac{4 * V}{3 * A} \left(\frac{DE^2 + (DE * DI) + DI^2}{DE^2 + DI^2} \right)$$

Donde: DE: Diámetro externo, DI: Diámetro Interno, V: Carga transversal definida anteriormente y A: Área de la sección (Cm²).

Con respecto a los resultados obtenidos en las pruebas de Cortante Indirecto, se tomó como representativo el de la condición de carga aplicada en los nodos (Por recomendación de la INBAR), al igual que el casos anteriores se optó por el menor valor debido a la seguridad, el cual fue de 82.53 Kgr / Cm².

En forma directa el Cortante arrojó en promedio general 60 Kgr / Cm², mientras que en forma indirecta el mismo fenómeno obtuvo una cifra de aproximadamente 82.53 Kgr / Cm², aunque se tomó el valor mas bajo en la condición indirecta, en el resto del ensayo la diferencia es de aproximadamente el doble de la magnitud al de forma directa.

Se desvirtúa lo expresado por el Ingeniero David Trujillo, en las memorias del Seminario – Taller: AVANCES DE LA INVESTIGACION EN GUADUA, realizado en Pereira en Mayo de 2002, por medio de su presentación DISEÑO DE UNIONES Y ELEMENTOS EN ESTRUCTURAS DE GUADUA (Página 5), en la cual concluye que los valores de determinados por ensayos en forma indirecta y las cifras determinadas en forma directa son aproximadamente iguales.

Se corrobora lo investigado en el Manual de Maderas del Grupo Andino, en donde se encontró que la resistencia en forma directa es menor en casi tres veces a la resistencia establecida en forma indirecta.

En todos los ensayos, la humedad de las pruebas estuvo por debajo del 25%, esto es lo recomendado por la norma NSR 98.

5.1.9 FLEXION. Se hace una aclaración de términos en cuanto a al nomenclatura utilizada:

FB3N = FLEXIÓN EN BASA CON CARGA APLICADA EN LOS ENTRENODOS.

FB4N = FLEXIÓN EN BASA CON CARGA APLICADA EN LOS NODOS.

FC3N = FLEXIÓN EN CEPA CON CARGA APLICADA EN LOS ENTRENODOS.

FC4N = FLEXIÓN EN CEPA CON CARGA APLICADA EN LOS NODOS.

Con respecto a los resultados obtenidos en las pruebas de Flexión, se tomó como representativo el de la condición de carga aplicada en los nodos (por recomendación de la INBAR), al igual que el casos anteriores se optó por el menor valor de esfuerzo último debido a la seguridad, el cual fue de 288.36 Kgr / Cm² y su Admisible de 90.26 Kgr / Cm².

En cuanto a los Módulos se presenta los siguiente:

MÓDULO DE ELASTICIDAD DEBIDO AL EFECTO DE FLEXIÓN:

34669.517 Kgr / Cm²

MÓDULO DE CORTANTE DEBIDO AL EFECTO DE FLEXIÓN:

13599.795 Kgr / Cm²

Estos fueron tomados como el promedio general de todas las condiciones por lo que son propiedades innatas de todo el material.

La Relación E/G igual a 34669.517/ 13599.795 = 2.549; se aproxima a lo que presentan los libros que es de 3.

Los tipos de falla que se presentaron en la prueba fueron de dos clases: el primero fue un aplastamiento en los nodos, el cual no es normal en este tipo de pruebas, lo anterior se solucionó adaptando los apoyos a una forma semicircular. La segunda falla fue de Flexión, se presentaba en la línea del eje neutro y por lo general era de la parte central hacia los costados.

Como la resistencia de Compresión es menor que la de Tracción, la falla se iniciaba en la parte superior (Compresión) y luego se extendía a la parte inferior (Tracción).

5.1.10 CUADROS COMPARATIVOS. En cuanto a la comparación de la Guadua con el concreto y Acero, lo mas destacado es que el material de estudio supera al concreto en su propiedad de compresión y que en el efecto de Tracción posee valores parecidos a un Acero de resistencia media (Condición favorable).

Respecto a las comparaciones realizadas con otras maderas, la Guadua se encuentra posicionada en un buen lugar, ya que en Compresión está en un rango medio de valores de resistencia; en Tracción, Cortante y el Módulo de Rigidez supera a todas las maderas consultadas; sólo en Flexión esta por debajo, pero con la posibilidad de mejorar los resultados al efectuarse las recomendaciones dadas en el ítem de suelos. Es destacable las resistencias del Sapán en algunas condiciones como por ejemplo el Módulo Elástico, aventajando en enorme margen a la Guadua.

Ahora bien, Concerniente a los cuadros comparativos con estudios similares de otras regiones del País, es importante concluir que la Guadua del eje cafetero supera a la de Aratoca, es por eso que hace énfasis en las recomendaciones del los suelos y en trabajar el cultivo limpiándolo, extrayendo los tallos y los rizomas muertos, débiles, enfermos, cultivando nuevas plántulas a las distancias adecuadas y llevando un estricto control sobre el Guadua, todo esto es con el fin de poder sacar material que se pueda comerciar pero con garantías técnicas.

En cuanto al análisis de las diferentes condiciones ensayadas se puede ver que los valores tomados como oficiales son mucho más bajos que los máximos obtenidos, esto con el fin de preservar el principio conservador de incertidumbre, ya que el material ha sido extraído de un cultivo sin tecnificar, es un material isotrópico y la verdad es novedoso, a lo cual le falta mucho mas profundización en sus estudios.

Referente a las relaciones Esfuerzos Últimos vs. Contenido de Humedad, lo importante por mencionar es que se trabajó con ecuaciones exponenciales con coeficientes de correlación relativamente bajos (0.1 y 0.2). No se quiso trabajar con ecuaciones polinómicas de grado 6, ya que estas lo que hacen es suavizar la curva de tal forma que el coeficiente de correlación quede por encima de 0.5.

Se decidió trabajar estas relaciones con Esfuerzos Últimos, ya que en maderas este valor junto con el de Esfuerzos Admisibles son las magnitudes mas representativas; el inconveniente es que cada diseñador aplica factores de reducción diferentes y los

admisibles son muy subjetivos (en muchos casos no toman los del Manual de Maderas del Grupo Andino), contrario a esto los esfuerzos últimos son los que se extraen directamente de las pruebas de laboratorio, con un grado de veracidad bastante confiable.

Se desvirtúan muchas teorías y formulaciones planteadas por Ingenieros del eje cafetero y Bogotá quienes erróneamente expresaban sus conclusiones como si fueran verdades divinas.

5.2 RECOMENDACIONES.

Concerniente al trabajo desarrollado, es necesario que el dueño del cultivo siga las sugerencias expresadas en el análisis Químico del suelo; ya que la finalidad de este sembradío, es convertirse en un tiempo no muy lejano, en el primer productor de Guadua tecnificada de Santander.

Se aconseja que al término del desarrollo de las recomendaciones dadas y de aplicar un proceso de limpieza y seguimiento aproximado de 2 años, se realice una serie de pruebas similares a las actuales, con el objeto de comparar y establecer en forma cuantitativa la influencia en la carencia de ciertos elementos Químicos que sirven de alimento al cultivo, ya que con esta investigación sólo se pueden establecer ciertas relaciones pero de carácter cualitativo.

También se aconseja al propietario, realizar una serie de actividades complementarias a las ya mencionadas, relacionadas con la limpieza del Guadual propiamente. Se encontró que en algunas zonas del mismo, es casi imposible el tránsito normal de las personas, dificultando las labores de corte y transporte del material al sitio de almacenamiento.

Se sugiere a futuros proyectos similares al desarrollado, que sigan las pautas relacionadas con la época, hora de corte, las herramientas utilizadas para el mismo, pero sobretodo el extraer Guadua de un sólo sitio, ya que el no hacerlo aumenta la incertidumbre al no poseer características análogas.

Se recomienda a las Entidades Ambientales, ofrecer mayor apoyo a este tipo de investigaciones, ya que son muy benéficas para la comunidad, siendo una alternativa de empleo directo e indirecto para los pobladores de la región donde se cultiva esta planta.

Se recomienda que se siga investigando respecto de este material, ya que es novedoso y podría convertirse en una fuente de progreso y desarrollo para el Departamento.

Se sugiere que para estudios posteriores se realice un proyecto en el cual se traiga Guadua del eje cafetero y de Santander, se realicen las mismas pruebas expuestas en este trabajo y se controlen variables que para el presente estudio no se pudieron manejar por cuestiones fuera del alcance de los integrantes.

Se invita a los Ingenieros estructurales a garantizar las condiciones específicas de seguridad, calidad, economía y durabilidad aplicado al conocimiento científico y tecnológico; la vida útil de todo tipo de construcción se fundamenta en la medida en que se domine todo un conjunto de principios teóricos que son necesarios e indispensables para un buen análisis y al adecuado desarrollo de las propiedades mecánicas del material: El proceso con la Guadua hasta ahora se inicia en SANTANDER.

Es recomendable que se realicen pruebas individuales a cada ensayo con un número mayor de probetas y se le adicionen nuevas situaciones tanto de geometría como de carga, para así verificar la resistencia ante esas sollicitaciones.

BIBLIOGRAFIA.

AIS. ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE INGENIERIA SÍSMICA. NSR-98. Normas Colombianas De Diseño Y Construcción Sismo Resistente. Tomo 4. Bogotá, 2002.

AIS. ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE INGENIERIA SÍSMICA. Manual De Construcción Sismo Resistente De Viviendas En Bahareque Encementado, 2001. Publicación Con El Auspicio De La Fundación Corona.

ARANGO, Antonio. Manual De Laboratorio De Mecánica De Suelos. Universidad Nacional De Medellín. Facultad De Ingeniería De Minas. Medellín

CARDENAS, Mario Y HERNANDEZ, Rafael. Estudio De Las Propiedades Físico - Mecánicas De Algunas Maderas De La Región De Santander Y Sus Usos En La Construcción. Bucaramanga, Universidad Industrial De Santander, 1985.

CASTAÑO, Francisco. Régimen De Aprovechamiento De Un Bosque De Guadua Expuesto En El Seminario-Taller Avances E Investigación Sobre Guadua. Pereira, 2002.

COCHRAN, William. Técnicas De Muestreo. Library of Congress Catalog Card Number 63 - 7553. Compañía Editorial Continental S.A. Mexico D.F, 1971.

CORPES. CONSEJO REGIONAL DEL CENTRO DEL ORIENTE y GOBERNACIÓN DE SANTANDER. Atlas Ambiental del Departamento de Santander, 1991.

C.R.Q.-CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL QUINDÍO. CENTRO NACIONAL PARA EL ESTUDIO DEL BAMBÚ-GUADUA. Hojas informativas No. 1 al 15.

DE LA ROSA, Jesús. Estadística Para El Conocimiento Y/O Investigación Psicopedagógico. Editorial ALFA Y OMEGA. Santo Domingo, Republica Dominicana, 1978.

GERE, James y TIMOSHENKO, Stephen. Mecánica De Materiales. Editorial Iberoamérica. México. 1954.

GIRALDO HERRERA. Edgar Y SABOGAL OSPINA. Aureliano. Una Alternativa Sostenible: La Guadua. Corporación Autónoma Regional Del Quindío C.R.Q., 1999.

GIRALDO HERRERA. Edgar Y SABOGAL OSPINA. Aureliano. "La Guadua Angustifolia KUNTH EN COLOMBIA". Corporación Autónoma Regional de Quindío. C.R.Q. Subdirección De Recursos Naturales Y Educación Ambiental. Centro Nacional Para El Estudio Del Bambú-Guadua., 1999.

GIRALDO HERRERA. Edgar Y SABOGAL OSPINA. Aureliano. La Guadua Y Las Fuentes De Agua, Su Silvicultura Y Cultivo. Corporación Autónoma Regional Del Quindío, 1999.

HIDALGO LÓPEZ, Oscar. Bambú, Su Cultivo Y Aplicaciones En Fabricación De Papel, Construcción, Arquitectura, Ingeniería, Artesanía. CIBAM, Centro de Investigación de Bambú y Madera, Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia.

JANSSEN , Jules . LABORATORY MANUAL ON TESTING METHODS FOR DETERMINATION OF PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF BAMBOO, Alemania, January 1999.

LEON, S. Luis Albino. Mapa Geológico Del Departamento De Santander. Departamento De Geología, Universidad Industrial De Santander. Bucaramanga, 1991.

LONDOÑO PAVA, Ximena. Distribución, Morfología, Taxonomía, Anatomía, Silvicultura Y Usos De Los Bambúes Del Nuevo Mundo. En: CESPEDESIA. Vol. 19, Nos. 62-63 (Enero – Diciembre 1992). Cali, Colombia. P.87-137.

LÓPEZ Luis Felipe y SILVA Mario Felipe. Comportamiento sismorresistente de estructuras en Bahareque. Trabajo de grado (Ingeniero Civil). Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ingeniería. Departamento de Ingeniería Civil. Manizales, 2000.

MANUAL DE DISEÑO PARA MADERAS DEL GRUPO ANDINO. Editado por la Junta del Acuerdo de Cartagena. Lima – Perú, 1984.

MONTGOMERY, Douglas. Diseño y Análisis de Experimentos. Grupo Editorial Iberoamericano México DF, 1991.

MORALES PINZON Tito. Proyecto De Investigación: Ensayo Preliminar De Contenido De Azúcar En La Guadua. Universidad Tecnológica De Pereira, 2002.

MORENO, Wilfredo. Aplicaciones Al Diseño De Experimentos. Edición UIS. Bucaramanga, 1993.

PICO, Enrique Y MONSALVE, Gilberto. Incidencia De La Humedad En Las Propiedades Físico – Mecánicas De Las Maderas Usadas En Construcción. Universidad Industrial De Santander. Bucaramanga, 1991.

PRIETO, Edwin y SANCHEZ, Jorge H. Comportamiento De La Guadua Angustifolia Sometida A Flexión. Bogotá, 2001. Trabajo De Grado (Ingeniero Civil). Universidad Nacional De Colombia. Facultad De Ingeniería. Departamento De Ingeniería Civil.

SALAMANCA, S. Rafael. Suelos y Fertilizantes. Universidad Santo Tomás. Bogotá, 1990.

SEELY, F.B. Resistencia De Materiales. Editorial Hispanoamericana. México. 1954.

SILVA, M. Francisco. Estudio Químico y Biológico de los Suelos de Santander, Empresa Nacional de Publicaciones. Bogotá, 1957.

URIBE, Maritza y DURÁN, C. Alejandro. Estudio De Elementos Solicitados A Compresión Armados Por Tres Guaduas. Trabajo De Grado (Ingeniero Civil). Universidad Nacional De Colombia. Facultad De Ingeniería. Departamento De Ingeniería Civil. Bogotá, 2002.

ZARATE, Gloria. Métodos De Inferencia Estadística Aplicada A La Investigación. Editorial UIS. Bucaramanga, 1992.