

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES



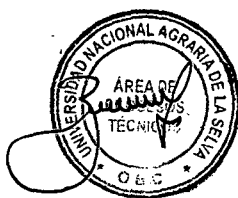
**“EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS
DEL CULMO DE *Guadua angustifolia* Kunth., EN TRES
NIVELES DE ALTURA”**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES
MENCIÓN FORESTALES**

PRESENTADO POR:

JAIRO EDSON GUTIÉRREZ COLLAO

2015



**T
FOR**

Gutiérrez Collao, Jairo Edson

“Evaluación de las propiedades mecánicas del culmo de *Guadua angustifolia* Kunth., en tres niveles de altura”

81 páginas; 29 cuadros; 61 figuras.; 26 ref.; 30 cm.

Tesis (Ing. en Recursos Naturales Renovables Mención: Forestales) Universidad Nacional Agraria de la Selva, Tingo María (Perú). Facultad de Recursos Naturales Renovables

1. GUADUA ANGUSTIFOLIA

2. FLEXIÓN

3. COMPRESIÓN

4. CIZALLAMIENTO



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
Tingo María – Perú

FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Los que suscriben, Miembros del Jurado de Tesis, reunidos con fecha 11 de setiembre de 2015, a horas 7:00 p.m. en la Sala de Grados de la UNAS, para calificar la Tesis titulada:

“EVALUACIÓN DE PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CULMO DE *Guadua angustifolia* Kunth, EN TRES NIVELES DE ALTURA”

Presentado por el Bachiller: **GUTIÉRREZ COLLAO, Jairo Edson**, después de haber escuchado la sustentación y las respuestas a las interrogantes formuladas por el Jurado, se declara aprobado con el calificativo de **“MUY BUENO”**

En consecuencia, el sustentante queda apto para optar el Título de **INGENIERO EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES**, Mención: **FORESTALES**, que será aprobado por el Consejo de Facultad, tramitándolo al Consejo Universitario para la otorgación del Título correspondiente.

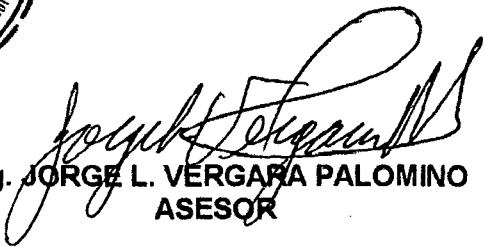
Tingo María, 07 de octubre de 2015.


Ing. M.Sc. RICARDO OCHOA CUYA
PRESIDENTE




Ing. MANUEL BRAVO MORALES
VOCAL


Ing. M.Sc. LADISLAO RUIZ RENGIFO
VOCAL


Ing. JORGE L. VERGARA PALOMINO
ASESOR

DEDICATORIA

*A mis amados padres José Alfredo
Gutiérrez García y Victoria Collao
Limo; por su amor, dedicación y
abnegado sacrificio.*

*A mis queridos hermanos Franco
Spencer Gutiérrez Collao y Kristhy
Victoria Gutiérrez Collao; con
cariño, por su constante apoyo y
aliento para realizar una de mis
metas.*

*A mis queridos abuelitos Ángel María
Collao Meléndez y Olga René Limo
Torres, mi tío Octavio Jesús Collao
Limo y mi primo Jesús Collao Ponce;
que desde el cielo nos iluminan con
sus bendiciones, así como a mis
abuelitos Jorge Santiago Gutiérrez
Quiliche y Anatolia García León; por
sus sabios consejos.*

*A mis tíos y primos paternos y
maternos; por su apoyo y aliento y
por el gran cariño que les tengo.*

AGRADECIMIENTOS

- A Dios, por brindarme la vida y permitirme salir adelante en los momentos más difíciles, y así poder tener la oportunidad de cumplir con mis deseos de superación.
- A la Universidad Nacional Agraria de la Selva, “alma máter” de mi formación profesional.
- A los Docentes de la Facultad de Recursos Naturales Renovables, quienes contribuyeron en mi formación académica.
- Al Ing. Jorge Luis Vergara Palomino por su valiosa colaboración como asesor.
- A los ingenieros David Lluncor Mendoza y Robert Pecho De La Cruz quienes en su calidad de co-asesores de Tesis, me orientaron oportunamente para el logro de los objetivos planteados y consecuentemente culminar exitosamente este trabajo.
- Al señor Mario Sosa Shapiama, por su valiosa colaboración en la ubicación del material vegetativo, extracción del material vegetativo y elaboración de las probetas.
- A mis compañeros, amigos y a todos aquellos que de una y otra forma contribuyeron para la culminación del presente trabajo.

ÍNDICE

	Página
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA	4
2.1. Propiedades mecánicas	4
2.1.1. Flexión estática	6
2.1.2. Compresión	8
2.1.3. Cizallamiento	8
2.2. <i>Guadua angustifolia</i> Kunth	9
2.2.1. Descripción taxonómica	9
2.2.2. Descripción botánica y desarrollo	10
2.2.3. Descripción general.....	12
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	18
3.1. Ubicación del experimento	18
3.2. Ubicación política	18
3.3. Ubicación geográfica	19
3.3.1. Características climáticas	19
3.4. Materiales, insumos y equipos	21
3.5. Metodología.....	22
3.5.1. Ubicación de las matas	22
3.5.2. Selección de las matas.....	23

3.5.3. Selección de culmos	24
3.5.4. Obtención de culmos	25
3.5.5. Corte de culmos.....	25
3.5.6. Obtención de las probetas.....	28
3.5.7. Acondicionamiento de las probetas.....	32
3.5.8. Realización de ensayos	37
3.5.9. Determinación del contenido de humedad de las probetas ensayadas	48
3.5.10. Procesamiento de datos.....	50
IV. RESULTADOS	52
4.1. Determinación de la variabilidad a la flexión estática, del culmo maduro de <i>Guadua angustifolia</i> Kunth, a diferentes niveles de altura	52
4.1.1. Cálculo del esfuerzo unitario en el límite proporcional.....	52
4.1.2. Cálculo del esfuerzo unitario máximo (Módulo de ruptura).....	54
4.1.3. Cálculo del módulo de elasticidad.....	55
4.2. Determinación de la variabilidad a la compresión paralela y perpendicular, del culmo maduro de <i>Guadua angustifolia</i> Kunth, a diferentes niveles de altura.....	57
4.2.1. Compresión paralela	57
4.2.2. Compresión perpendicular	61

4.3. Determinación de la variabilidad al cizallamiento del culmo maduro de <i>Guadua angustifolia</i> Kunth, a diferentes niveles de altura	63
4.3.1. Cálculo del esfuerzo de rotura por cizallamiento	63
V. DISCUSIÓN	65
5.1. De la determinación de la variabilidad a la flexión estática, del culmo maduro de <i>Guadua angustifolia</i> Kunth, a diferentes niveles de altura	65
5.1.1. Del cálculo del esfuerzo unitario en el límite proporcional	66
5.1.2. Del cálculo del esfuerzo unitario máximo (Módulo de ruptura) ...	66
5.1.3. Del cálculo del módulo de elasticidad.....	67
5.2. De la determinación de la variabilidad a la compresión paralela y perpendicular, del culmo maduro de <i>Guadua angustifolia</i> Kunth, a diferentes niveles de altura.....	68
5.2.1. Compresión paralela	68
5.2.2. Compresión perpendicular	69
5.3. De la determinación de la variabilidad al cizallamiento del culmo maduro de <i>Guadua angustifolia</i> Kunth, a diferentes niveles de altura	70
5.3.1. Del cálculo del esfuerzo de rotura por cizallamiento.....	70
VI. CONCLUSIONES	72
VII. RECOMENDACIONES.....	74
VIII.ABSTRACT.....	75

IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	77
--------------------------------------	----

ANEXO	81
-------------	----

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro	Página
1. Resistencia de la <i>Guadua angustifolia</i> Kunth. a la flexión	15
2. Esfuerzo al límite proporcional en compresión perpendicular (kg/cm ²) en <i>Guadua angustifolia</i> Kunt.	16
3. Ubicación política.....	18
4. Ubicación geográfica	19
5. Datos climáticos durante el período de evaluación.....	20
6. Número de probetas/culmo.....	32
7. Formato para los resultados de los ensayos mecánicos	51
8. Esfuerzo unitario promedio en el límite proporcional en flexión	53
9. Esfuerzo unitario máximo promedio (MORF) en flexión	54
10. Módulo de elasticidad promedio (MOE) en flexión	56
11. Esfuerzo promedio al límite proporcional en compresión paralela	57
12. Esfuerzo promedio de rotura en compresión paralela	59
13. Módulo de elasticidad promedio (MOE) en compresión paralela.....	60
14. Esfuerzo promedio al límite proporcional en compresión perpendicular..	62
15. Esfuerzo promedio de rotura por cizallamiento.....	63
16. Características de la mata N° 01	92
17. Características de la mata N° 02	93
18. Características de la mata N° 03	94
19. Características de la mata N° 04	95
20. Características de la mata N° 05	96
21. Características de la mata N° 06	97

22. Características de la mata N° 07	98
23. Características del culmo N° 01.....	99
24. Características del culmo N° 02.....	100
25. Características del culmo N° 03.....	101
26. Características del culmo N° 04.....	103
27. Características del culmo N° 05.....	104
28. Características del culmo N° 06.....	106
29. Características del culmo N° 07.....	107

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Página
1. Culmo y brote de caña de <i>Guadua angustifolia</i> Kunth.....	11
2. Pruebas de laboratorio medición de un tipo de guadua.....	12
3. Propiedades mecánicas de la <i>Guadua angustifolia</i> Kunth.....	14
4. Curva de principales parámetros climáticos durante el secado	21
5. Llenando el formato de descripción de la mata	23
6. Determinando la altura total del culmo.....	24
7. Limpieza del área de trabajo.....	25
8. Corte del culmo de <i>Guadua angustifolia</i> Kunth.....	26
9. Corte del culmo de <i>Guadua angustifolia</i> Kunth. en tres partes.....	27
10. Acomodo de culmos de <i>Guadua angustifolia</i> Kunth. en el Laboratorio Taller de Aprovechamiento y Maquinaria Forestal	28
11. Codificación de probetas de <i>Guadua angustifolia</i> Kunth.	29
12. Probetas para ensayo de flexión	30
13. Probetas para ensayo de compresión paralela al grano	30
14. Probetas para ensayo de compresión perpendicular al grano	31
15. Probetas para ensayo de cizallamiento	31
16. Acondicionamiento de probetas.....	33
17. Pesado de probetas.....	34
18. Embalado de probetas.....	35
19. Aplicación del insecticida Tifón 2.5 PS en probetas	36
20. Aplicación del insecticida Cyperklin 25 en probetas	36
21. Aplicación de petróleo en probetas.....	37
22. Forma de determinar las dimensiones de las probetas	38

23. Determinando las dimensiones de las probetas	39
24. Realizando el ensayo de flexión	40
25. Realizando el ensayo de compresión paralela	43
26. Realizando el ensayo de compresión perpendicular	46
27. Realizando el ensayo de cizallamiento	47
28. Pesado de las probetas después de los ensayos	49
29. Secado de las probetas en la estufa.....	50
30. Esfuerzo unitario promedio en el límite proporcional en flexión.....	53
31. Esfuerzo unitario máximo promedio (MORF) en flexión	55
32. Módulo de elasticidad promedio (MOE) en flexión	56
33. Esfuerzo promedio al límite proporcional en compresión paralela.....	58
34. Esfuerzo promedio de rotura en compresión paralela	59
35. Módulo de elasticidad promedio (MOE) en compresión paralela.....	61
36. Esfuerzo promedio al límite proporcional en compresión perpendicular	62
37. Esfuerzo promedio de rotura por cizallamiento.....	64
38. Mata de Guadua angustifolia Kunth.....	82
39. Extracción del culmo de bambú	82
40. Tocón del culmo extraído.....	83
41. Calculando la circunferencia del culmo.....	83
42. Marcando el número de internudos	84
43. Pasando con tiza en los extremos del culmo	84
44. Corte de los culmos por niveles para obtener probetas.....	85
45. Codificación de probetas para ensayo mecánico	85
46. Obtención de probetas para cizallamiento.....	86

47. Probetas obtenidas para los ensayos mecánicos	86
48. Acomodo de las probetas de para el secado natural	87
49. Acomodo de las probetas para el secado natural	87
50. Reloj ambiental	88
51. Deformaciones en probeta de compresión perpendicular.....	88
52. Deformación en probeta de cizallamiento	89
53. Insecticida TIFON para combatir la polilla	89
F54. Insecticida Cyperklin 25 para combatir la polilla	90
55. Esfuerzo de flexión en la probeta	90
56. Esfuerzo de compresión paralela en la probeta.....	91
57. Esfuerzo de cizallamiento en la probeta	91
58. Gráficos de flexión en la probeta (B1BF1) obtenidos en el Test	
Navegator.....	110
59. Gráficos de compresión paralela en la probeta (B1MCPa1) obtenidos	
en el Test Navegator	110
60. Gráficos de compresión perpendicular en la probeta (B1MCPe2)	
obtenidos en el Test Navegator.....	111
61. Gráficos del esfuerzo de rotura por cizallamiento en la probeta	
(B1ACz1) obtenidos en el Test Navegator	111

RESUMEN

La deforestación de bosques va alcanzando cifras alarmantes en el Perú por falta de estudio de especies que puedan suplir a la madera, tal como el bambú *Guadua angustifolia* Kunth., que presenta un gran potencial, pero por falta de evaluación de sus propiedades mecánicas no es utilizado ni aprovechado óptimamente; para ello se plantearon los objetivos tales como determinar los esfuerzos de flexión, compresión paralela y perpendicular y de cizallamiento a tres niveles de altura (base, medio y ápice). La investigación se realizó en el Laboratorio de Tecnología de la Madera de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Nacional de Ucayali (UNU), utilizando bambú *Guadua angustifolia* Kunth., extraída del Fundo de la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional Agraria de la Selva (UNAS); los datos obtenidos de los ensayos mecánicos, se integraron con respecto a la media y al coeficiente de variación. Los resultados mostraron en flexión para el cálculo del esfuerzo unitario en el límite proporcional mayor variabilidad en nivel base con 48.86%, secundado del nivel ápice con 48.02% y por último el nivel medio con 38.64%; en el cálculo del esfuerzo unitario máximo (MOR) se registró mayor variabilidad en nivel ápice con 44.00%, secundado del nivel base con 33.56% y por último el nivel medio con 19.91%; en el cálculo del módulo de elasticidad se registró mayor variabilidad en nivel base con 55.99%, secundado del nivel ápice con 52.93% y por último el nivel medio con 31.47%. En compresión paralela para el cálculo del esfuerzo al límite proporcional se registró mayor variabilidad en nivel base con 68.41%, secundado del nivel ápice con 64.99% y por último el nivel medio con 55.41%; en el cálculo del esfuerzo de rotura se registró mayor variabilidad en

nivel base con 34.45%, secundado del nivel medio con 28.19% y por último el nivel ápice con 19.63%; en el cálculo del módulo de elasticidad se registró mayor variabilidad en nivel base con 129.01%, secundado del nivel medio con 126.95% y por último el nivel ápice con 34.97%. En compresión perpendicular para el cálculo del esfuerzo al límite proporcional se registró mayor variabilidad en nivel ápice con 53.58%, secundado del nivel medio con 30.15% y por último el nivel base con 14.47%. En cizallamiento el cálculo del esfuerzo de rotura registró mayor variabilidad en nivel base con 23.50%, secundado del nivel ápice con 17.65% y por último el nivel medio con 14.65%.

I. INTRODUCCIÓN

En la mayoría de los países desarrollados, es un requisito indispensable clasificar a las maderas de acuerdo a sus propiedades físicas y mecánicas para brindarles una óptima utilización (ROBLES y ECHENIQUE, 1993). Por ello es importante contar con un sistema de clasificación estructural de las especies de interés económico y en base a análisis de laboratorio asignarle a cada especie sus valores más confiables, con el objeto de brindarles un mejor uso y desempeño (PENICHE, 1990). La clasificación estructural, se deriva de las pruebas mecánicas, a los que son sometidos una serie de probetas de diferentes dimensiones, cuyo comportamiento a la aplicación de fuerzas mediante la utilización de aparatos y adimentos específicos a la vez que proporcionan la carga referida, registran la magnitud de la misma (ASTM, 1992).

Las gramíneas en el contexto nacional e internacional son muy importantes, se debe exponer que la especie *Guadua angustifolia*, ha tenido un gran uso, difusión e importancia en los países asiáticos, entre otros, China, Japón, Corea y Vietnam. De manera similar en Latinoamérica, Colombia es el máximo exponente en la proyección de usos de la *Bambusa sp.*, especialmente *Bambusa vulgaris* y *Guadua angustifolia*. Este país se proyecta al mundo con una 28.000 hectáreas de *Guadua* ubicados en Quindío, y de las cuales se

aprovecha el 5% con fines constructivos y paisajísticos (LONDOÑO, 2001 y VILLEGAS, 2003).

Debido a que el sector industrial forestal nacional, enfrenta retos cada vez más complicados, donde el tema de la calidad es pieza fundamental para competir internacionalmente. Actualmente no se cuenta con el conocimiento tecnológico de las especies de interés comercial y si se cuenta con ello, no se le da el uso adecuado.

La hipótesis planteada en la investigación es “las propiedades mecánicas varían de acuerdo a los niveles de altura del culmo maduro de *Guadua angustifolia*”.

El valor de la investigación pretende reunir los elementos necesarios para conocer el comportamiento mecánico de la especie *Guadua angustifolia* Kunth. En tal sentido, los objetivos propuestos son:

General:

- Conocer las propiedades mecánicas del culmo maduro de *Guadua angustifolia* Kunth, en diferentes niveles de altura.

Específicos:

- Determinar la variabilidad a la flexión estática, del culmo maduro de *Guadua angustifolia* Kunth, a diferentes niveles de altura.

- Determinar la variabilidad a la compresión paralela y perpendicular, del culmo maduro de *Guadua angustifolia* Kunth, a diferentes niveles de altura.
- Determinar la variabilidad al cizallamiento, del culmo maduro de *Guadua angustifolia* Kunth, a diferentes niveles de altura.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Propiedades mecánicas

La madera es un cuerpo sólido, poroso y heterogéneo que tiene la capacidad de resistir a sollicitaciones externas, que tienden a deformarla o alterar sus dimensiones (Díaz-Vaz y Cuevas, 1982; citado por DÍAZ, 2005).

Karsulovic (1982) y Pérez (1983), citados por DÍAZ (2005) afirman que las propiedades mecánicas son las que determinan la capacidad que tienen los materiales de resistir fuerzas externas, con lo cual se puede controlar las formas más adecuadas. Cuevas (2003), citado por DÍAZ (2005), señala que las diferentes sollicitaciones a que puede estar sometida la madera son la flexión estática, compresión, tracción, cizalle, clivaje, dureza y tenacidad.

En general, estas propiedades mecánicas están determinadas por la gravedad específica, la cual varía aproximadamente de 0,5 – 0,9 g/cm³. La gravedad específica depende principalmente del contenido de fibra, del diámetro de la fibra y del grosor de las células de la pared de la fibra, por lo tanto varía considerablemente dentro de un mismo culmo y entre especies.

También indican que la gravedad específica se incrementa a lo largo del culmo, desde la base hacia el ápice, debido a la reducción de la pared del

culmo y al incremento en la concentración de haces vasculares. La reducción del espesor de la pared del culmo está asociada con la resistencia mecánica, especialmente hacia el ápice, el cual contiene menos parénquima y más fibra.

LONDOÑO (2001) señala que, el grosor de la pared del culmo decrece más rápido en el segmento basal, lo cual podría explicar por qué los cambios anatómicos entre un entrenudo y el siguiente son más pronunciados en este segmento que en los segmentos medio y apical. Los nudos tienen una gran influencia en la resistencia mecánica del culmo: presentando una gravidez específica mayor, un menor volumen de encogimiento y una menor resistencia tensil que los entrenudos por aquello de tener fibras más cortas y haces vasculares distorsionados. Así mismo dice que las características anatómicas del grosor del culmo (dimensiones de los haces vasculares, diámetro del metaxilema, porcentaje de parénquima, fibra y tejidos vasculares), no tienen correlación con la edad del culmo, mientras que el porcentaje de tipos celulares es similar a otros bambúes.

González (2000), citado por CASTRILLÓN y MALAVER (2004) menciona que diferentes estudios sobre las propiedades mecánicas de las especies de bambú coinciden en que son algunas particularidades las que inciden en la calidad de la misma, para las diferentes aplicaciones a las que puede tener lugar en el campo de la construcción. Entre ellas puede citarse la debida al proceso de degradación de sus elementos constitutivos como la lignina o el deterioro por insectos u hongos, de ahí, que conocer las principales causas de estos procesos sean un mecanismo para mejorar las características

afectadas y disminuir de esta manera las diferencias que suelen presentarse con relación a otros materiales de construcción.

Para obtener resultados con una seguridad estadística de 95% y un intervalo de confianza de $\pm 15\%$ se deben seleccionar 5 individuos por cada especie (ARÓSTEGUI, 1975). Por su parte ORDÓÑEZ (1999) recomienda que para seleccionar el material experimental, este debe haber llegado a su madurez, señalando que las propiedades mecánicas del bambú son más altas en individuos maduros, en promedio a la edad de 5 años.

2.1.1. Flexión estática

Karsulovic (1982) y Campos *et al.* (1990), citados por DÍAZ (2005) afirman que los esfuerzos en flexión se producen en cuerpos de gran longitud respecto a las dimensiones de su sección transversal, de tal manera que tiendan a producir una arqueadura del elemento. Un caso típico es el de la viga. El ensayo de flexión estática mide la resistencia que opone una viga a una carga puntual aplicada en el centro de la luz o distancia entre apoyos, aplicada en la cara radial de la probeta.

La flexión es una combinación de tres esfuerzos, tracción, compresión y cizalle. Estas causan la curvatura del cuerpo, con la parte superior cóncava (en compresión), la inferior convexa (en tracción) y el plano neutro tendiendo a resbalar entre las dos fuerzas opuestas (en cizallamiento).

González (2000), citado por CASTRILLÓN y MALAVER (2004) recomienda que para la determinación de las propiedades mecánicas en flexión del culmo se debe trabajar con secciones cercanas a la circular, aunque sus irregularidades pueden llegar a ser muy grandes. Además indica que se miden las secciones en los extremos del espécimen, para control de la prueba, al final de la misma se miden las secciones cercanas a los puntos de carga, y con el promedio de estas mediciones se calculan el módulo de ruptura (MOR) y el módulo de elasticidad (MOE). Así, estas variaciones geométricas son compensadas y el elemento es tratado (en los cálculos) como una viga de sección transversal perfectamente circular y constante a lo largo del tallo. Este método da una buena aproximación al comportamiento real de un elemento.

LONDOÑO *et al.* (2002) indican que en el bambú se tienen dos circunstancias en laboratorio que afectan la confiabilidad de los resultados: En primer lugar, en laboratorio es imposible lograr que la aplicación de las cargas se haga en el eje centroidal, y esta pequeña excentricidad produce deflexión y momento sobre la columna; y en segundo lugar, las imperfecciones (curvaturas, rajaduras) que pueden tener los tallos inducen flexión y esfuerzos anormales. Los autores sugieren reducir el error usando probetas de menor longitud.

JANSSEN (2002) menciona que la acumulación de fibras de alta resistencia en las partes externas de la pared del bambú también trabaja positivamente a favor de los módulos elásticos como lo hace para las resistencias a tensión y flexión.

Como los módulos elásticos de la madera sólida, en el caso de la *Guadua sp.*, decrecen entre 5 y 10% con el aumento de los esfuerzos. La alta elasticidad de dicha especie, lo hace un material potencial para ser usado en áreas con alto riesgo sísmico.

2.1.2. Compresión

Karsulovic (1982) y Campos *et al.* (1990), citados por DÍAZ (2005) afirman que se distinguen dos tipos de fuerzas de compresión según el sentido de aplicación de la fuerza; compresión paralela y compresión perpendicular a la fibra. La compresión paralela ocurre cuando una fuerza actúa de manera paralela a las fibras y corresponde a la resistencia que opone una viga a una carga aplicada en el mismo sentido de la dirección de la fibra. La compresión perpendicular, ocurre cuando la fuerza solicitante actúa en dirección perpendicular a las fibras, y corresponde a la resistencia que opone la madera a una carga aplicada en sentido perpendicular a la dirección de las fibras en una cara radial de la probeta.

González y Díaz (1992), citados por CASTRILLÓN y MALAVER (2004) afirman que el bambú es bueno para soportar compresión, ya que su sección transversal es un tubo.

2.1.3. Cizallamiento

Karsulovic (1982) y Campos *et al.* (1990), citados por DÍAZ (2005) afirman que el cizallamiento es una propiedad mecánica que mide la resistencia

de los elementos de la madera a una fuerza externa que trata de ocasionar un desplazamiento de una parte de la misma. Esta propiedad puede ser perpendicular o paralela al grano, siendo la madera mucho más resistente al corte perpendicular que al paralelo.

El cizallamiento paralelo tangencial es donde la probeta es sometida a un corte en dirección paralela a las fibras originando un plano de falla tangente a los anillos de crecimiento. El cizallamiento paralelo radial es donde la probeta es sometida al corte paralelo de las fibras originando un plano de falla perpendicular a los anillos de crecimiento.

2.2. *Guadua angustifolia* Kunth

2.2.1. Descripción taxonómica

CRUZ (1994) señala que la caña guadua es una gramínea gigante que pertenece a la gran familia del Bambú. Clasificada por Humboldt Bonplant como *Bambusa guadua*.

Existen en especial dos especies muy importantes y tienen una diferencia que se la puede ver a simple vista como son las espinas.

Nombre científico : *Guadua angustifolia* Kunth.

Nombre vulgar : Caña brava (con espinas).

Caña mansa (sin espinas).

2.2.2. Descripción botánica y desarrollo

CRUZ (1994) afirma que el bambú crece desde 0 m.s.n.m hasta 2600 m.s.n.m, con temperaturas muy variables que van desde los 16° C hasta los 36° C, soporta alta humedad ambiental. No es muy exigente en suelo, aunque los prefiere francos, con pH neutros con tendencia a ligeramente ácidos. En general la guadua es cilíndrica hueca, con entrenudos que en la base son cortos y a medida que crece se van alargando. En cada nudo existe una doble raya blanca que sirve para identificar a las guadas de otro tipo de bambú.

Por otro lado, BOTERO (2004) señala que el mejor desarrollo de la especie *Guadua angustifolia* Kunth., se logra en sitios con altitudes comprendidas entre 1300 y 1500 m.s.n.m., dicho desarrollo está representado en una mayor cantidad de individuos con diámetros elevados y en una mejor resistencia mecánica del bambú. Asimismo, los suelos francos, fértiles y de buen drenaje, ubicados en valles y zonas onduladas de montaña son los de mejor desarrollo de la guadua.

La guadua tiene una gran adaptabilidad a diferentes condiciones de clima y suelos, es decir, se adapta a diferentes condiciones ecológicas y ambientales.

No obstante, su crecimiento y desarrollo no siempre es igual en todos los sitios, por lo que se puede hablar de calidad de sitios buenos, regulares y malos.

El conocimiento de la calidad del sitio, donde crecen los bambusales, es un requisito importante para acertar en su manejo técnico. Los factores que más determinan la calidad de los sitios son los climáticos y edáficos, pero también influye en ello la calidad genética del material de reforestación, el manejo silvicultural y la influencia antrópica.

Una característica muy importante del bambú, es que nace con el diámetro que va a tener de adulto, debido a que no posee cambium por ser una gramínea.

Sus raíces son paquimorfas las cuales poseen yemas, las mismas que una vez que la planta alcanza su longitud total se activan y dan origen nuevos brotes o plántulas (CRUZ, 1994).

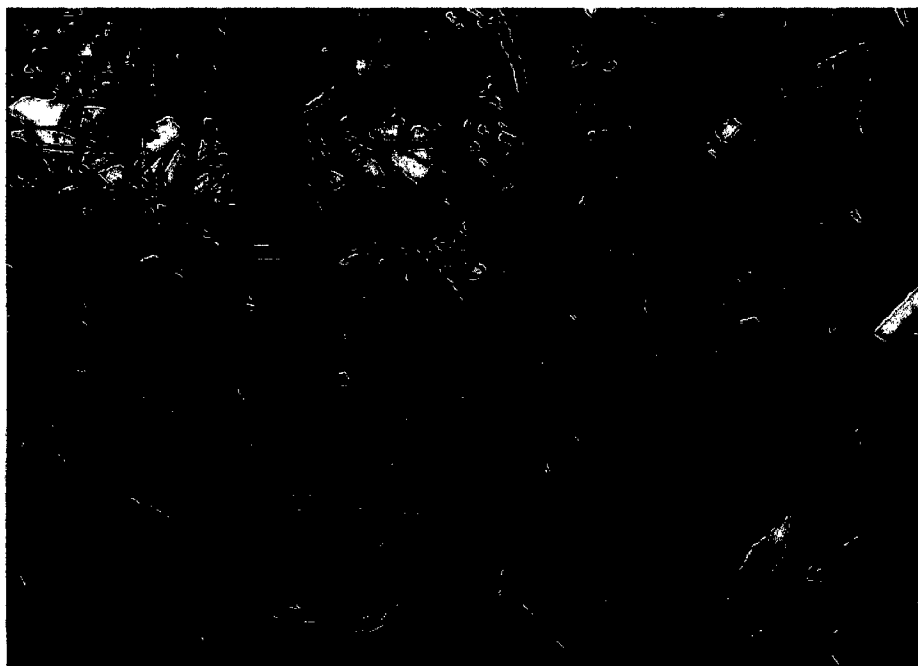


Figura 1. Culmo y brote de caña de *Guadua angustifolia* Kunth.

2.2.3. Descripción general

GIRALDO y SABOGAL (1999) señalan que la edad apropiada para el corte es entre los dos y los seis años, es la edad promedio de vida del culmo, de esta edad en adelante la planta pierde resistencia. Las rajaduras o aberturas que suceden cuando no se corta en el estado adecuado, o generadas por agujeros o astillas, constituyen otro punto importante tener en cuenta.

Para ejecutar construcciones adecuadas con guadua, es indispensable conocer y ejecutar correctamente el proceso preliminar de cultivo y obtención del material. Existen diversos aspectos de preservación a tener en cuenta por el contenido de almidón y humedad presentes en el bambú.



Figura 2. Pruebas de laboratorio medición de un tipo de guadua.

2.2.3.1. Propiedades mecánicas de *Guadua angustifolia* Kunth.

AHMAD (2000) señala que en Colombia la guadua es la especie forestal nativa con mayores posibilidades económicas, ya que su utilización en la construcción y la industria, permiten reducir costos, cuando es empleada como materia prima. Una característica de todo producto de la naturaleza es su variabilidad; la guadua como tal es buen ejemplo de ello. No existen dos pedazos de guadua iguales, aun siendo parte del mismo tallo o caña. Se presentan condiciones del ambiente como son el suelo y el clima que afectan la tasa de crecimiento, así como la estructura, la forma y las propiedades de resistencia.

BOTERO (2004) afirma que la *Guadua angustifolia* Kunth., tiene fibras naturales muy fuertes que la colocan entre las 20 mejores especies de bambúes del mundo.

Las propiedades de los culmos de bambú están determinadas por su estructura anatómica y son las características anatómicas del culmo las que en últimas reflejan el uso final de este material.

Entre los factores que influyen en la calidad de la guadua están las propiedades físicas; la gravedad o peso específico es buen indicativo por su estrecha relación con la resistencia mecánica, la contracción, el secado, el trabajo y otros muchos usos. La guadua es considerada como un material liviano, de fácil y económico desarrollo.

Como punto de partida para el conocimiento de las propiedades físico-mecánicas de esta especie vegetal se realizan pruebas en las que se toman las condiciones de ensayo de las normas colombianas sobre maderas establecidas por el Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación ICONTEC y las normas de la American Society for Testing and Materials ASTM.

Unidades en kg/cm ²	Módulo de elasticidad a tracción	Módulo de elasticidad a compresión	Módulo de elasticidad a flexión
MATERIAL			
Guadua	190.000	184.000	179.000
Otras maderas	Entre 90.000 y 180.000	Entre 96.000 y 169.000	Entre 108.000 y 128.000

En el caso del bambú, las propiedades mecánicas dependen de las características físicas del material que en particular sea utilizado construcción y no corresponden a valores absolutos o comparables con otras muestras, ya que las condiciones varían notablemente. Estos gráficos corresponden sólo a un esquema comparativo general ya que casi siempre, para un mismo material sus resistencias pueden variar.

Unidades en kg/cm ²	Resistencia a Tracción	Resistencia a Compresión	Resistencia a Flexión
MATERIAL		Perpendicular a la fibra Paralelo a la fibra	
Guadua	430	560 650	740
Aliso	108	68 357	460
Arboloco	Entre 500 y 1500	132 405	390
Otras maderas	1.000	Entre 50 y 144 400	Entre 500 y 720

Figura 3. Propiedades mecánicas de la *Guadua angustifolia* Kunth.

AHMAD (2000) señala que la compresión paralela a las fibras en el caso de la *Guadua* sp. manifiesta una resistencia menor comparada con la de tensión, comportamiento que se debe a la ausencia de radios medulares y cambium que caracterizan los tejidos presentes en la madera. Presentando un tejido constituido por fibras longitudinales.

JANSSEN (2002) alega que uno de los principales inconvenientes que se presenta en especies como la *Guadua sp.*, utilizada como material estructural, ocurre cuando se somete a esfuerzos de tensión y de cizallamiento, dadas las características propias del material, principalmente por la dirección paralela de las fibras en su estructura interna.

Con respecto a los ensayos de flexión, GONZÁLEZ y DÍAZ (1992) determinaron los esfuerzos unitarios máximos (MOR), el esfuerzo en el límite proporcional (RLP) y el módulo de elasticidad (MOE), en las dos especies de guadua (macana y cebolla), utilizando a nivel de laboratorio probetas sometidas a flexión entre 0.5 y 0.8 metros de longitud, encontrándose los siguientes intervalos de confianza para estos parámetros (Cuadro 1).

Igualmente, MEJÍA (1985), encontró esfuerzos en el límite proporcional (RLP) de 380 Kgf/cm² y módulos de elasticidad (MOE) de 95,903 Kgf/cm² en probetas de guadua sometidas a flexión pura, cuyas muestras fueron recogidas en la ciudad de Manizales.

Cuadro 1. Resistencia de la *Guadua angustifolia* Kunth. a la flexión.

Esfuerzo	Flexión (kg/cm ²)
Esfuerzos unitarios máximos (MOR)	561 +/- 93
Esfuerzos en el límite proporcional (RLP)	371 +/- 50
Módulo de elasticidad (MOE)	117210 +/- 93

Fuente: GONZÁLEZ y DÍAZ (1992).

Para ensayos de compresión paralela, GONZÁLEZ y DÍAZ (1992) encontraron para guaduas provenientes de Santafé de Antioquia valores de esfuerzos en el límite proporcional (ELP) de 12.38 MPa, y para guaduas provenientes de Risaralda valores de 19.79 MPa. Asimismo, Martín y Mateus (1981), citado por HIDALGO (2003) realizaron ensayos a compresión en guadua castilla, con longitudes de probetas que variaron entre 1 y 2 metros, utilizando la sección basal para guaduas con edades comprendidas entre los 3 y los 5 años y encontraron valores de esfuerzos de rotura mínimo y máximos de 26.46 MPa y 53.9 MPa respectivamente. Por otro lado, JANSSEN (2002) encontró como resistencia última de elementos sometidos a compresión paralela a la fibra valores promedios de 63.6 MPa. Para los ensayos de compresión perpendicular, LUNA *et al.* (2013) señalan que tras una investigación se registraron los siguientes valores:

Cuadro 2. Esfuerzo al límite proporcional en compresión perpendicular (kg/cm²) en *Guadua angustifolia* Kunt.

Parte de la guadua	Zona del País		
	Zona A	Zona B	Zona C
Inferior	8	11	15
Media	20	20	20
Superior	20	20	20
Total	48	51	55

Fuente: LUNA *et al.* (2013).

Por último, para los ensayos de cizallamiento, CHEATLE y LÓPEZ (2002) basados en la norma dada por el INBAR (The International Network for Bamboo and Rattan, 1999), encontraron un valor de esfuerzo admisible promedio de 6.87 MPa y 53.5 MPa para elementos de la especie como la *Guadua sp.*, sometidos a cizalladura y tensión paralela respectivamente. De igual manera GONZÁLEZ Y DÍAZ (1992) determinaron para elementos de dicha especie provenientes de Antioquia y Risaralda, sometidos a cizalladura, esfuerzos promedios de 5.78 MPa y de 7.74 MPa. También, CASTRILLÓN y MALAVER (2004), para elementos de *Guadua sp.*, sometidos a cizalladura registraron valores promedios de 7.84 MPa y en tensión paralela a la fibra de 91.87 MPa.

GHAVAMI (2004) observó que el esfuerzo de compresión y esfuerzo de cizallamiento son bajos en los nudos. Esto debido a la irregularidad de las fibras, causada por la disposición de las células. Concluye que los mejores esfuerzos a la flexión y módulo de elasticidad, se obtienen en el tope de los culmos esto debido a la alta concentración de haces vasculares y poco parénquima.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Ubicación del experimento

La investigación se llevó a cabo en el Laboratorio de Tecnología de la Madera de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Nacional de Ucayali, ubicada en la ciudad de Pucallpa, en la Carretera Federico Basadre Km 6.

3.2. Ubicación política

Se observa la ubicación política donde se realizó la extracción de culmos, secado de probetas y ensayos mecánicos (Cuadro 3).

Cuadro 3. Ubicación política.

Ubicación	Extracción de culmos y secado de las probetas	Ensayos mecánicos
Región	Huánuco	Ucayali
Provincia	Leoncio Prado	Coronel Portillo
Distrito	Rupa Rupa	Yarinacocha

Fuente: Elaboración propia.

3.3. Ubicación geográfica

Se observa la ubicación geográfica donde se realizaron la extracción de culmos, secado de probetas y ensayos mecánicos (Cuadro 4).

Cuadro 4. Ubicación geográfica.

Coordenadas geográficas	Provincia Leoncio Prado	Provincia Coronel Portillo
	Prado	Portillo
Latitud	09° 18' 00" Sur	08° 23' 06" Sur
Longitud	76° 01' 00" Oeste	74° 31' 00" Oeste
Altitud	660 m.s.n.m.	154 m.s.n.m.

Fuente: Estaciones Meteorológicas de José Abelardo Quiñones (Tingo María) y de la Universidad Nacional de Ucayali (Pucallpa).

3.3.1. Características climáticas

Según la Estación Meteorológica José Abelardo Quiñones, la provincia de Leoncio Prado donde se realizó la extracción de culmos y secado natural de las probetas presenta las características climáticas:

- Temperatura máxima (°C) : 29.4
- Temperatura mínima (°C) : 18.6
- Temperatura media (°C) : 24.0
- Precipitación promedio (mm) : 3,200

Se observan los datos de temperatura (°C) y humedad relativa (%) obtenidos de un reloj ambiental colocado en el local donde se realizaron las evaluaciones de secado.

Los datos de precipitación (mm) fueron obtenidos de la Estación Meteorológica José Abelardo Quiñones (Cuadro 5).

Cuadro 5. Datos climáticos durante el período de evaluación.

Evaluaciones	Parámetros		
	Temperatura (°C)	Humedad relativa (%)	Precipitación (mm)
18/12/2014	27.4	71.0	4.2
19/12/2014	30.3	54.0	7.2
20/12/2014	25.5	74.0	93.0
22/12/2014	26.4	72.0	29.4
24/12/2014	31.5	51.0	0.0
26/12/2014	26.4	72.0	26.1
28/12/2014	25.8	76.0	63.0
30/12/2014	28.7	59.0	14.7
01/01/2015	28.9	60.0	45.0
03/01/2015	31.2	51.0	13.2
10/01/2015	27.9	68.0	0.9
17/01/2015	32.7	47.0	0.0
24/01/2015	27.8	67.0	0.6
31/01/2015	29.5	60.0	3.6
07/02/2015	25.3	75.0	3.0
14/02/2015	27.2	72.0	3.9
21/02/2015	27.2	56.0	5.7

Fuente: Elaboración propia y Estación Meteorológica José Abelardo Quiñones (Tingo María).

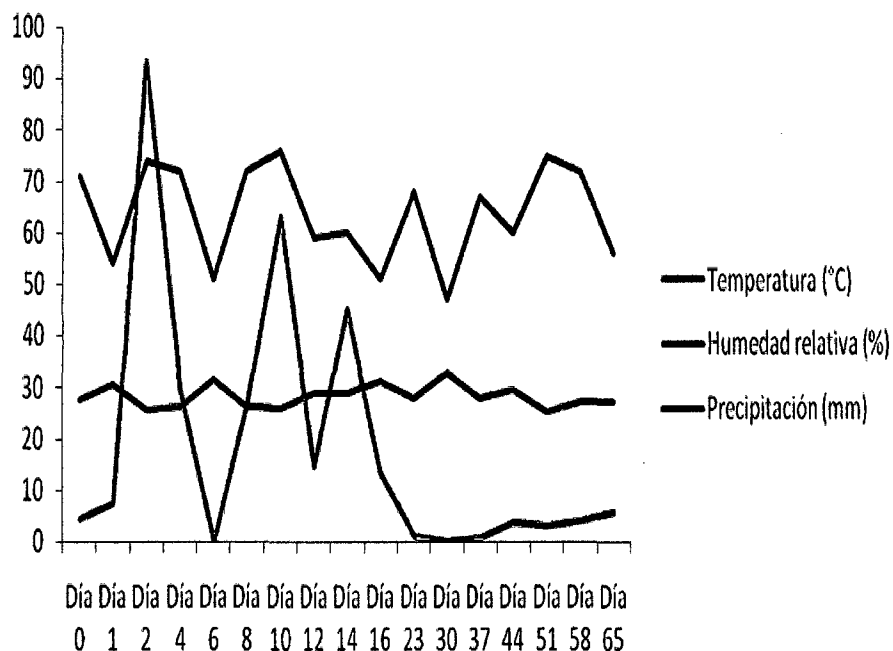


Figura 4. Curva de principales parámetros climáticos durante el secado.

3.4. Materiales, insumos y equipos

- Culmos de la especie *Guadua angustifolia* Kunth, con dimensiones de acuerdo a las normas de los ensayos a evaluar.
- Los materiales y herramientas empleados fueron: 03 machetes, 02 sogas de 1" de 15 y 20 metros respectivamente, plásticos, 02 cintas métricas de 30 metros, 02 cintas de costurero, 02 correctores, 02 bolígrafos, 02 plumones tinta indeleble, lima para afilar cadena, 02 cintas de embalaje, un par de guantes de cuero, un par de guantes de virutex, formatos para descripción de las matas y cañas de bambú, formularios de evaluación de las propiedades mecánicas; libreta de

campo, 01 jeringa descartable de 10 ml, 01 botella de 2,25 litros, 01 rociador y 01 reloj ambiental.

- Los insumos empleados fueron: 01 cojín de aceite Shell ADVANCE Sx de dos tiempos, 1/3 de galón de gasolina, 01 bolsa de Tifon de 2.5 PS, 01 frasco de Cyperklin 25 y 1/3 de galón de petróleo.
- Los equipos empleados fueron: motosierra Sthil Ms 250, tractor agrícola, furgoneta, sierra cinta de carpintero, arco de sierra marca Kamasa modelo 106, balanza digital con precisión de 3 gramos con capacidad 6000 gramos, brújula marca Suunto, modelo KB 14; GPS marca Garmin, modelo MAP 60 CSX, cámara digital, el equipo de cómputo; programa estadístico SPSS; prensa universal marca Thinius Olsen con capacidad de 30 toneladas; Vernier digital marca Mitutoyo, modelo 500, error +/- 0.001, Medición pulg/mm y Balanza BCE – 30.

3.5. Metodología

3.5.1. Ubicación de las matas

El lugar de ubicación de las matas fue la del Fundo de la Facultad de Agronomía, perteneciente a la Universidad Nacional Agraria de la Selva, debido a que presentaba más de siete matas en toda el área, lo que era un requisito indispensable para la investigación.

Las coordenadas UTM del fundo de Agronomía son:

– Este : 390407

– Norte : 8969989

3.5.2. Selección de las matas

Para la colecta del material se siguió las recomendaciones de la NTC 5525, referida a la selección y colección de muestras destinadas al estudio de propiedades físicas y mecánicas de la madera. La selección de las matas se realizó con la ayuda de una persona calificada quien puede identificar las especies de bambú. La selección de las matas se procedió con el llenado del formato de descripción de la mata, la cual consiste en observar el número de cañas (verdes, maduras y sobremaduras), número de brotes, circunferencia de la mata, estado físico y fitosanitario, entre otros (Figura 5).



Figura 5. Llenando el formato de descripción de la mata.

3.5.3. Selección de culmos

Después de seleccionar las matas, se procedió a seleccionar los culmos maduros de bambú, que deben estar libres de defectos, además de ser representativas de cañas de bambú dominantes promedio de la ubicación.

Se descartaron los bambúes quebrados, dañados y descoloridos (ISO 22.157 – 1, 2004).

Los culmos de bambú fueron cortados en período menguante, determinándose posteriormente la circunferencia a distintas alturas, la orientación del norte magnético, la altura total, número de nudos y la distancia entre nudos (Figura 6).



Figura 6. Determinando la altura total del culmo.

3.5.4. Obtención de culmos

La recolección de los culmos muestras, se realizó partiendo del hecho que las variaciones entre culmos son más significativas que la variación dentro del mismo culmo, por lo tanto se tomaron más culmos muestras y menos muestras de cada culmo (ISO 22.157 – 1, 2004). Antes de cortar el culmo, se procedió a limpiar el área de trabajo, cortando la mala hierba adyacente a la mata de bambú, para facilitar la toma de datos del culmo y seccionar el culmo en tres partes (Figura 7).



Figura 7. Limpieza del área de trabajo.

3.5.5. Corte de culmos

La guadua madura, es la que tiene de 4 a 5 años de edad, y se reconoce porque tiene ausencia de hoja caulinar, hay presencia de follaje y sobre

el tallo hay presencia de manchas de algas en buena cantidad. Con la motosierra Sthil Ms 250 se procedió a cortar los siete culmos en estado maduro de acuerdo a las especificaciones en la NTC 549-03.

El técnico se dispuso a cortar la caña haciendo un primer corte a 20 cm del suelo y el segundo corte a 5 ó 7 cm del primer corte (Figura 8). Cuando se realizó los dos cortes, se amarró al culmo una sección de un bambú con una soga de 1" y de 15 metros en forma perpendicular al culmo, entonces se colocó una persona a ambos lados del culmo y se procedió a cargar el culmo hacia el lugar donde se iba a tomar las dimensiones.

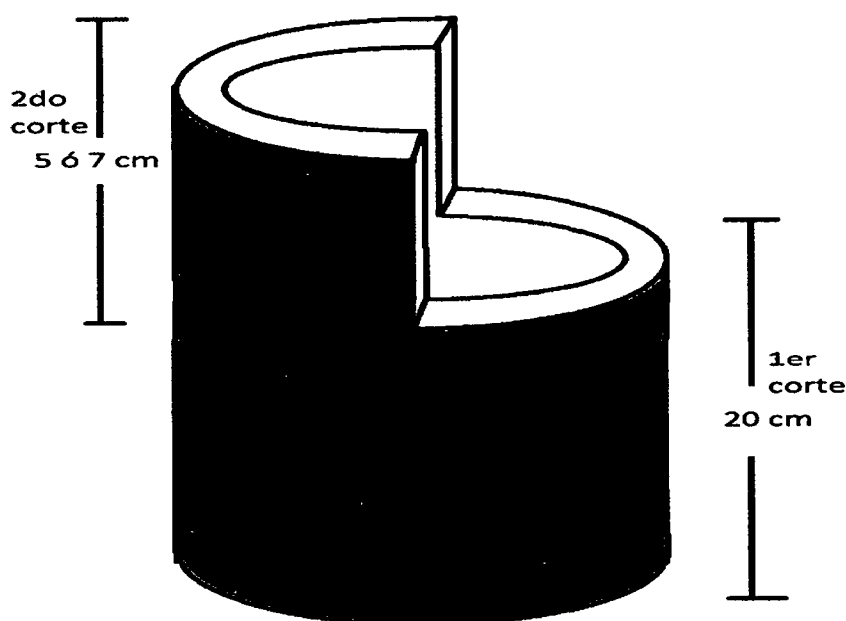


Figura 8. Corte del culmo de *Guadua angustifolia* Kunth.

Una vez cortado el culmo se codificó con corrector y luego utilizando cinta métrica, a cada uno se le determinó sus características dasométricas, tales

como: altura del tocón, longitud total del culmo, número total de nudos e internudos, longitud hasta 10 cm de diámetro, número de nudos e internudos hasta 10 cm de diámetro, altura útil (hasta 8 cm de diámetro) y altura hasta inicio de ramas o brotes.

Luego las muestras se seccionaron en tres partes (base, medio y ápice) teniendo en cuenta la altura útil determinada (Figura 9). Cada sección del culmo fue codificado con corrector.



Figura 9. Corte del culmo de *Guadua angustifolia* Kunth. en tres partes.

Las secciones de los culmos amarrados con una soga de 1" y de 20 metros, fueron transportados desde el fundo hasta al Laboratorio Taller de Aprovechamiento y Maquinaria Forestal con ayuda del tractor agrícola donde se acomodó las secciones en forma horizontal (Figura 10).

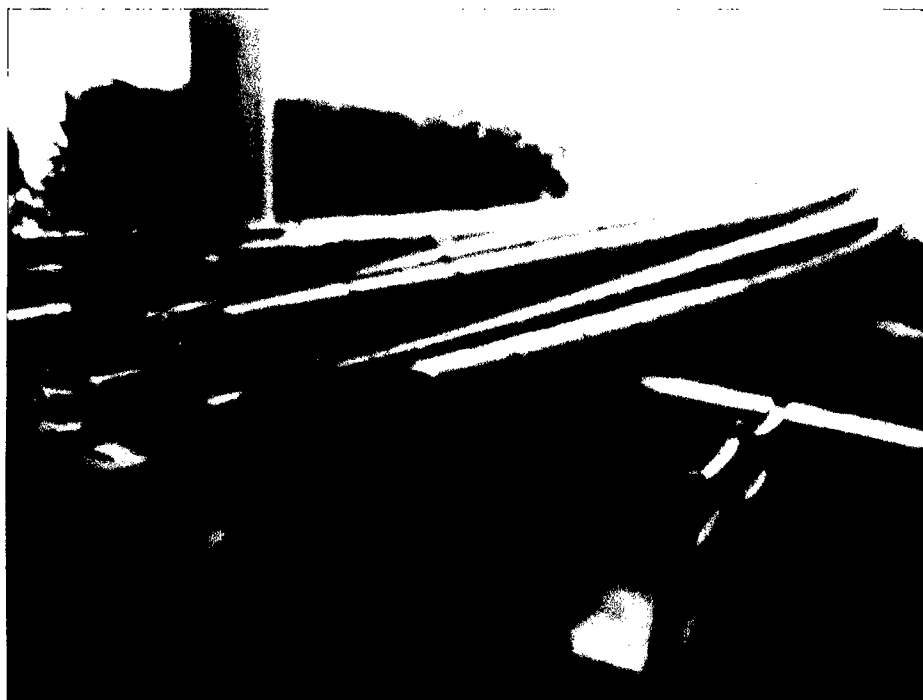


Figura 10. Acomodo de culmos de *Guadua angustifolia* Kunth. en el Laboratorio Taller de Aprovechamiento y Maquinaria Forestal.

3.5.6. Obtención de las probetas

Norma 549-03, sugiere convertir los trozos obtenidos del corte del culmo en latas. De cada nivel de altura (base, medio y ápice) de los culmos maduros se obtuvieron ocho probetas, dos para cada prueba (flexión estática, compresión paralela a la fibra, compresión perpendicular a la fibra, cizallamiento paralelo a la fibra).

Al momento de obtener las probetas, se tuvo en cuenta que también se deberían obtener probetas para determinar las propiedades físicas y las características macroscópicas, debido a que se buscaba a realizar también una caracterización de la *Guadua angustifolia* Kunth., junto a dos tesis más.

Se trabajó en orden comenzando por la sección base del culmo 1, seguido de la sección media del culmo 1 y la sección ápice del culmo 1, así sucesivamente hasta terminar con la sección ápice del culmo 7; para la obtención de las probetas se empleó la motosierra Sthil Ms 250, la sierra cinta y el arco de sierra.

Todas las probetas fueron dimensionadas adecuando al trabajo, según la NTC 5525, para los cálculos se utilizaron las fórmulas descritas en la norma ASTM D 143-94. Una vez dimensionadas las probetas, se codificaban al instante, para evitar errores y confusiones (Figura 11).



Figura 11. Codificación de probetas de *Guadua angustifolia* Kunth.

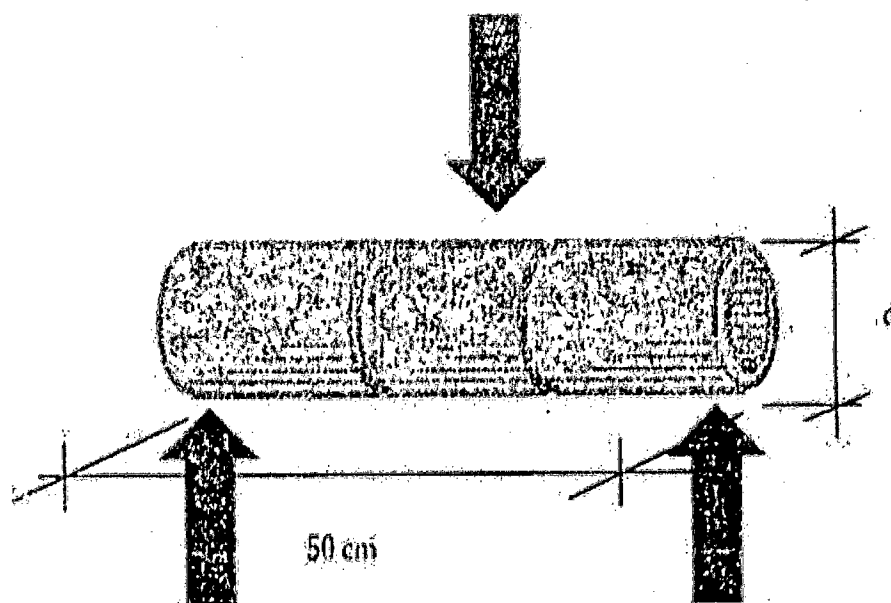


Figura 12. Probetas para ensayo de flexión.

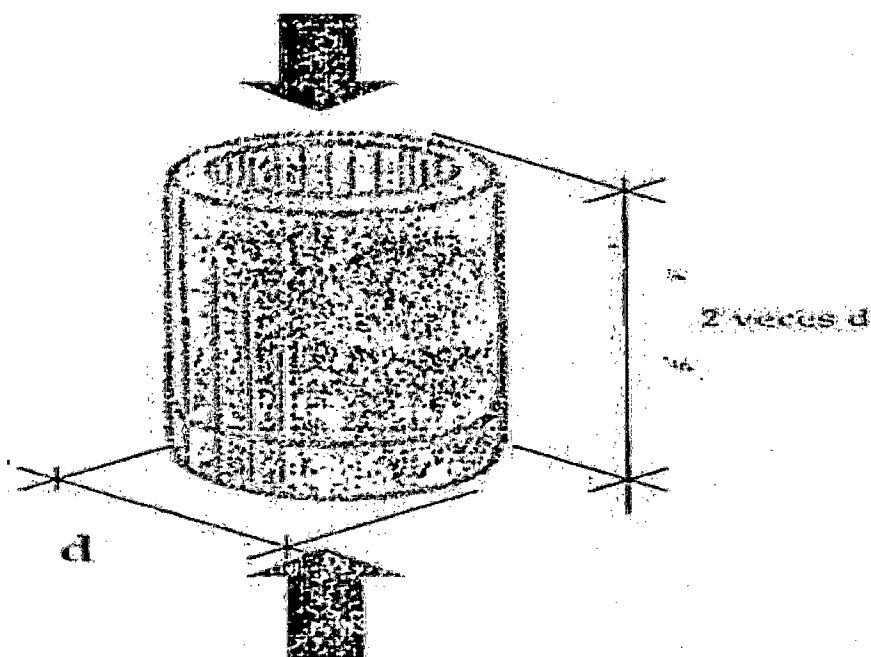


Figura 13. Probetas para ensayo de compresión paralela al grano.

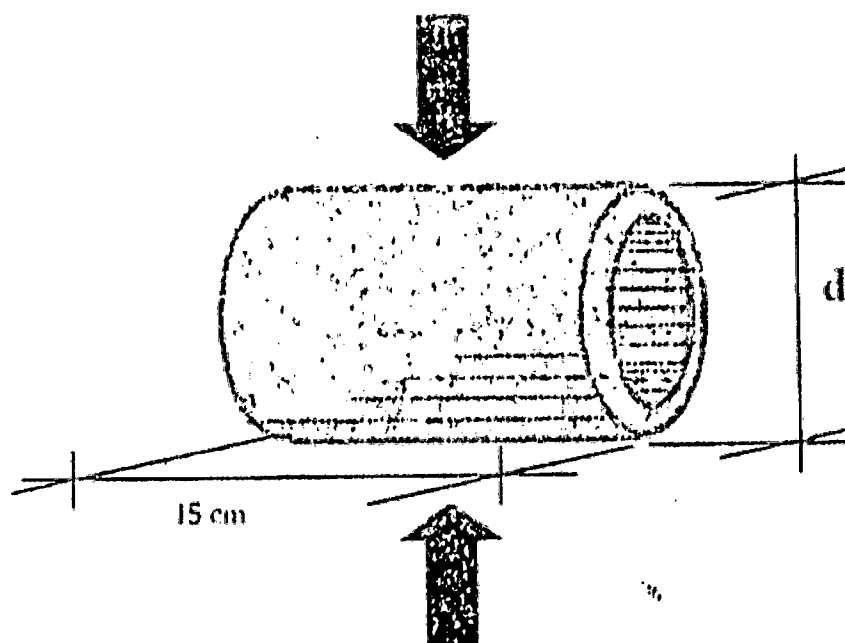


Figura 14. Probetas para ensayo de compresión perpendicular al grano.

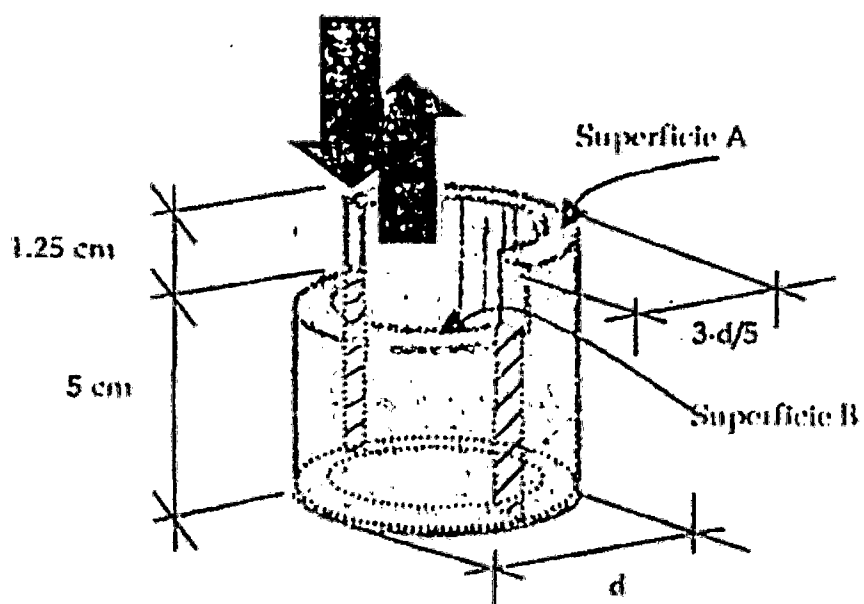


Figura 15. Probetas para ensayo de cizallamiento.

Se observan la cantidad de probetas por nivel de altura del culmo y por ensayo mecánico. En cada ensayo mecánico se registraron seis probetas y por nivel de altura del culmo se registraron ocho probetas, que hace un total de 24 probetas obtenidas de un culmo (Cuadro 6).

En la investigación se utilizaron siete culmos de siete matas distintas que al multiplicar por las 24 probetas obtenidas de un culmo, hacen un total de 168 probetas.

Cuadro 6. Número de probetas/culmo.

Nivel de altura del culmo	N° Probetas/Propiedad mecánica				N° total de probetas/altura
	Flexión estática	Compresión paralela a la fibra	Compresión perpendicular a la fibra	Cizallamiento paralelo a la fibra	
Base	2	2	2	2	8
Medio	2	2	2	2	8
Ápice	2	2	2	2	8
Total	6	6	6	6	24

Fuente: Elaboración propia.

3.5.7. Acondicionamiento de las probetas

Se acondicionó el segundo piso del local ubicado en la Av. Amazonas N° 316 para colocar las probetas. Se colocó tablas sobre ladrillos para apoyar las probetas para que no estén en contacto con el suelo; además sobre

una mesa se colocó una balanza digital con capacidad de 6000 gramos y en la pared se colocó un reloj que determinaba la temperatura y la humedad relativa.

Una vez ambientado el lugar, se trasladaron las probetas desde el Laboratorio Taller de Aprovechamiento y Maquinaria Forestal hacia el local mencionado.

Las probetas obtenidas, se secaron al aire, la cual se logró con el tiempo, en condiciones naturales no controladas, se realizó bajo cubierta, con las probetas separadas entre sí hasta alcanzar el contenido de humedad de equilibrio (Figura 16). El contenido de humedad (CH) mínimo que se logra con éste método es de 12% a 14% (NTC 5301).



Figura 16. Acondicionamiento de probetas.

Una vez acondicionado las probetas en el lugar, se procedió al primer pesado de las probetas, comenzando por las probetas de flexión y terminando por las probetas de cizallamiento (Figura 17). Posteriormente escogí tres probetas por ensayo (uno por cada nivel), las cuales eran de más diámetro para determinar sus dimensiones (altura, circunferencia y diámetro), haciendo una marca en el lugar de la toma de medidas.



Figura 17. Pesado de probetas.

La metodología para determinar el peso durante el secado de las probetas fue de la siguiente manera: el registro de pesos y dimensiones se determinaron los tres primeros días, luego cada dos días (durante dos semanas) y por último un día a la semana hasta obtener peso constante.

En el secado natural hubo varios percances, tales como: rotura y deformación de las probetas, mayormente en las probetas de menor tamaño como las elaboradas para los ensayos de compresión perpendicular a las fibras y para los ensayos de cizallamiento.

La rotura y deformación de las probetas ocurrieron por la pérdida rápida de humedad, para lo cual se tuvo que envolver con cinta de embalaje (Figura 18).



Figura 18. Embalado de probetas.

Posteriormente, fue la aparición de gorgojos los que afectaron a las probetas, para el cual en primer lugar se espolvoreó Tifón (insecticida) durante una semana (Figura 19).



Figura 19. Aplicación del insecticida Tifón 2.5 PS en probetas.

Dada la resistencia del ataque, se adicionó Cyperklin 25 mezclado con agua con ayuda de un rociador durante una semana (Figura 20).



Figura 20. Aplicación del insecticida Cyperklin 25 en probetas.

Al no encontrar resultados y al ser constante el peso de las probetas se procedió a aplicar petróleo durante una semana con la ayuda de un rociador (Figura 21).



Figura 21. Aplicación de petróleo en probetas.

3.5.8. Realización de ensayos

Cuando las probetas registraron un peso constante, se coordinó con el jefe y con el encargado del Laboratorio de Tecnología de la Madera de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Nacional de Ucayali, para trasladar las probetas hacia la ciudad de Pucallpa. Después de haber trasladado las probetas a la ciudad de Pucallpa, se procedió a trasladar las probetas desde la empresa donde se realizó el envío hacia el Laboratorio de Tecnología de la Madera.

Posteriormente, se procedió a acomodar las cajas en el Laboratorio de Anatomía de la Madera al estar ocupado el Laboratorio de Tecnología de la Madera.

Asimismo se procedió a determinar con vernier las dimensiones de los diámetros externos e internos en probetas de flexión (sección superior e inferior) y en probetas de compresión paralela (en sección superior), mientras que en cizallamiento se determinó espesor y altura, en probetas de compresión perpendicular se determinó la circunferencia de la probeta y posteriormente el área de contacto entre la placa metálica y la probeta, la cual se registró utilizando un vernier (Figura 22).

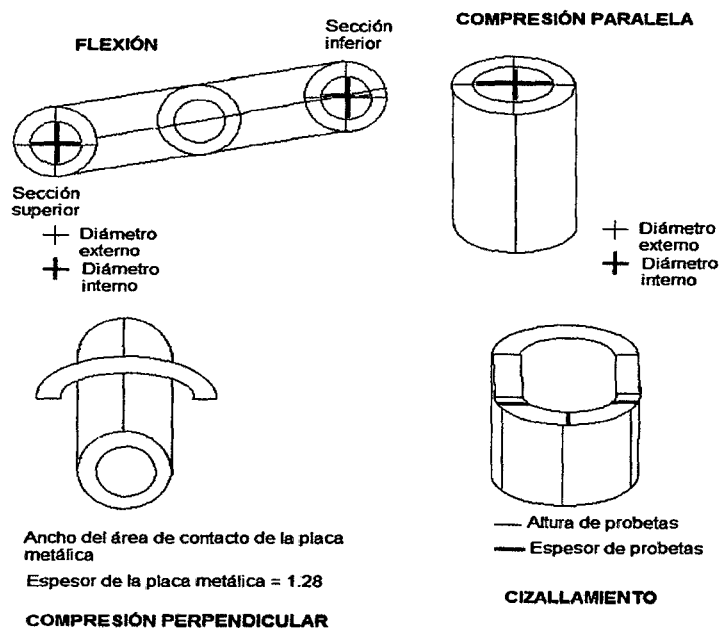


Figura 22. Forma de determinar las dimensiones de las probetas.



Figura 23. Determinando las dimensiones de las probetas.

Por último se promediaron las mediciones de las probetas, se elaboró una base de datos en el Microsoft Excel, se imprimió y se le facilitó al encargado del Laboratorio de Tecnología de la Madera, quien antes de realizar los ensayos, insertaba el código de la probeta a ensayar y los promedios de las mediciones al programa, luego se realizaba el ensayo y el programa automáticamente determinaba el área que recibió la carga y los cálculos de cada ensayo.

3.5.8.1. Ensayo de flexión

El tamaño de las probetas están dadas por la NTC 5525, antes mencionado. Para realizar el ensayo se colocan en la prensa el soporte y el

cabezal de flexión, la cual tuvo una velocidad de ensayo sobre la probeta de 2,5 mm/min (Figura 24). Todas las probetas se ensayaron con normalidad.



Figura 24. Realizando el ensayo de flexión.

Para los cálculos se aplicaron las fórmulas de la norma ASTM D 143-

94:

3.5.8.1.1. Cálculo del esfuerzo unitario en el límite proporcional

Para el cálculo se aplicó la fórmula (1) siguiente:

$$ELPF = \frac{1.5 \times L \times P1}{b \times e^2} \dots \dots (1)$$

Siendo:

ELPF : El esfuerzo unitario en limite proporcional en kg/cm²

P1 : La carga en el límite proporcional, kilogramo

L : Luz de la probeta cm

b : Ancho de la probeta en cm

e : Espesor de la probeta en cm

3.5.8.1.2. Cálculo del esfuerzo unitario máximo

(Modulo de ruptura)

Para el cálculo se aplicó la fórmula (2) siguiente:

$$\text{MORF} = \frac{1.5 \times L \times P2}{b \times e^2} \dots \dots (2)$$

Siendo:

MORF : El esfuerzo unitario máximo en kg/cm²

P2 : La carga máxima obtenida en kilogramo fuerza

L : Luz de la probeta cm

b : Ancho de la probeta en cm

e : Espesor de la probeta en cm

3.5.8.1.3. Cálculo del módulo de elasticidad

Para el cálculo se aplicó la fórmula (3) siguiente:

$$MOEF = \frac{0.25 \times L^3 \times P1}{b \times e^3 \times \Delta} \dots \dots (3)$$

Siendo:

MOEF : El módulo de elasticidad en kg/cm²

Δ : La deflexión en límite de proporcionalidad (ajustado en el gráfico)
en cm

P1 : La carga en el límite proporcional, kilogramo

L : Luz de la probeta cm

b : Ancho de la probeta en cm

e : Espesor de la probeta en cm

3.5.8.2. Ensayo de compresión paralela a la fibra

El tamaño de las probetas están dadas por la NTC 5525, antes mencionado. Para realizar el ensayo se colocan en la prensa el plato para

compresión paralela, la cual va tuvo una velocidad de ensayo sobre la probeta de 0,6 mm/min (Figura 25).

Todas las probetas del nivel base presentaban un nudo; una probeta del nivel medio presentó un nudo (B6MCPa1), mientras que todas las probetas del nivel ápice no presentaron nudo. Cinco probetas no se ensayaron porque presentaban rajaduras propias del secado, las cuales son: B1MCPa2, B2MCPa2, B3MCPa2, B3ACPa2 y B5ACPa2.

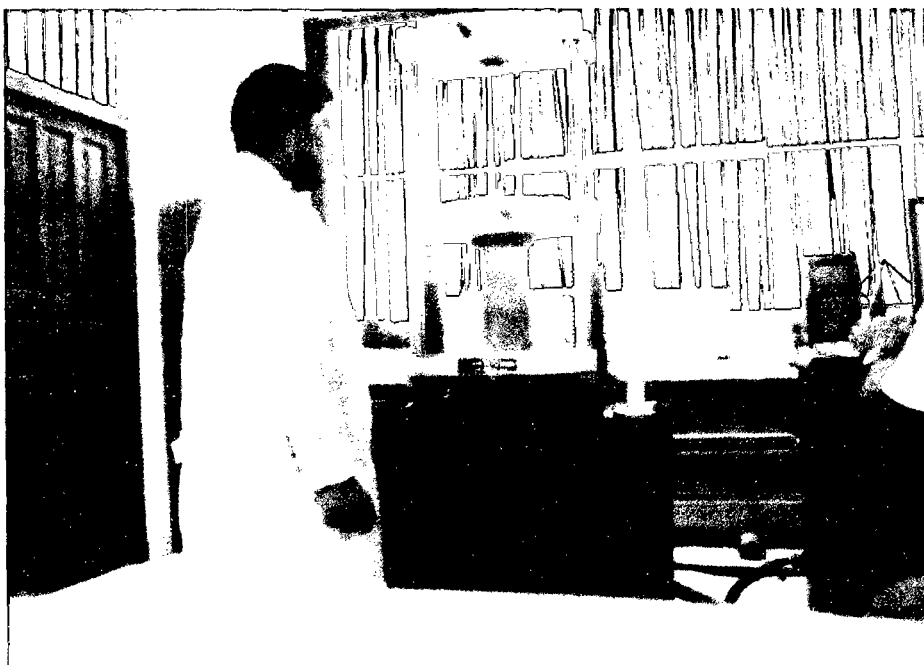


Figura 25. Realizando el ensayo de compresión paralela.

3.5.8.2.1. Cálculo del esfuerzo en límite proporcional

Para el cálculo se aplicará la fórmula (4) siguiente:

$$EFLPP = \frac{P1}{\text{Área de corona}} \dots \dots (4)$$

Siendo:

EFLPP : Esfuerzo del límite proporcional en kg/cm²

P1 : La carga en límite proporcional, en kilogramo

Área de corona : Área de la corona de la probeta donde se aplica la carga, en cm²

3.5.8.2.2. Cálculo de esfuerzo de rotura en compresión paralela

Para el cálculo se aplicará la fórmula (5) siguiente:

$$ERP = \frac{P2}{\text{Área de corona}} \dots \dots (5)$$

Siendo:

ERP : El módulo de ruptura, en kg/cm²

P2 : La carga máxima soportada por la probeta, en kilogramos

Área de corona : Área de la corona de la probeta donde se aplica la carga, en cm²

3.5.8.2.3. Cálculo del módulo de elasticidad

Para el cálculo se aplicará la fórmula (6) siguiente:

$$MOEP = \frac{L \times P1}{\text{Área de corona} \times \Delta} \dots \dots (6)$$

Siendo:

MOEP : El módulo de elasticidad, en kg/cm²

P1 : La carga en el límite proporcional, obtenida del grafico en kilogramos

L : La distancia en centímetros entre las abrazaderas

Δ : La deflexión en el límite proporcional, obtenido del grafico en cm

3.5.8.3. Ensayo de compresión perpendicular a la fibra

El tamaño de las probetas están dadas por la NTC 5525, antes mencionado. Para realizar el ensayo se colocan en la prensa el plato diametral, la cual tuvo una velocidad de ensayo sobre la probeta de 0,3 mm/min (Figura 26). Debido al mayor diámetro de las probetas del nivel base y medio, se mandó a fabricar un plato diametral más grande.

La probeta B1ACPe1 no se ensayó porque presentaba rajaduras propias del secado.

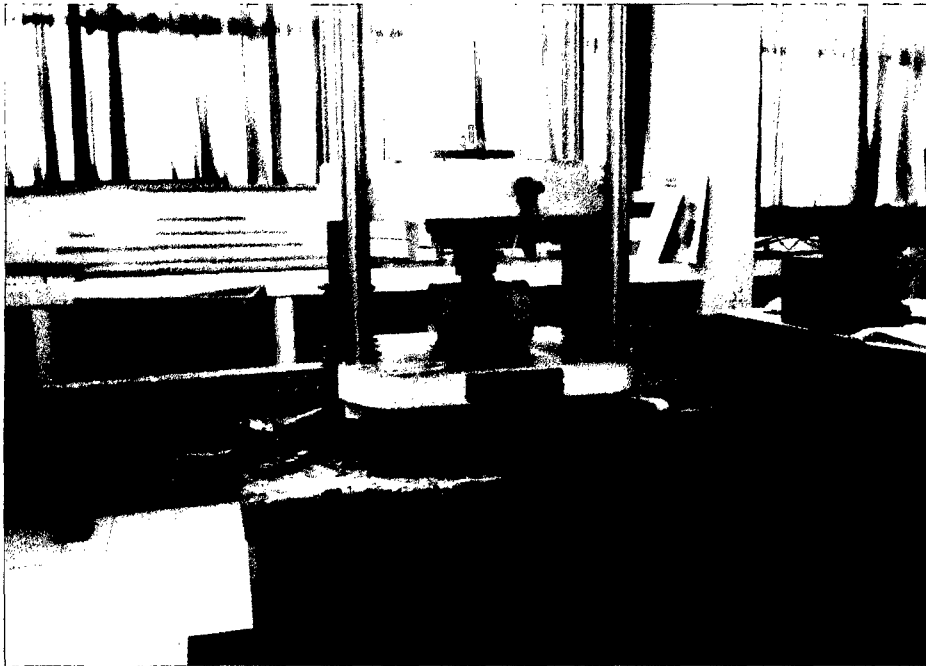


Figura 26. Realizando el ensayo de compresión perpendicular.

3.5.8.3.1. Cálculo del esfuerzo al límite proporcional

Para el cálculo se aplicará la fórmula (7) siguiente:

$$ELP = \frac{P1}{b \times e} \dots \dots (7)$$

Siendo:

ELP : La resistencia al límite proporcional en kg/cm²

P1 : La carga en límite proporcional, obtenida del diagrama, en kg

b : Ancho de la probeta en cm

e : Espesor de la placa metálica, en cm

3.5.8.4. Ensayo de cizallamiento

El tamaño de las probetas están dadas por la NTC 5525, antes mencionado. Para realizar el ensayo se colocan en la prensa el equipo de cizallo, la cual tuvo una velocidad de ensayo sobre la probeta de 0,6 mm/min (Figura 27).

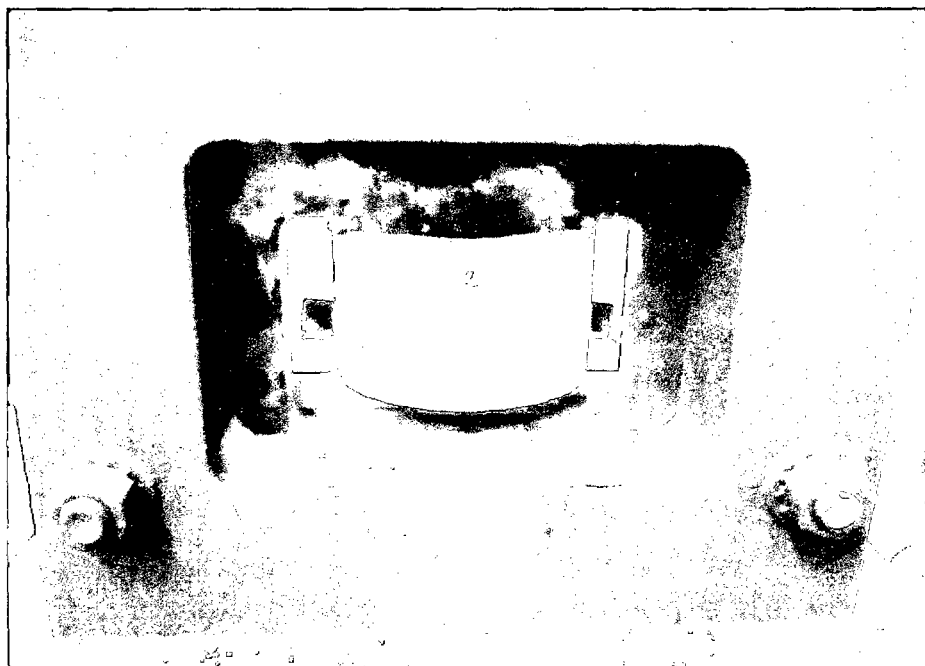


Figura 27. Realizando el ensayo de cizallamiento.

Debido al mayor diámetro de las probetas del nivel base y medio, se solicitó al Instituto Tecnológico el préstamo de un equipo de cizallo más grande, para de esta forma realizar los ensayos de todas las probetas.

En el nivel base se ensayaron once probetas (tres probetas estaban rotas o deformadas), en el nivel medio se ensayaron siete probetas (siete probetas estaban rotas o deformadas) y en el nivel ápice se ensayaron seis probetas (ocho probetas estaban rotas o deformadas).

3.5.8.4.1. Cálculo del esfuerzo de rotura por cizallamiento

Para el cálculo se aplicaron la fórmula (8) siguiente:

$$ERZ = \frac{CM}{b \times L} \dots \dots (8)$$

Siendo:

ERZ : Esfuerzo de rotura por cizallamiento expresado en kilogramos

CM : Carga máxima soportada por la probeta, en kg

b : Ancho de la sección de cizallamiento en cm

L : Largo de la sección de cizallamiento en cm

3.5.9. Determinación del contenido de humedad de las probetas ensayadas

Después de haber realizado todos los ensayos, se utilizó el método de las pesadas o de la estufa, la cual consiste en pesar muestras húmedas (PH)

de seis probetas por ensayo (dos probetas por nivel) para secarla a en una estufa a una temperatura de 103 ± 2 °C por 48 horas y volverla a pesar (PSH) para determinar el contenido de humedad (Figura 28 y Figura 29). La fórmula (9) para determinar el contenido de humedad, según ANANÍAS (2002) es:

$$CH\% = \left(\frac{PH - PSH}{PSH} \right) \dots \dots (9)$$

Siendo:

PH : Peso húmedo, en gramos

PSH : Peso seco al horno, en gramos

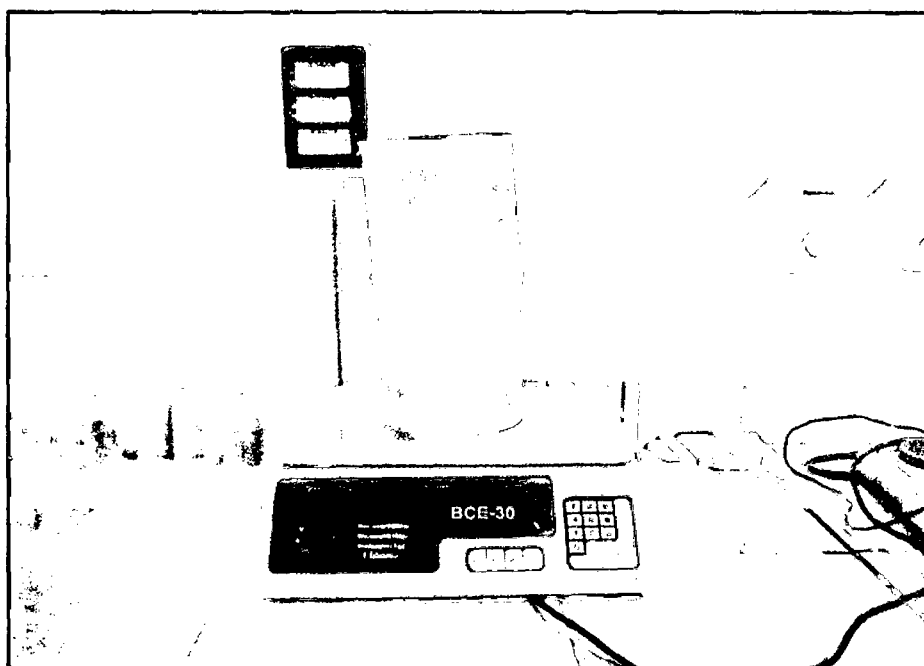


Figura 28. Pesado de las probetas después de los ensayos.

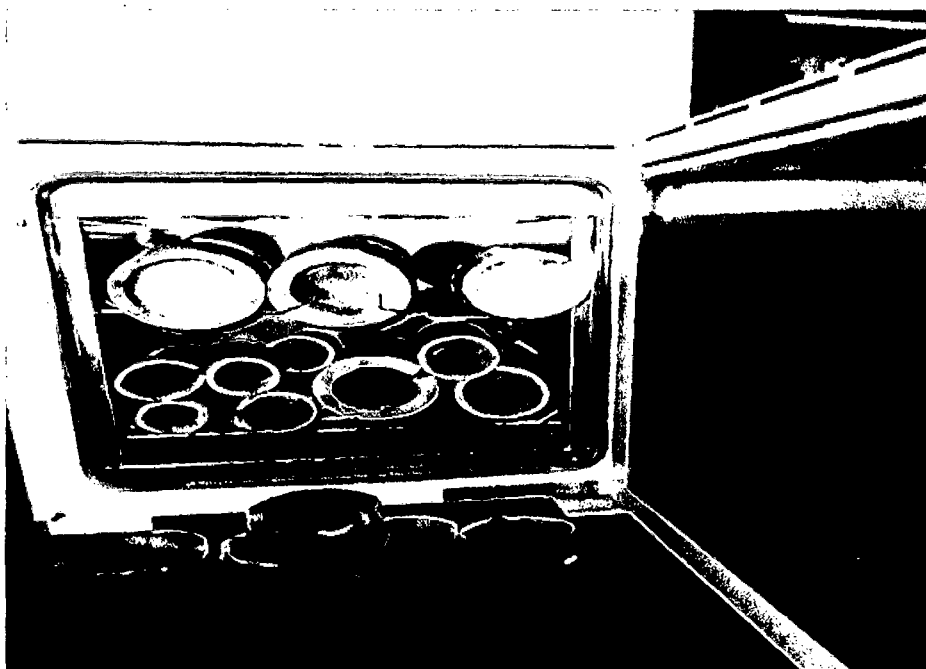


Figura 29. Secado de las probetas en la estufa.

3.5.10. Procesamiento de datos

Los datos obtenidos de los ensayos mecánicos, se integraron con respecto a la media y al coeficiente de variación (Cuadro 7), se realizaron en primer lugar la prueba de homogeneidad, para observar la distribución de los datos, si estos presentaban distribución normal se realizaba el análisis de varianza y prueba Duncan y si no presentaban distribución normal se realizaba la prueba no paramétrica de Kruskal Wallis, con la finalidad de determinar si existían diferencias significativas.

Se utilizó el programa SPSS, estableciendo para el análisis de los datos de los tipos de muestra con respecto a las propiedades mecánicas.

Cuadro 7. Formato para los resultados de los ensayos mecánicos.

Nivel de altura	N° probetas ensayadas	Media* (kg/cm ²)	Coeficiente de variación (%)
Base	14		
Medio	14		
Ápice	14		
Total	42		

*Media con la misma letra no son significativamente diferentes $P < 0.05$.

IV. RESULTADOS

4.1. Determinación de la variabilidad a la flexión estática, del culmo maduro de *Guadua angustifolia* Kunth, a diferentes niveles de altura

Para los ensayos de flexión (cálculos del esfuerzo unitario en el límite proporcional, módulo de ruptura y módulo de elasticidad) se consideró como luz de probeta a la distancia entre los soportes de flexión la cual fue de 46 centímetros.

4.1.1. Cálculo del esfuerzo unitario en el límite proporcional

Los resultados mostraron 31.32% mayor esfuerzo unitario en el límite proporcional en nivel ápice que en el nivel base y 10.06% mayor esfuerzo en nivel ápice que en el nivel medio; los datos presentan distribución normal y no indican diferencias significativas en los tres niveles de altura. Asimismo, las probetas del nivel base presentaron mayor variabilidad con 48.86%, secundado de las probetas del nivel ápice con 48.02% de variabilidad y seguida de las probetas del nivel medio con 38.64% de variabilidad.

Para determinar este cálculo se consideraron el 100% de las probetas (42 probetas), ya que durante el secado natural, las probetas elaboradas para flexión resistieron a la pérdida rápida de la humedad y no hubo

ni contracciones ni deformaciones; lo que sí se observaron fueron algunas grietas en las probetas pero no fueron motivo para ser descartadas y se ensayaron con normalidad (Cuadro 8 y Figura 30).

Cuadro 8. Esfuerzo unitario promedio en el límite proporcional en flexión.

Nivel de altura	N° probetas ensayadas	Media* (kg/cm ²)	Coefficiente de variación (%)
Base	14	54.57 a	48.86
Medio	14	71.54 a	38.64
Ápice	14	79.46 a	48.02

*Media con la misma letra no son significativamente diferentes $P < 0.05$.

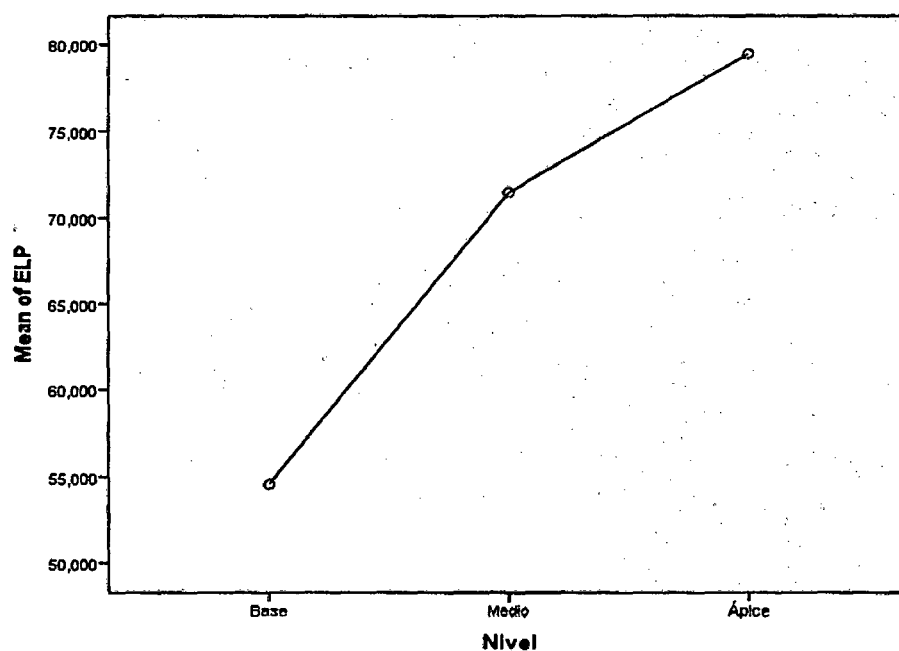


Figura 30. Esfuerzo unitario promedio en el límite proporcional en flexión.

4.1.2. Cálculo del esfuerzo unitario máximo (Módulo de ruptura)

Los resultados mostraron 19.38% mayor esfuerzo en nivel medio que en el nivel base y 6.24% mayor esfuerzo en nivel medio que en el nivel ápice; los datos no presentan distribución normal y no indican diferencias significativas en los tres niveles de altura. Asimismo, las probetas del nivel ápice presentaron mayor variabilidad con 44.00%, secundado de las probetas del nivel base con 33.56% de variabilidad y seguida de las probetas del nivel medio con 19.91% de variabilidad.

Para determinar este cálculo se consideraron el 100% de las probetas (42 probetas), ya que durante el secado natural, las probetas elaboradas para flexión resistieron a la pérdida rápida de la humedad y no hubo ni contracciones ni deformaciones; lo que sí se observaron fueron algunas grietas en las probetas pero no fueron motivo para ser descartadas y se ensayaron con normalidad (Cuadro 9 y Figura 31).

Cuadro 9. Esfuerzo unitario máximo promedio (MORF) en flexión.

Nivel de altura	N° probetas ensayadas	Media* (kg/cm ²)	Coefficiente de variación (%)
Base	14	172.48 a	33.56
Medio	14	213.94 a	19.91
Ápice	14	200.61 a	44.00

*Media con la misma letra no son significativamente diferentes $P < 0.05$.

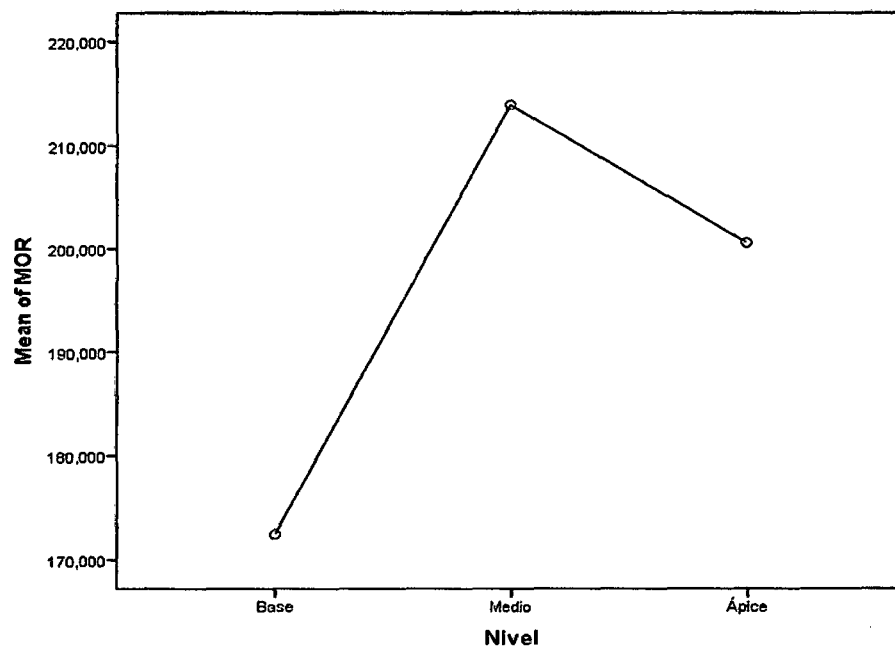


Figura 31. Esfuerzo unitario máximo promedio (MORF) en flexión.

4.1.3. Cálculo del módulo de elasticidad

Los resultados mostraron 81.53% mayor módulo de elasticidad (MOEF) en nivel ápice que en el nivel base y 44.60% mayor módulo de elasticidad en nivel ápice que en el nivel medio; los datos no presentan distribución normal y existen diferencias significativas en los tres niveles de altura. Asimismo, las probetas del nivel base presentaron mayor variabilidad con 55.99%, secundado de las del nivel ápice con 52.93% de variabilidad y seguida de las del nivel medio con 31.47% de variabilidad.

Para determinar este cálculo se consideraron el 100% de las probetas (42 probetas), ya que durante el secado natural, las probetas elaboradas para flexión resistieron a la pérdida rápida de la humedad y no hubo

ni contracciones ni deformaciones; lo que sí se observaron fueron algunas grietas en las probetas pero no fueron motivo para ser descartadas y se ensayaron con normalidad (Cuadro 10 y Figura 32).

Cuadro 10. Módulo de elasticidad promedio (MOE) en flexión.

Nivel de altura	N° probetas ensayadas	Media* (kg/cm ²)	Coefficiente de variación (%)
Base	14	16,237.36 a	55.99
Medio	14	48,713.87 b	31.47
Ápice	14	87,930.24 c	52.93

*Media con la misma letra no son significativamente diferentes $P < 0.05$.

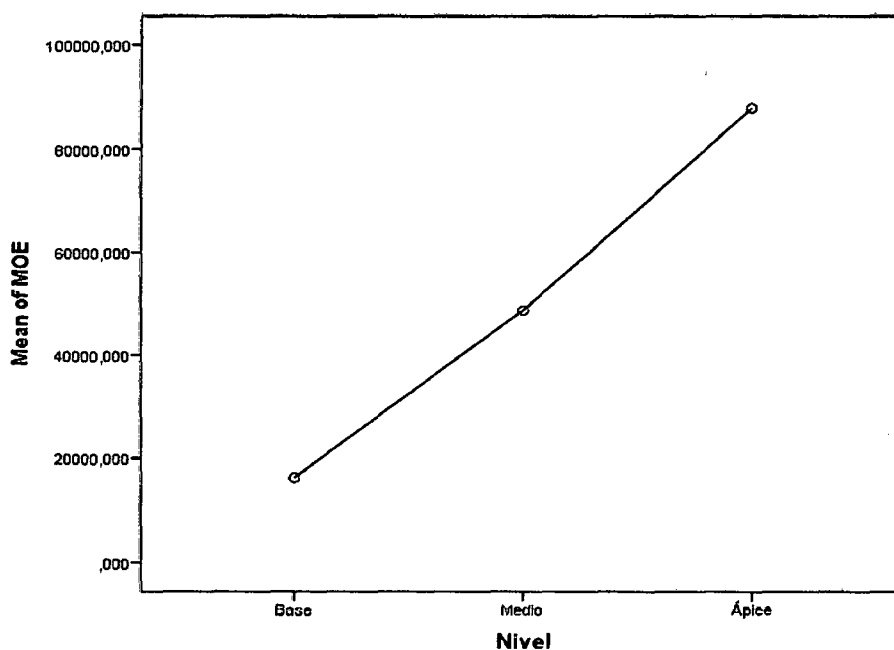


Figura 32. Módulo de elasticidad promedio (MOE) en flexión.

4.2. Determinación de la variabilidad a la compresión paralela y perpendicular, del culmo maduro de *Guadua angustifolia* Kunth, a diferentes niveles de altura

4.2.1. Compresión paralela

4.2.1.1. Cálculo del esfuerzo al límite proporcional

Los resultados mostraron 31.41% mayor esfuerzo al límite proporcional en nivel ápice que en el nivel base y 33.21% mayor esfuerzo en nivel ápice que en el nivel medio; los datos no presentan distribución normal y no indican diferencias significativas en los tres niveles de altura. Asimismo, las probetas del nivel base presentaron mayor variabilidad con 68,41%, secundado de las del nivel ápice con 64,99% de variabilidad y seguida de las del nivel medio con 55,41% de variabilidad. Se consideraron el 85.71% del total de probetas, debido a problemas durante el secado natural (deformaciones y contracciones) (Cuadro 11 y Figura 33).

Cuadro 11. Esfuerzo promedio al límite proporcional en compresión paralela.

Nivel de altura	N° probetas ensayadas	Media* (kg/cm ²)	Coefficiente de variación (%)
Base	13	197.04 a	68.41
Medio	10	194.71 a	55.41
Ápice	13	291.54 a	64.99

*Media con la misma letra no son significativamente diferentes $P < 0.05$.

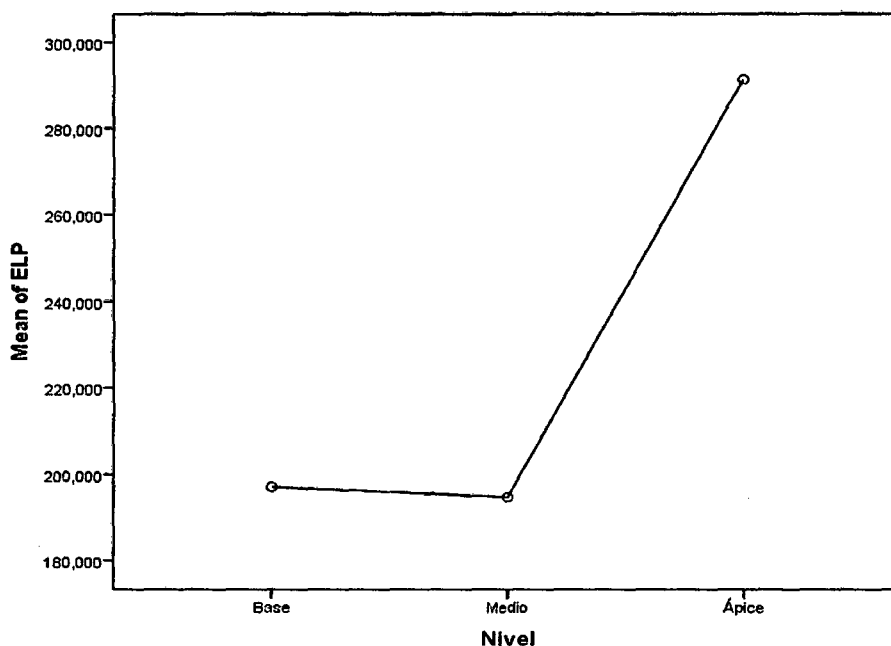


Figura 33. Esfuerzo promedio al límite proporcional en compresión paralela.

4.2.1.2. Cálculo del esfuerzo de rotura en compresión paralela

Los resultados mostraron 34.95% mayor esfuerzo en nivel ápice que en el nivel base y 27.55% mayor esfuerzo en nivel ápice que en el nivel medio; los datos presentan distribución normal y no indican diferencias significativas en el nivel base con el nivel medio, pero sí en el nivel ápice. Asimismo, las probetas del nivel base presentaron mayor variabilidad con 34.45%, secundado de las del nivel medio con 28.19% de variabilidad y seguida de las del nivel medio con 19.63% de variabilidad.

Se consideraron el 85.71% del total de probetas, debido a problemas durante el secado natural (deformaciones y contracciones).

Para determinar el esfuerzo promedio de rotura en compresión paralela se requería que las probetas estuvieran sin ningún defecto, sin presencia de grietas y/o rajaduras que puedan mermar la investigación al obtener datos anormales e imprecisos (Cuadro 12 y Figura 34).

Cuadro 12. Esfuerzo promedio de rotura en compresión paralela.

Nivel de altura	N° probetas ensayadas	Media* (kg/cm ²)	Coefficiente de variación (%)
Base	13	283.98 a	34.45
Medio	10	316.27 a	28.19
Ápice	13	436.53 b	19.63

*Media con la misma letra no son significativamente diferentes $P < 0.05$.

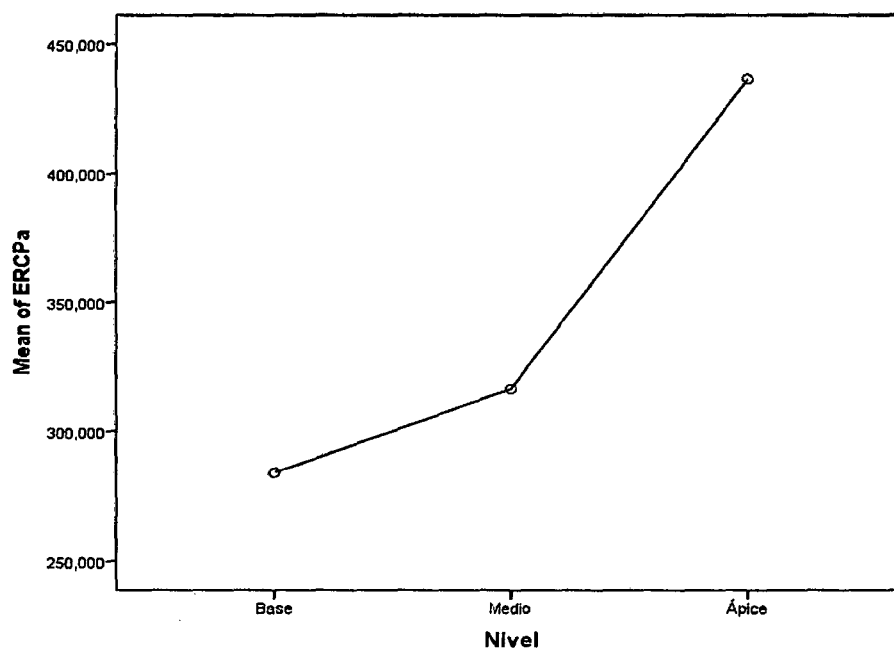


Figura 34. Esfuerzo promedio de rotura en compresión paralela.

4.2.1.3. Cálculo del módulo de elasticidad

Los resultados mostraron 53.68% mayor módulo de elasticidad en nivel base que en el nivel ápice y 18.85% mayor módulo de elasticidad en nivel base que en el nivel medio; los datos no presentan distribución normal y no indican diferencias significativas en el nivel base con el nivel medio, pero sí en el nivel ápice. Asimismo, las probetas del nivel base presentaron mayor variabilidad con 129.01%, secundado de las del nivel medio con 126.95% de variabilidad y seguida de las del nivel medio con 34.97% de variabilidad.

Para determinar el módulo de elasticidad en compresión paralela se requería que las probetas estuvieran sin ningún defecto, sin presencia de grietas y/o rajaduras que puedan mermar la investigación al obtener datos anormales e imprecisos, además, se consideró que la distancia entre las abrazaderas de probeta fue de 16 centímetros para todas las probetas (Cuadro 13 y Figura 35).

Cuadro 13. Módulo de elasticidad promedio (MOE) en compresión paralela.

Nivel de altura	N° probetas ensayadas	Media* (kg/cm ²)	Coefficiente de variación (%)
Base	13	42,409.80 a	129.01
Medio	10	34,413.64 a	126.95
Ápice	13	19,646.03 a	34.97

*Media con la misma letra no son significativamente diferentes $P < 0.05$.

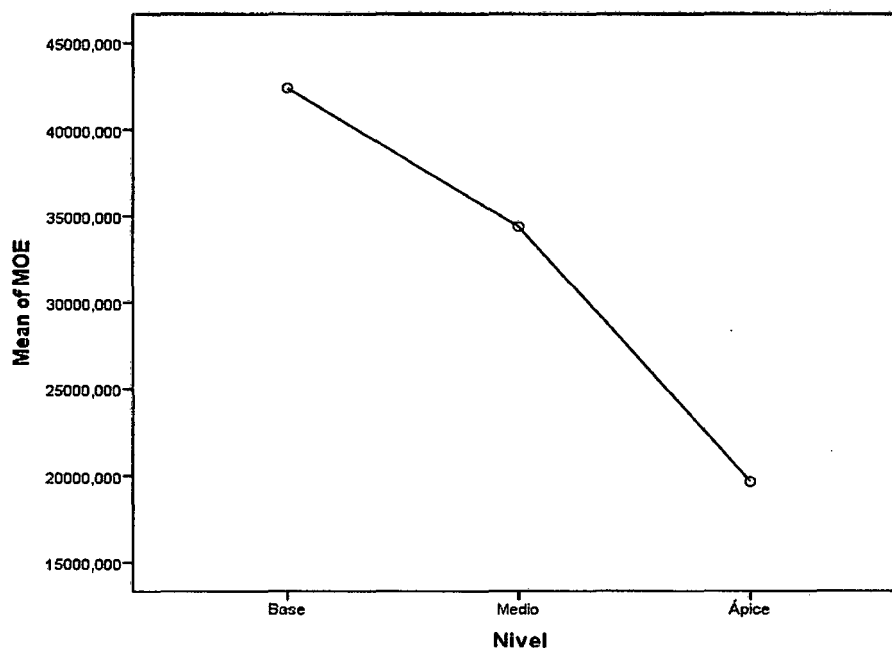


Figura 35. Módulo de elasticidad promedio (MOE) en compresión paralela.

4.2.2. Compresión perpendicular

4.2.2.1. Cálculo del esfuerzo al límite proporcional

Los resultados mostraron 29.77% mayor esfuerzo en nivel medio que en el nivel ápice y 18.87% mayor esfuerzo en nivel medio que en el nivel base; los datos no presentan distribución normal y existen diferencias significativas entre los tres niveles de altura.

Asimismo, las probetas del nivel ápice presentaron mayor variabilidad con 53.58%, secundado de las del nivel medio con 30.15% de variabilidad y seguida de las del nivel base con 14.47% de variabilidad. Se consideraron el 97.62% del total de probetas, debido a la rotura de una probeta

del nivel ápice producto de la pérdida del contenido de humedad (Cuadro 14 y Figura 36).

Cuadro 14. Esfuerzo promedio al límite proporcional en compresión perpendicular.

Nivel de altura	N° probetas ensayadas	Media* (kg/cm ²)	Coefficiente de variación (%)
Base	14	8.04 a	14.47
Medio	14	9.91 b	30.15
Ápice	13	6.96 c	53.58

*Media con la misma letra no son significativamente diferentes $P < 0.05$

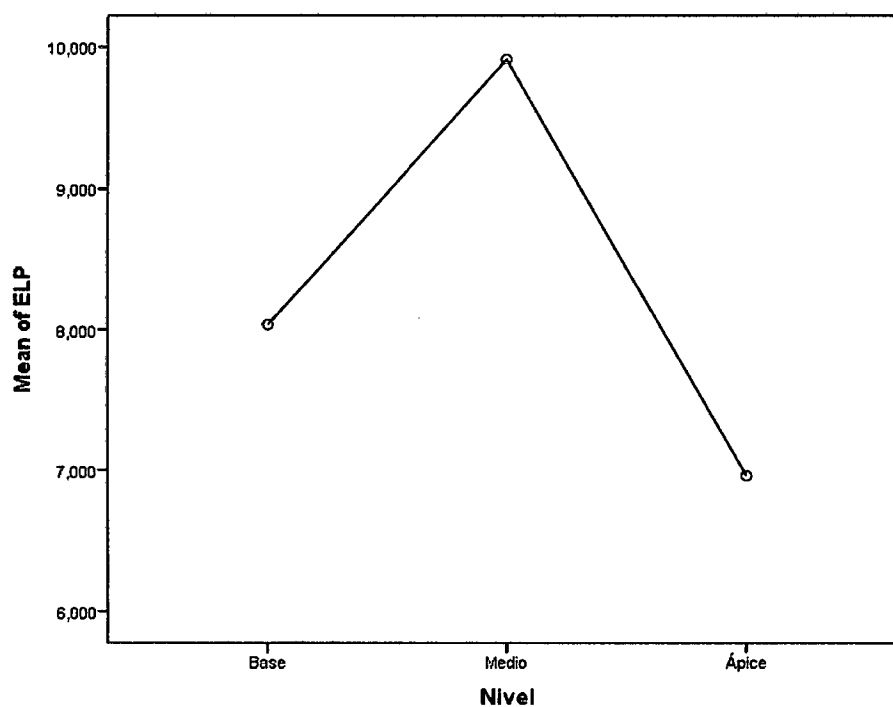


Figura 36. Esfuerzo promedio al límite proporcional en compresión perpendicular.

4.3. Determinación de la variabilidad al cizallamiento del culmo maduro de *Guadua angustifolia* Kunth, a diferentes niveles de altura

4.3.1. Cálculo del esfuerzo de rotura por cizallamiento

Los resultados mostraron 10.04% mayor esfuerzo en nivel ápice que en el nivel base y 1.80% mayor esfuerzo en nivel ápice que en el nivel medio, los datos presentan distribución normal y no indican diferencias significativas en los tres niveles de altura. Asimismo, las probetas del nivel base presentaron mayor variabilidad con 23.50%, secundado de las del nivel ápice con 17.65% de variabilidad y seguida de las del nivel medio con 14.65% de variabilidad.

Para ensayos de rotura se consideró 57.14% del total de probetas (11 probetas en el nivel base, siete probetas en el nivel medio y seis probetas en el nivel ápice), debido a que en el transcurso del secado se produjeron deformaciones y/o contracciones en las probetas (Cuadro 15 y Figura 37).

Cuadro 15. Esfuerzo promedio de rotura por cizallamiento.

Nivel de altura	N° probetas ensayadas	Media* (kg/cm ²)	Coeficiente de variación (%)
Base	11	84.54 a	23.50
Medio	7	92.29 a	14.65
Ápice	6	93.98 a	17.65

*Media con la misma letra no son significativamente diferentes $P < 0.05$.

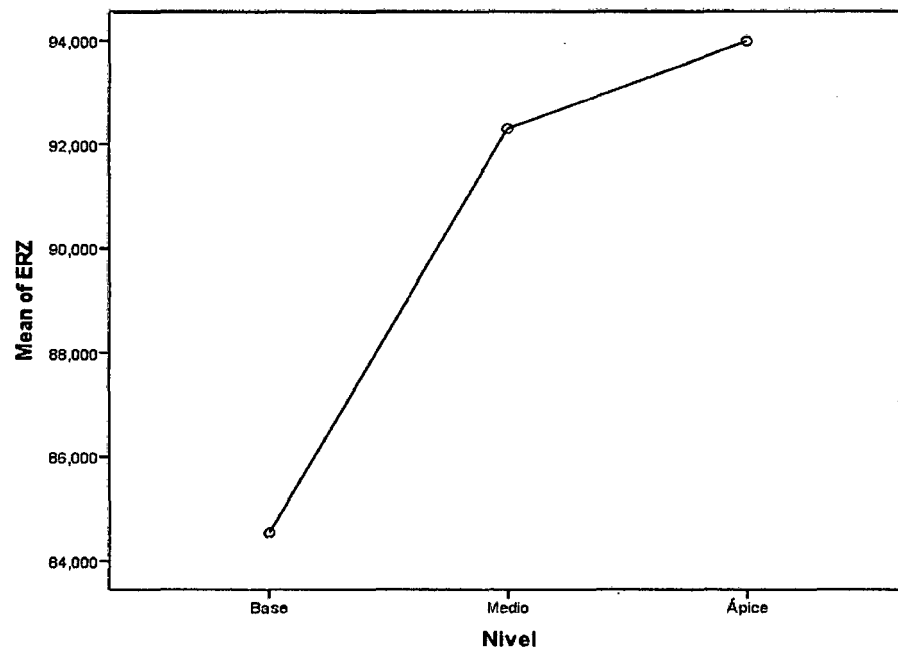


Figura 37. Esfuerzo promedio de rotura por cizallamiento.

V. DISCUSIÓN

5.1. De la determinación de la variabilidad a la flexión estática, del culmo maduro de *Guadua angustifolia* Kunth, a diferentes niveles de altura

Los valores obtenidos en la investigación son menores a los determinados por otros autores, debido a que LONDOÑO *et al.* (2002) señalan que en laboratorio es imposible lograr que la aplicación de las cargas se haga en el eje centroidal, y esta pequeña excentricidad produce deflexión y momento sobre la columna; y también en que las probetas tuvieron algunas pequeñas grietas producto del secado natural lo que induce a resultados de flexión y esfuerzos anormales.

De igual forma, los resultados obtenidos se debieron a que el Fundo de la Facultad de Agronomía no presenta una calidad de sitio adecuada ya que se encuentra a 660 m.s.n.m., y en un terreno plano con poco drenaje; y BOTERO (2004) señala que el mejor desarrollo de la especie *Guadua angustifolia* Kunth., se logra en sitios con altitudes comprendidas entre 1300 y 1500 m.s.n.m., dicho desarrollo está representado en una mayor cantidad de individuos con diámetros elevados y en una mejor resistencia mecánica del bambú. Asimismo, los suelos francos, fértiles y de buen drenaje, ubicados en valles y zonas onduladas de montaña son los de mejor desarrollo de la guadua.

5.1.1. Del cálculo del esfuerzo unitario en el límite proporcional

Los resultados obtenidos en promedio para los tres niveles de altura de *Guadua angustifolia* Kunth. en la presente investigación basados en la NTC 5525 con probetas de 0.5 m de longitud es de 68.50 kg/cm², lo cual es menor a lo determinado por GONZÁLEZ y DÍAZ (1992), que utilizando a nivel de laboratorio probetas sometidas a flexión entre 0.5 y 0.8 m de longitud obtuvieron resultados de 371 ± 50 kg/cm².

Por otro lado, MEJÍA (1985), encontró esfuerzos en el límite proporcional (RLP) de 380 kgf/cm².

5.1.2. Del cálculo del esfuerzo unitario máximo (Módulo de ruptura)

Los resultados obtenidos en promedio para los tres niveles de altura de *Guadua angustifolia* Kunth. en la presente investigación basados en la NTC 5525 con probetas de 0.5 m de longitud es de 195.68 kg/cm², lo cual es menor a lo concluyente por GONZÁLEZ y DÍAZ (1992), que utilizando a nivel de laboratorio probetas sometidas a flexión entre 0.5 y 0.8 m de longitud obtuvieron resultados de 561 ± 93 kg/cm².

En el nivel ápice se observó un menor valor de esfuerzo unitario máximo debido a que en esta sección de los culmos, el grosor de las paredes es más delgada, lo que ocasiona a que no soporten más carga máxima en comparación con las probetas del nivel base y nivel medio.

5.1.3. Del cálculo del módulo de elasticidad

Los resultados obtenidos en promedio para los tres niveles de altura de *Guadua angustifolia* Kunth. en la presente investigación basados en la NTC 5525 con probetas de 0.5 metros de longitud es de 50,960.49 kg/cm², lo cual es menor a lo explícito por GONZÁLEZ y DÍAZ (1992), que utilizando a nivel de laboratorio probetas sometidas a flexión entre 0.5 y 0.8 metros de longitud obtuvieron resultados de 117,210 ± 93 kg/cm². Por otro lado, MEJÍA (1985), determinó resultados de módulo de elasticidad (MOE) de 95,903 Kg/cm², que es aproximado a lo determinado en el nivel ápice de las probetas durante la investigación (87,930.24 kg/cm²).

Asimismo, el Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación ICONTEC y las normas de la American Society for Testing and Materials ASTM, obtuvieron resultados de módulo de elasticidad en flexión de 179,000 kg/cm², que es un dato mucho mayor a lo determinado en la investigación y por los demás autores.

El mayor valor del módulo de elasticidad (MOE) se registró en el nivel ápice, lo que se asemeja a lo que asevera GHAVAMI (2004) que concluye que los mejores esfuerzos a la flexión y módulo de elasticidad, se obtienen en el tope de los culmos esto debido a la alta concentración de haces vasculares y poco parénquima.

5.2. De la determinación de la variabilidad a la compresión paralela y perpendicular, del culmo maduro de *Guadua angustifolia* Kunth, a diferentes niveles de altura

5.2.1. Compresión paralela

5.2.1.1. Del cálculo del esfuerzo al límite proporcional

Los resultados obtenidos en promedio para los tres niveles de altura de *Guadua angustifolia* Kunth. en la presente investigación basados en la NTC 5525 es de 227.76 kg/cm² que equivale a 22.34 MPa, son mayores a lo determinado por GONZÁLEZ y DÍAZ (1992) que encontraron para guaduas provenientes de Santafé de Antioquia valores de esfuerzos en el límite proporcional (ELP) de 12.38 MPa, y para guaduas provenientes de Risaralda de 19.79 MPa.

5.2.1.2. Del cálculo del esfuerzo de rotura en compresión paralela

Los resultados obtenidos en promedio para los tres niveles de altura de *Guadua angustifolia* Kunth. en la presente investigación basados en la NTC 5525 con longitudes de probetas que variaron entre 0.2 y 0.5 metros es de 345.59 kg/cm², que equivale a 33,89 MPa, lo cual es similar a lo determinado por Martín y Mateus (1981), citado por HIDALGO (2003) quienes realizaron ensayos a compresión en guadua castilla, con longitudes de probetas que variaron entre 1 y 2 metros, utilizando la sección basal para guaduas con edades comprendidas

entre los 3 y los 5 años, y encontraron valores de esfuerzos de rotura mínimo y máximos de 26.46 MPa y 53.9 MPa respectivamente.

5.2.1.3. Del cálculo del módulo de elasticidad

Los resultados obtenidos en promedio para los tres niveles de altura de *Guadua angustifolia* Kunth., en la presente investigación basados en la NTC 5525 es de 32146.49 kg/cm², lo cual es menor a lo determinado por el Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación ICONTEC y las normas de la American Society for Testing and Materials ASTM, que realizaron ensayos en guaduas, obteniendo resultados de módulo de elasticidad en compresión paralela de 184,000 kg/cm², que es un dato mucho mayor a lo determinado en la investigación.

El mayor valor del módulo de elasticidad (MOE) se registró en el nivel base, debido a que las probetas de la sección base y medio presentaban nudos, además, aquellas probetas presentaban mayor longitud y mayor diámetro en comparación con las probetas del nivel ápice.

5.2.2. Compresión perpendicular

5.2.2.1. Del cálculo del esfuerzo al límite proporcional

Los resultados obtenidos en promedio para los tres niveles de altura de *Guadua angustifolia* Kunth. en la presente investigación basados en la NTC 5525 es de 8.30 kg/cm², lo cual es menor a lo determinado por LUNA *et. al.*

(2013) que señalan que tras una investigación de resistencia mecánica de *Guadua angustifolia* a compresión perpendicular a la fibra, a través de ensayos en probetas tomadas de la parte inferior, media y superior de culmos de guaduas provenientes de tres departamentos diferentes de Colombia, se registraron los siguientes promedios: 16 kg/cm², 17.0 kg/cm² y 18.3 kg/cm² respectivamente.

Estos resultados tan bajos, se debe a que éstas probetas fueron las más atacadas por gorgojos lo que disminuye la resistencia mecánica; además que para determinar el área, se consideró el área de contacto de la placa metálica con la probeta, la cual fue mayor en las probetas del nivel base y nivel medio en comparación con las probetas del nivel ápice, lo que disminuyó considerablemente el esfuerzo al límite proporcional.

5.3. De la determinación de la variabilidad al cizallamiento del culmo maduro de *Guadua angustifolia* Kunth, a diferentes niveles de altura

5.3.1. Del cálculo del esfuerzo de rotura por cizallamiento

Los resultados obtenidos en promedio para los tres niveles de altura de *Guadua angustifolia* Kunth. en la presente investigación basados en la NTC 5525 es de 89.16 kg/cm², que equivale a 8.74 MPa, lo cual es similar a lo señalado por CHEATLE Y LÓPEZ (2002), basados en la norma dada por el INBAR (The International Network for Bamboo and Rattan, 1999), que encontraron un valor de esfuerzo admisible promedio de 6.87 MPa para elementos de la especie como la *Guadua sp.*, sometidos a cizallamiento; de igual manera González y Díaz (1992), citados por CASTRILLÓN y MALAVER (2004),

determinaron para elementos de dicha especie provenientes de Antioquia y Risaralda, sometidos a cizallamiento, esfuerzos promedios de 5.78 MPa y de 7.74 MPa y también, CASTRILLÓN y MALAVER (2004), para elementos de *Guadua sp.*, sometidos a cizallamiento registraron valores promedios de 7.84 MPa.

VI. CONCLUSIONES

1. El promedio total del esfuerzo unitario en el límite proporcional en flexión estática fue de 68.53 kg/cm^2 con un porcentaje de variabilidad promedio de 45.17%, no encontrándose diferencias estadísticas significativas entre los niveles. El promedio total del esfuerzo unitario máximo (MOR) en flexión estática fue de 195.68 kg/cm^2 con un porcentaje de variabilidad promedio de 32.49%, no encontrándose diferencias estadísticas significativas entre los niveles. El promedio total del módulo de elasticidad (MOE) en flexión estática fue de $50,960.49 \text{ kg/cm}^2$ con un porcentaje de variabilidad promedio de 46.80%, encontrándose diferencias estadísticas significativas entre los niveles.
2. El promedio total del esfuerzo al límite proporcional en compresión paralela fue de 227.76 kg/cm^2 con un porcentaje de variabilidad promedio de 62.94%, no encontrándose diferencias estadísticas significativas entre los niveles. El promedio total del esfuerzo de rotura en compresión paralela fue de 345.59 kg/cm^2 con un porcentaje de variabilidad promedio de 27.42%, no encontrándose diferencias estadísticas significativas entre los niveles base y medio, pero sí en el nivel ápice. El promedio total del módulo de elasticidad (MOE) en compresión paralela fue de $32,156.49 \text{ kg/cm}^2$ con un porcentaje de variabilidad promedio de 96.98% no encontrándose diferencias

estadísticas significativas entre los niveles. El promedio total del esfuerzo al límite proporcional en compresión perpendicular fue de 8.30 kg/cm² con un porcentaje promedio de variabilidad 32.73%, encontrándose diferencias estadísticas significativas entre los niveles.

3. El promedio total del esfuerzo de rotura por cizallamiento fue de 90.27 kg/cm² con un porcentaje promedio de variabilidad de 18.60%, no encontrándose diferencias estadísticas significativas entre los niveles.

VII. RECOMENDACIONES

1. A los egresados de la Facultad de Recursos Naturales Renovables deberían realizar trabajos similares en diferentes especies de bambú, a fin de poder generar una base de datos.
2. A los futuros tesisistas en propiedades mecánicas se les recomienda secar los culmos de bambú extraídos apoyándolos sobre culmos no extraídos en el mismo lugar de extracción para posteriormente elaborar las probetas para realizar los ensayos mecánicos, esto para evitar las contracciones y deformaciones en las probetas, sobre todo en las más pequeñas.
3. A los futuros tesisistas en propiedades mecánicas se les recomienda elaborar más probetas (tres repeticiones) para realizar los ensayos, debido a que durante el secado natural se pierden probetas por rajaduras, contracciones o agrietamientos, lo que afecta a los resultados de variabilidad.

EVALUATION OF MECHANICAL PROPERTIES OF CULM OF *Guadua angustifolia* KUNTH, IN THREE LEVELS OF HEIGHT

VIII. ABSTRACT

Forest deforestation is reaching alarming proportions in Perú by lack of studies of species that may supply the wood, such as bamboo *Guadua angustifolia* Kunth., which has great potential, but lack of evaluation of mechanical properties is not used or exploited optimally; to thereby determine objectives such as bending stresses, parallel and perpendicular compression and shear at three levels of height (base, middle and apex). The research was conducted at the Laboratory of Wood Technology of the Faculty of Forestry at the National University of Ucayali (UNU), using bamboo species *Guadua angustifolia* Kunth., extracted from Agronomy Faculty of Universidad Nacional Agraria de la Selva (UNAS), data obtained from the mechanical tests, with respect to the mean and coefficient of variation were integrated. The bending for the calculation of the unit proportional limit stress on the greater variability in the base level with 48.86% , supported apex level with 48.02% and finally the average level was registered with 38.64%; in calculating the maximum unit effort (MOR) more variability was recorded at the apex level with 44.00% , seconded base level with 33.56% and finally the average level with 19.91%; in calculating the modulus of elasticity greater variability in the base level with 55.99% ,

supported apex level with 52.93% and finally the average was recorded with 31.47%. In parallel compression for calculating the proportional limit stress greater variability in the base level with 68.41%, supported apex 64.99% level and finally the average was recorded with 55.41%; in calculating the breaking stress greater variability in the base level with 34.45%, the average level supported with 28.19% and finally the apex level was recorded with 19.63%; in calculating the modulus of elasticity greater variability in the base levels with 129.01%, the average level supported by 126.95% and finally the apex level was recorded with 34.97%. In the compression perpendicular to the calculation of the proportional limit stress greater variability was recorded at the apex level with 53.58%, the average level supported with 30.15% and finally the basic level with 14.47%. In the shear for calculating the breaking stress greater variability was recorded in the base level with 23.50%, supported apex level with 17.65% and the average level last with 14.65%.

IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AHMAD, M. 2000. Analysis of Calcutta Bamboo for Structural Composite Materials. Thesis (Ph.D.) Virginia Polytechnic Institute and State University Virginia, EEUU. 210 p.
- ARÓSTEGUI, A. 1975. Estudio Tecnológico de Maderas del Perú (Zona Pucallpa). Vol. II. Normas y Métodos. Ministerio de Agricultura – Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú. 68 p.
- ASTM. 1992. Standard methods of testing small clear specimens of timber. Book of ASTM Standard D. 143-94. Vol. 04.09. Wood American Society for testing and materials. Philadelphia, PA, USA. 58(4):s.p.
- BOTERO, L. Manual de Industrialización del Bambú. COMPYMEFOR. Apoyo a la Mejora en la Competitividad de las PYMES del Sector Forestal Industrial em Argentina. Buenos Aires, Argentina. 38 p.
- CASTRILLÓN, M. y MALAVER, F. 2004. Determinación de las propiedades físico-mecánicas de la guadua. En: Simposio Internacional de la guadua. Pereira. Pereira, Colombia. 1-3 p.

- CHEATLE, D y LÓPEZ, L. 2002. Diseño de uniones y elementos en estructuras de Guadua. Seminario - Taller Avances en la investigación sobre Guadua. Pereira, Colombia. 10 p.
- CRUZ, H. 1994. La Guadua: Nuestro bambú. Corporación Autónoma Regional del Quindío y Centro Nacional para el Estudio del Bambú – Guadua, Colombia. 25 p.
- DÍAZ, P. 2005. Evaluación de Propiedades Físicas y Mecánicas de madera de *Nothofagus glauca* (Hualo) proveniente de la zona de Cauquenes. Universidad de Talca, Facultad de Ciencias Forestales. Talca, Chile. 34 p.
- DIRECCIÓN NACIONAL DE CONSTRUCCIÓN. 2011. Proyecto Normativo: Diseño y Construcción con Bambú. Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. Lima, Perú. 58 p.
- GHAVAMI, K. 2004. Bamboo as reinforcement in structural concrete elements. En: Journal Cement and Concrete Composite. Vol. 26. 23 p.
- GIRALDO, E. y SABOGAL, A. 1999. La Guadua: Una alternativa sostenible. Corporación Autónoma Regional del Quindío y Centro Nacional para el Estudio del Bambú – Guadua, Colombia. 45 p.
- GONZÁLEZ C., y DÍAZ, J. 1992. Propiedades físicas y mecánicas de la *Guadua angustifolia* Kunt. Trabajo de Grado (Ingenieros Agrícolas). Universidad

Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Medellín, Colombia. 103 p.

HIDALGO, O. 2003. Bamboo the gift of the goods. Bogotá, Colombia. 80 p.

INCOTEC. 1993. NTC 5525 (Norma Técnica Colombiana) Bambú: métodos para determinar la flexión, compresión y cizallamiento. Colombia. 22 p.

ISSO 22.157 – 1. 2004. Norma Internacional. Bambú – Determinación de propiedades físicas y mecánicas. Requerimientos. 1era Edición. 19 p.

JANSSEN, J. 2002. Mechanical Properties of Bamboo. www.bambus\new\eng\reports\mechanical_properties\referat2.html. 1-12.

LONDOÑO, X. 2001. Taxonomía del Bambú. I Seminario Internacional del Bambú. Comité Regional del Bambú - Mérida. Corporación de los Andes, Mérida, Venezuela. 56 p.

LONDOÑO, P., JANSSEN, J. y GONZÁLEZ, J. 2002. "The American Bamboos with emphasis in the Genus *Guadua*." Instituto Vallecaucano de Investigaciones Científicas INCIVA. Cali. 63 p.

LUNA, P., LOZANO, J. y TAKEUCHI, C. (2013). Determinación experimental de valores característicos de resistencia para *Guadua angustifolia*. Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia. 32 p.

- MEJÍA, F. 1985. Propiedades físicas y mecánicas de especies maderables en Caldas para su uso en la construcción. Manizales: CINDEC, Colombia. 85 p.
- NTC 549-03: Norma para Cosecha y Pos cosecha, de la *Guadua angustifolia* Kunth. 6 p.
- NTC 5301. Preservación y secado del culmo de *Guadua angustifolia* Kunth. 6 p.
- ORDÓÑEZ, V. 1999. Perspectivas del bambú para la construcción en México. En: Madera y Bosques 3-12 p.
- PENICHE, C. 1990. La madera y la arquitectura. División de Ciencias y Artes para el Diseño. Departamento de Procesos y Técnicas de Realización. Universidad Autónoma Metropolitana. 72 p.
- ROBLES, F y ECHENIQUE, M. 1993. Ciencia y Tecnología de la madera. Vol II. Universidad Veracruzana. México. 69 p.
- VILLEGAS, B. 2003. Guadua. Arquitectura y Diseño. Villegas Editores. Bogotá, Colombia. 41 p.

ANEXO

Anexo 01. Panel fotográfico

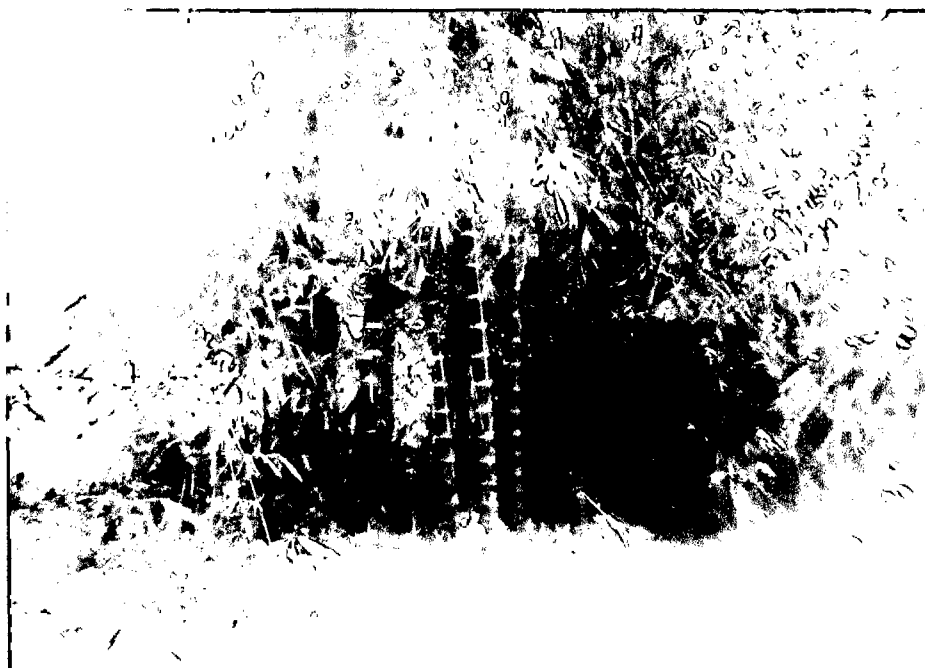


Figura 38. Mata de *Guadua angustifolia* Kunth.



Figura 39. Extracción del culmo de bambú.

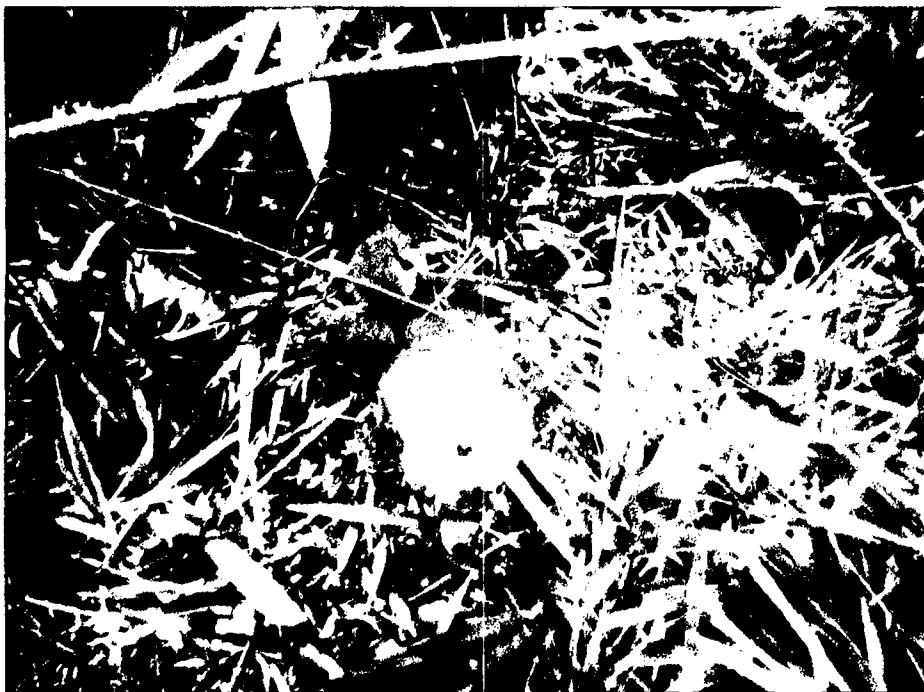


Figura 40. Tocón del culmo extraído.



Figura 41. Calculando la circunferencia del culmo.



Figura 42. Marcando el número de internudos.

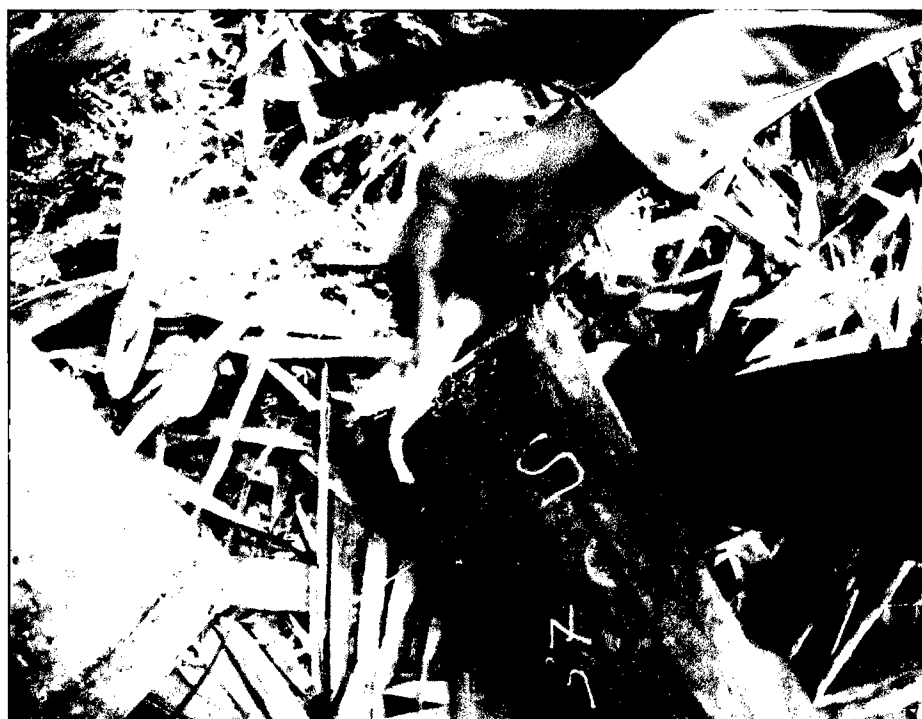


Figura 43. Pasando con tiza en los extremos del culmo.



Figura 44. Corte de los culmos por niveles para obtener probetas.



Figura 45. Codificación de probetas para ensayo mecánico.



Figura 46. Obtención de probetas para cizallamiento.

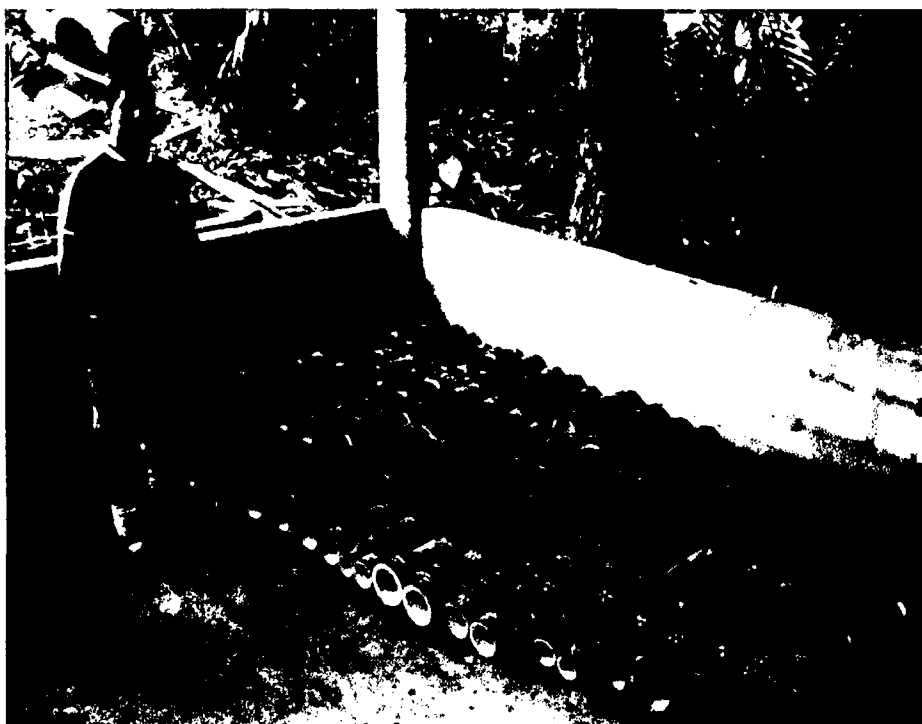


Figura 47. Probetas obtenidas para los ensayos mecánicos.

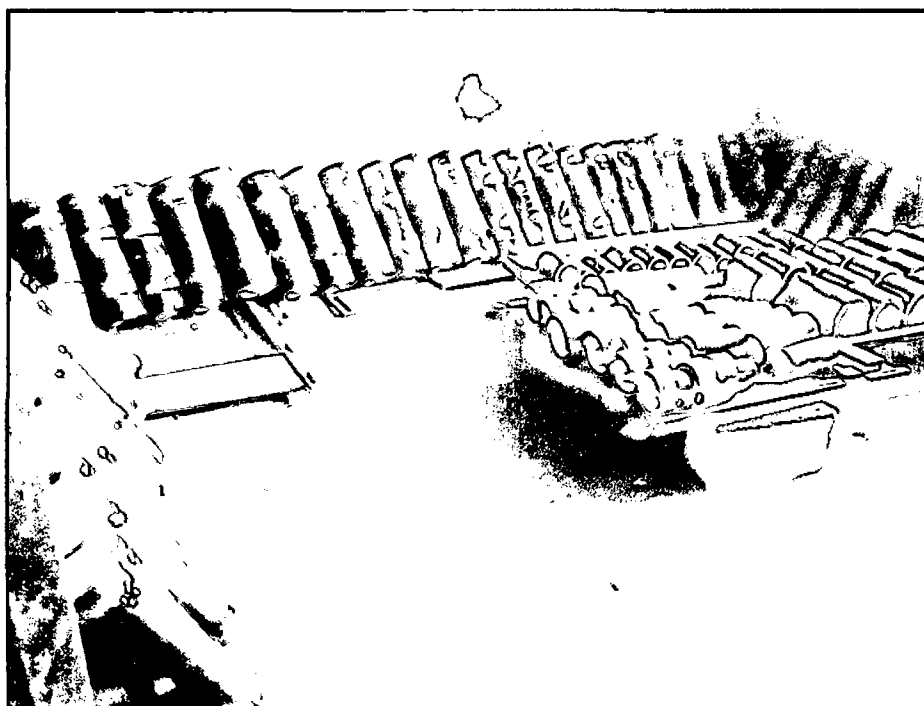


Figura 48. Acomodo de las probetas de para el secado natural.

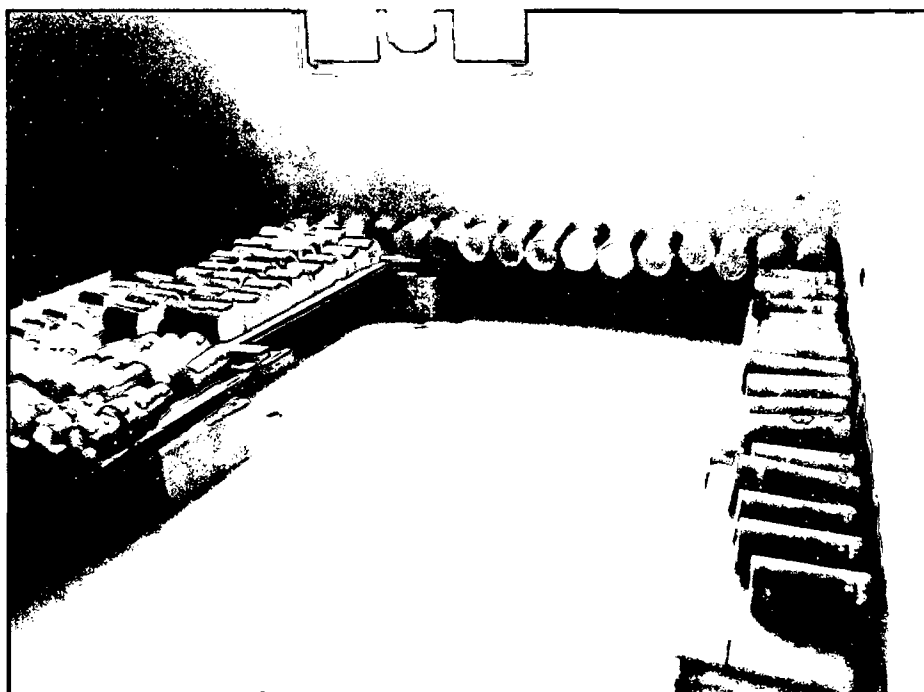


Figura 49. Acomodo de las probetas para el secado natural.



Figura 50. Reloj ambiental.



Figura 51. Deformaciones en probeta de compresión perpendicular.

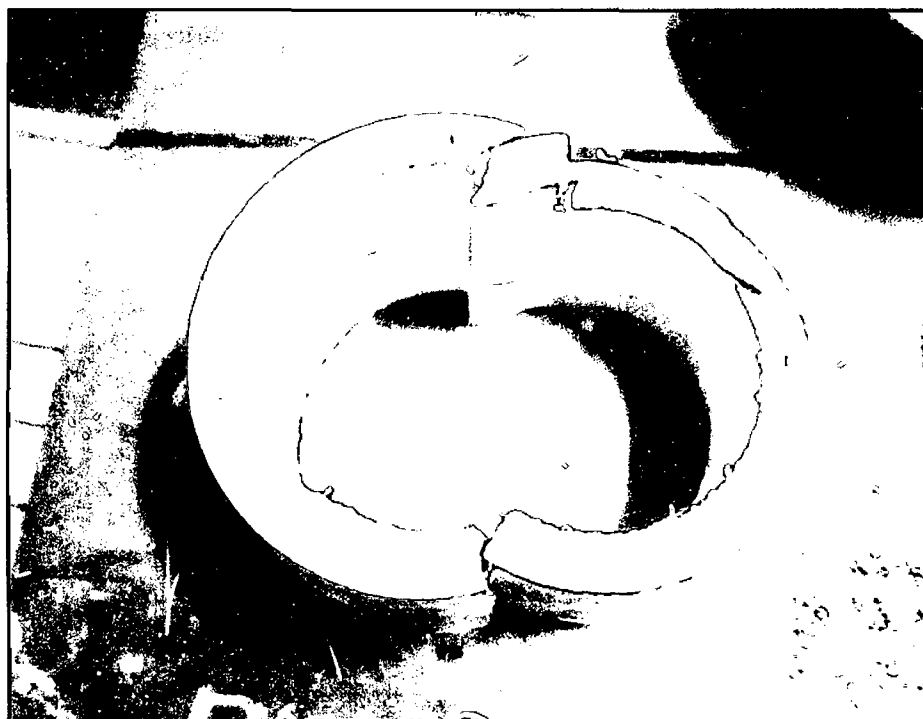


Figura 52. Deformación en probeta de cizallamiento.

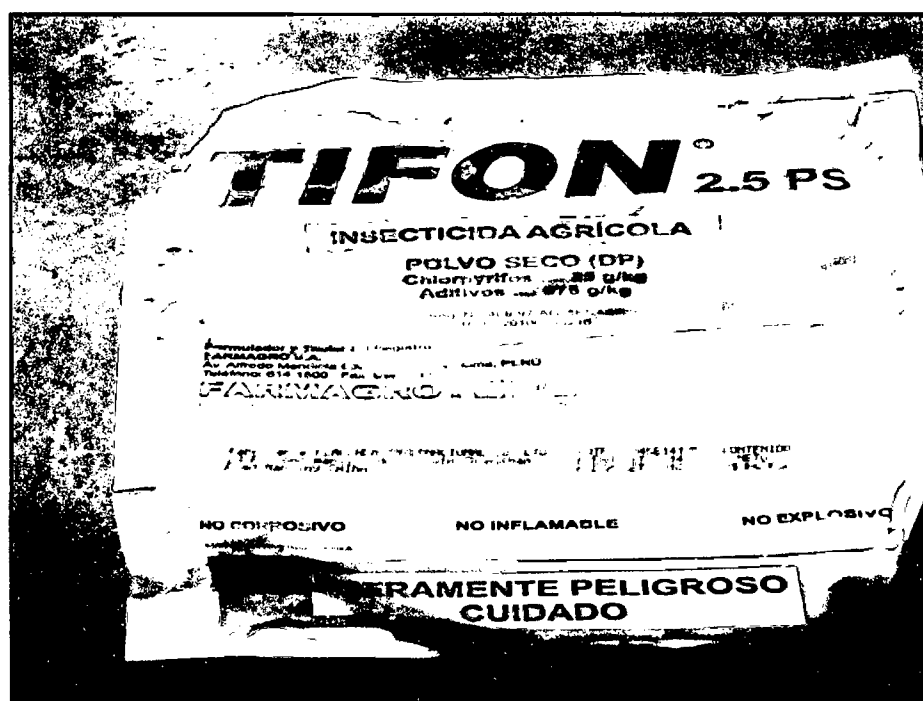


Figura 53. Insecticida TIFON para combatir la polilla.

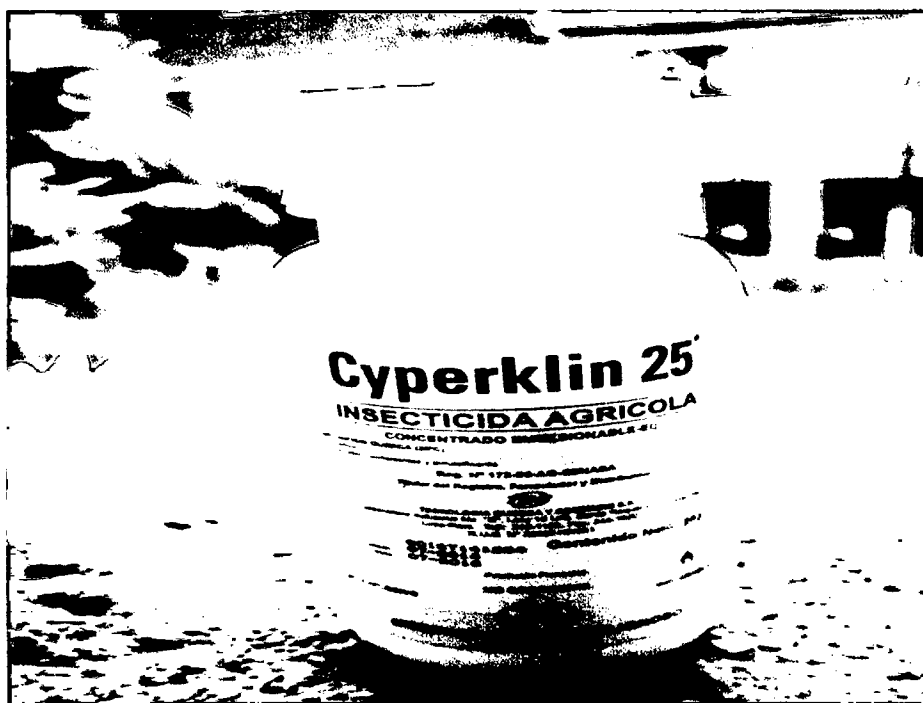


Figura 54. Insecticida Cyperklin 25 para combatir la polilla.



Figura 55. Esfuerzo de flexión en la probeta.

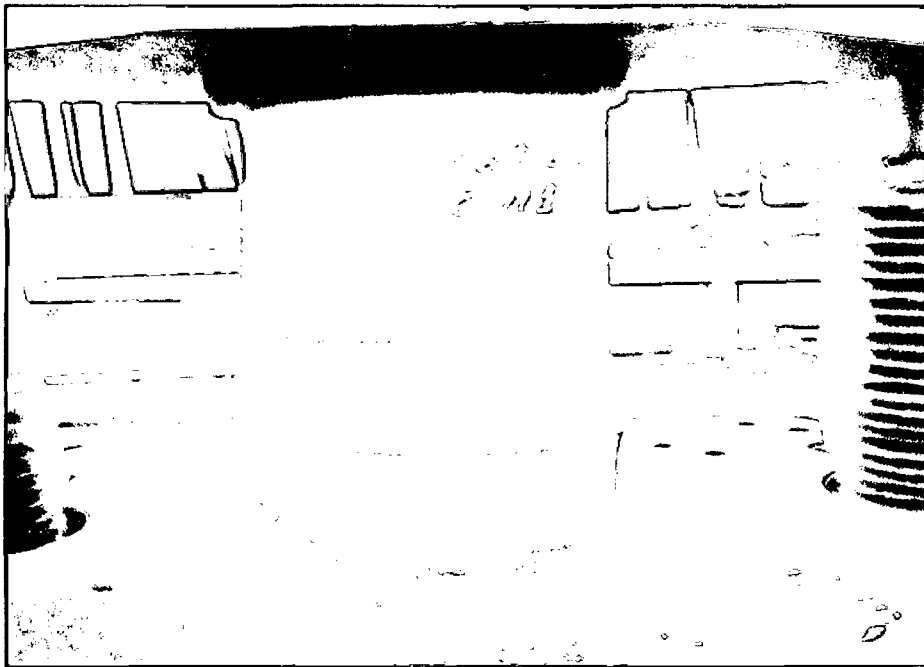


Figura 56. Esfuerzo de compresión paralela en la probeta.



Figura 57. Esfuerzo de cizallamiento en la probeta.

Anexo 02. Cuadros de evaluación

Cuadro 16. Características de la mata N° 01

Número de mata	01
Coordenadas UTM	390381 8969993
Altitud (m.s.n.m)	665
Ubicación	Fundo de Agronomía
Descripción de la mata	
Accesibilidad	Al borde del camino (hasta los 10 m) sanas
Condición física y fitosanitaria	8 cañas dañadas o rotas
Número total de cañas	57 cañas
Número de cañas maduras	30 cañas
Número de cañas sobremaduras	7 cañas
Número de cañas verdes	12 cañas
Número de brotes	Ninguno
Estado de los tocones presentes	9 tocones con hongos
Circunferencia de la mata	43.5 metros
Corte de cañas.	1er nudo a 20 cm del suelo
Descripción del culmo de bambú	
CAP	48 cm
Orientación de la inclinación al suelo	Este
Distancia de inclinación proyectada	Menor a 5 metros
Evaluación del culmo de bambú	
Altura del tocón	1er nudo a 20 cm del suelo
Longitud total del culmo	34 metros
Número total de nudos	69
Número total de internudos	69
Longitud hasta 10 cm de diámetro	14.64 metros
Número de nudos hasta 10 cm de diámetro	33
Número de internudos hasta 10 cm de diámetro	33
Altura útil (hasta 8 cm de diámetro)	18.20 metros
Altura de inicio de ramas o brotes	1.60 metros

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 17. Características de la mata N° 02

Número de mata	02
Coordenadas UTM	390389 8970003
Altitud (m.s.n.m)	665
Ubicación	Fundo de Agronomía
Descripción de la mata	
Accesibilidad	Al borde del camino (hasta los 10 m) sanas
Condición física y fitosanitaria	5 cañas dañadas o rotas
Número total de cañas	50 cañas
Número de cañas maduras	29 cañas
Número de cañas sobremaduras	6 cañas
Número de cañas verdes	10 cañas
Número de brotes	Ninguno
Estado de los tocones presentes	4 tocones con hongos
Circunferencia de la mata	32 metros
Corte de cañas	1er nudo a 20 cm del suelo
Descripción del culmo de bambú	
CAP	48.4 cm
Orientación de la inclinación al suelo	Este
Distancia de inclinación proyectada	Menor a 5 metros
Evaluación del culmo de bambú	
Altura del tocón	1er nudo a 20 cm del suelo
Longitud total del culmo	23.75 metros
Número total de nudos	74
Número total de internudos	74
Longitud hasta 10 cm de diámetro	15.20 metros
Número de nudos hasta 10 cm de diámetro	41
Número de internudos hasta 10 cm de diámetro	41
Altura útil (hasta 8 cm de diámetro)	17.40 metros
Altura de inicio de ramas o brotes	0.40 metros

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 18. Características de la mata N° 03

Número de mata	03
Coordenadas UTM	390401 8969989
Altitud (m.s.n.m)	665
Ubicación	Fundo de Agronomía
Descripción de la mata	
Accesibilidad	Al borde del camino (hasta los 10 m) sanas
Condición física y fitosanitaria	8 cañas dañadas o rotas
Número total de cañas	52 cañas
Número de cañas maduras	32 cañas
Número de cañas sobremaduras	3cañas
Número de cañas verdes	9 cañas
Número de brotes	Ninguno
Estado de los tocones presentes	4 tocones con hongos
Circunferencia de la mata	42 metros
Corte de cañas	1er nudo a 20 cm del suelo
Descripción del culmo de bambú	
CAP	51.5 cm
Orientación de la inclinación al suelo	Norte
Distancia de inclinación proyectada	Menor a 5 metros
Evaluación del culmo de bambú	
Altura del tocón	1er nudo a 20 cm del suelo
Longitud total del culmo	26.4 metros
Número total de nudos	69
Número total de internudos	69
Longitud hasta 10 cm de diámetro	14.52 metros
Número de nudos hasta 10 cm de diámetro	43
Número de internudos hasta 10 cm de diámetro	43
Altura útil (hasta 8 cm de diámetro)	17.42 metros
Altura de inicio de ramas o brotes	0.51 metros

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 19. Características de la mata N° 04

Número de mata	04
Coordenadas UTM	390391 8969991
Altitud (m.s.n.m)	665
Ubicación	Fundo de Agronomía
Descripción de la mata	
Accesibilidad	Al borde del camino (hasta los 10 m) sanas
Condición física y fitosanitaria	4 cañas dañadas o rotas
Número total de cañas	49 cañas
Número de cañas maduras	33 cañas
Número de cañas sobremaduras	4 cañas
Número de cañas verdes	8 cañas
Número de brotes	Ninguno
Estado de los tocones presentes	13 tocones con hongos
Circunferencia de la mata	54 metros
Corte de cañas	1er nudo a 20 cm del suelo
Descripción del culmo de bambú	
CAP	49.1 cm
Orientación de la inclinación al suelo	Norte
Distancia de inclinación proyectada	Menor a 5 metros
Evaluación del culmo de bambú	
Altura del tocón	1er nudo a 20 cm del suelo
Longitud total del culmo	26.8 metros
Número total de nudos	70
Número total de internudos	71
Longitud hasta 10 cm de diámetro	13.17 metros
Número de nudos hasta 10 cm de diámetro	41
Número de internudos hasta 10 cm de diámetro	41
Altura útil (hasta 8 cm de diámetro)	17.43 metros
Altura de inicio de ramas o brotes	0.65 metros

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 20. Características de la mata N° 05

Número de mata	05
Coordenadas UTM	390403 8969990
Altitud (m.s.n.m)	665
Ubicación	Fundo de Agronomía
Descripción de la mata	
Accesibilidad	Al borde del camino (hasta los 10 m) sanas
Condición física y fitosanitaria	5 cañas dañadas o rotas
Número total de cañas	44 cañas
Número de cañas maduras	32 cañas
Número de cañas sobremaduras	4 cañas
Número de cañas verdes	3 cañas
Número de brotes	Ninguno
Estado de los tocones presentes	5 tocones con hongos
Circunferencia de la mata	38 metros
Corte de cañas	1er nudo a 20 cm del suelo
Descripción del culmo de bambú	
CAP	48.6 cm
Orientación de la inclinación al suelo	Oeste
Distancia de inclinación proyectada	Menor a 5 metros
Evaluación del culmo de bambú	
Altura del tocón	1er nudo a 20 cm del suelo
Longitud total del culmo	21.7 metros
Número total de nudos	58
Número total de internudos	58
Longitud hasta 10 cm de diámetro	12.16 metros
Número de nudos hasta 10 cm de diámetro	38
Número de internudos hasta 10 cm de diámetro	38
Altura útil (hasta 8 cm de diámetro)	18.62 metros
Altura de inicio de ramas o brotes	0.56 metros

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 21. Características de la mata N° 06

Número de mata	06
Coordenadas UTM	390431 8969984
Altitud (m.s.n.m)	665
Ubicación	Fundo de Agronomía
Descripción de la mata	
Accesibilidad	Al borde del camino (hasta los 10 m) sanas
Condición física y fitosanitaria	8 cañas dañadas o rotas
Número total de cañas	49 cañas
Número de cañas maduras	16 cañas
Número de cañas sobremaduras	9 cañas
Número de cañas verdes	16 cañas
Número de brotes	Ninguno
Estado de los tocones presentes	7 tocones con hongos
Circunferencia de la mata	42 metros
Corte de cañas	1er nudo a 20 cm del suelo
Descripción del culmo de bambú	
CAP	47.8 cm
Orientación de la inclinación al suelo	Norte
Distancia de inclinación proyectada	Menor a 5 metros
Evaluación del culmo de bambú	
Altura del tocón	1er nudo a 20 cm del suelo
Longitud total del culmo	23.30 metros
Número total de nudos	64
Número total de internudos	64
Longitud hasta 10 cm de diámetro	14.26 metros
Número de nudos hasta 10 cm de diámetro	41
Número de internudos hasta 10 cm de diámetro	41
Altura útil (hasta 8 cm de diámetro)	16.80 metros
Altura de inicio de ramas o brotes	0.60 metros

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 22. Características de la mata N° 07

Número de mata	07
Coordenadas UTM	390418 8969980
Altitud (m.s.n.m)	665
Ubicación	Fundo de Agronomía
Descripción de la mata	
Accesibilidad	Al borde del camino (hasta los 10 m) sanas
Condición física y fitosanitaria	4 cañas dañadas o rotas
Número total de cañas	52 cañas
Número de cañas maduras	32 cañas
Número de cañas sobremaduras	7 cañas
Número de cañas verdes	9 cañas
Número de brotes	Ninguno
Estado de los tocones presentes	8 tocones con hongos
Circunferencia de la mata	61.5 metros
Corte de cañas	1er nudo a 20 cm del suelo
Descripción del culmo de bambú	
CAP	48 cm
Orientación de la inclinación al suelo	Noreste
Distancia de inclinación proyectada	Menor a 5 metros
Evaluación del culmo de bambú	
Altura del tocón	1er nudo a 20 cm del suelo
Longitud total del culmo	28 metros
Número total de nudos	62
Número total de internudos	62
Longitud hasta 10 cm de diámetro	13.41 metros
Número de nudos hasta 10 cm de diámetro	40
Número de internudos hasta 10 cm de diámetro	40
Altura útil (hasta 8 cm de diámetro)	17.46 metros
Altura de inicio de ramas o brotes	0.46 metros

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 23. Características del culmo N° 01

Bambú N° 1				
Nudo		Internudo		
N°	Circunferencia (cm)	N°	Distancia/longitud (cm)	Circunferencia (cm)
1	48.3	1	19.1	44.5
2	47.9	2	19.5	44.6
3	47.8	3	21.5	45.2
4	48.9	4	22.0	46.1
5	49.4	5	24.0	46.6
6	49.5	6	23.5	47.2
7	50.3	7	25.8	47.3
8	50.5	8	25.3	48.2
9	51.1	9	26.1	48.0
10	51.0	10	26.0	48.0
11	51.2	11	27.7	48.1
12	51.0	12	28.0	47.6
13	50.0	13	28.7	47.6
14	50.0	14	28.0	47.0
15	49.4	15	30.8	46.5
16	48.9	16	28.8	46.2
17	48.4	17	31.7	45.6
18	47.8	18	30.5	45.0
19	47.0	19	33.0	44.1
20	45.7	20	31.7	43.4
21	44.9	21	33.3	42.6
22	44.2	22	32.7	42.1
23	43.7	23	33.0	41.2
24	43.1	24	30.1	40.3
25	42.3	25	29.5	39.9
26	42.0	26	20.8	39.2
27	40.9	27	17.8	38.5
28	40.0	28	19.2	37.8
29	39.9	29	32.7	37.2
30	38.5	30	34.6	36.6
31	38.0	31	34.6	36.4
32	37.6	32	34.3	35.6
33	37.0	33	35.5	35.1
34	36.8	34	35.5	34.1
35	36.0	35	36.5	33.4

Fuente: Elaboración propia

Bambú N° 1				
Nudo		Internudo		
N°	Circunferencia (cm)	N°	Distancia/longitud (cm)	Circunferencia (cm)
36	35.0	36	37.0	32.8
37	34.4	37	38.3	32.1
38	33.8	38	38.0	31.4
39	33.0	39	39.2	30.7
40	32.4	40	37.8	31.1
41	31.6	41	40.0	29.5
42	31.0	42	39.0	28.7
43	30.1	43	40.6	27.8
44	29.5	44	40.9	27.1
45	28.8	45	44.0	26.4
46	28.0	46	42.6	25.4
47	27.0	47	25.6	24.9

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 24. Características del culmo N° 02

Bambú N° 2				
Nudo		Internudo		
N°	Circunferencia (cm)	N°	Distancia/longitud (cm)	Circunferencia (cm)
1	44.4	1	17.7	42.5
2	44.7	2	20.0	43.4
3	46.8	3	21.7	44.6
4	47.3	4	23.1	45.9
5	48.6	5	24.2	46.5
6	49.6	6	25.1	47.4
7	50.0	7	25.5	48.1
8	51.3	8	27.4	48.8
9	50.8	9	27.0	49.2
10	51.4	10	28.5	49.0
11	51.1	11	28.7	49.3
12	51.8	12	29.5	49.4
13	51.3	13	29.7	48.8
14	51.2	14	31.4	48.7
15	51.0	15	31.3	48.0
16	50.3	16	33.9	47.5

Fuente: Elaboración propia

Bambú N° 2				
Nudo		Internudo		
N°	Circunferencia (cm)	N°	Distancia/longitud (cm)	Circunferencia (cm)
17	49.6	17	33.4	47.1
18	48.9	18	34.9	46.3
19	48.2	19	34.4	45.7
20	47.6	20	34.9	45.1
21	46.8	21	35.4	44.5
22	46.4	22	35.0	43.5
23	45.8	23	35.0	43.1
24	44.7	24	36.0	42.5
25	43.2	25	36.3	41.9
26	43.4	26	36.5	41.3
27	43.0	27	37.5	40.8
28	41.6	28	37.8	40.0
29	41.9	29	37.8	39.5
30	39.8	30	38.5	38.8
31	39.4	31	38.5	38.0
32	39.4	32	38.4	37.6
33	38.6	33	39.4	36.8
34	38.3	34	40.0	37.2
35	38.3	35	40.2	35.4
36	36.6	36	40.0	34.1
37	35.3	37	40.5	33.1
38	35.1	38	41.1	32.5
39	34.0	39	41.5	31.7
40	32.6	40	42.0	30.9
41	32.3	41	42.8	30.1
42	31.5	42	43.7	29.4
43	29.5	43	44.0	28.5
44	29.1	44	44.4	27.8
45	28.7	45	44.4	27.1
46	27.5	46	44.0	26.1
47	27.5	47	44.3	25.5
48	26.4	48	44.0	24.3

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 25. Características del culmo N° 03

Bambú N° 3				
Nudo		Internudo		
N°	Circunferencia (cm)	N°	Distancia/longitud (cm)	Circunferencia (cm)
1	46.6	1	17.5	45.6
2	48.6	2	20.0	46.6
3	49.6	3	20.5	47.6
4	52.0	4	22.6	49.0
5	51.6	5	23.0	50.4
6	53.9	6	26.5	51.5
7	54.7	7	24.5	52.0
8	55.2	8	27.0	52.3
9	55.1	9	26.0	52.8
10	55.7	10	28.8	52.8
11	55.8	11	27.5	52.7
12	56.0	12	30.3	52.6
13	55.4	13	29.0	52.0
14	55.0	14	31.6	51.3
15	55.0	15	30.5	51.2
16	53.9	16	33.1	50.4
17	53.0	17	31.6	50.0
18	52.0	18	35.2	49.0
19	51.9	19	33.7	48.4
20	51.0	20	36.8	47.5
21	50.0	21	34.9	47.1
22	49.7	22	37.5	46.5
23	49.0	23	36.0	45.9
24	48.3	24	38.0	45.3
25	46.4	25	36.5	44.2
26	45.7	26	37.2	43.3
27	44.7	27	36.6	42.5
28	44.1	28	37.5	41.5
29	42.6	29	37.0	41.0
30	42.4	30	38.6	39.9
31	41.3	31	38.2	39.5
32	40.8	32	39.4	38.9
33	39.9	33	38.5	38.4
34	39.7	34	40.5	37.4
35	38.6	35	39.5	36.5
36	38.0	36	41.4	35.5

Fuente: Elaboración propia

Bambú N° 3				
Nudo		Internudo		
N°	Circunferencia (cm)	N°	Distancia/longitud (cm)	Circunferencia (cm)
37	37.0	37	41.0	35.6
38	36.2	38	43.2	34.2
39	35.1	39	44.2	33.0
40	34.8	40	45.7	32.2
41	33.3	41	45.5	31.3
42	32.6	42	46.4	30.5
43	31.8	43	45.5	30.1
44	30.9	44	46.4	29.1
45	30.3	45	46.4	28.2
46	29.2	46	47.5	27.5
47	28.6	47	47.1	26.5
48	27.8	48	47.6	25.7

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 26. Características del culmo N° 04

Bambú N° 4				
Nudo		Internudo		
N°	Circunferencia (cm)	N°	Distancia/longitud (cm)	Circunferencia (cm)
1	42.4	1	14.5	41.4
2	45.1	2	17.8	43.6
3	47.3	3	19.5	45.1
4	48.8	4	21.0	46.3
5	50.1	5	21.2	47.9
6	50.6	6	23.2	49.1
7	51.7	7	23.2	50.1
8	53.1	8	24.8	50.2
9	53.9	9	25.1	51.1
10	54.1	10	26.5	50.7
11	53.3	11	25.2	49.9
12	53.7	12	28.7	50.6
13	54.3	13	26.8	50.8
14	52.7	14	30.5	50.8

Fuente: Elaboración propia

Bambú N° 4				
Nudo		Internudo		
N°	Circunferencia (cm)	N°	Distancia/longitud (cm)	Circunferencia (cm)
15	53.2	15	29.0	50.5
16	53.3	16	31.8	50.2
17	52.3	17	31.2	49.5
18	52.1	18	34.2	49.3
19	51.3	19	32.8	48.5
20	50.9	20	35.8	48.1
21	49.8	21	33.7	47.4
22	49.5	22	37.2	46.7
23	48.6	23	35.4	46.4
24	48.0	24	38.5	45.4
25	47.2	25	36.8	45.3
26	46.9	26	39.5	44.6
27	46.0	27	38.1	43.5
28	45.5	28	34.0	42.8
29	44.5	29	37.8	41.9
30	43.6	30	38.4	41.4
31	42.8	31	37.7	40.6
32	42.1	32	39.1	39.7
33	40.9	33	39.4	34.1
34	41.0	34	40.7	38.7
35	40.1	35	38.7	37.9
36	39.3	36	40.5	37.2
37	38.6	37	37.0	36.5
38	37.9	38	38.0	35.4
39	37.2	39	37.5	34.5
40	36.4	40	39.2	33.4
41	35.2	41	40.0	32.4
42	33.5	42	40.3	31.6
43	31.7	43	41.0	30.4
44	31.9	44	42.8	29.7
45	31.3	45	43.0	28.8
46	30.6	46	45.0	28.5
47	29.6	47	43.8	27.6
48	28.8	48	44.4	26.7
49	28.1	49	42.1	26.2
50	27.4	50	36.0	24.7

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 27. Características del culmo N° 05

Bambú N° 5				
Nudo		Internudo		
N°	Circunferencia (cm)	N°	Distancia/longitud (cm)	Circunferencia (cm)
1	44.5	1	18.0	42.8
2	46.4	2	19.2	44.4
3	48.0	3	20.8	45.3
4	48.7	4	22.4	46.3
5	50.5	5	23.5	48.1
6	51.6	6	24.3	48.0
7	52.2	7	24.2	49.4
8	52.5	8	26.3	49.6
9	53.1	9	27.0	50.2
10	53.1	10	27.5	49.7
11	52.4	11	29.0	50.0
12	52.8	12	28.6	49.2
13	52.5	13	30.3	49.0
14	51.0	14	29.8	48.3
15	50.9	15	31.6	47.6
16	50.1	16	31.0	47.1
17	49.6	17	32.2	46.5
18	48.8	18	32.5	46.0
19	48.3	19	34.3	45.4
20	48.0	20	34.8	44.6
21	47.0	21	36.0	43.9
22	46.2	22	34.8	43.0
23	43.7	23	33.7	41.4
24	43.2	24	31.5	41.0
25	42.6	25	33.5	40.2
26	41.5	26	33.4	39.2
27	41.0	27	34.3	38.8
28	39.8	28	34.2	37.9
29	39.2	29	36.3	37.4
30	38.6	30	35.8	36.8
31	38.0	31	38.2	36.1
32	37.1	32	37.8	35.6
33	36.7	33	37.7	34.7
34	36.0	34	37,7	34.0
35	35.4	35	37.6	33.6

Fuente: Elaboración propia

Bambú N° 5				
Nudo		Internudo		
N°	Circunferencia (cm)	N°	Distancia/longitud (cm)	Circunferencia (cm)
36	34.6	36	37.8	32.7
37	34.2	37	38.0	32.0
38	32.8	38	38.2	31.1
39	33.2	39	38.2	30.4
40	31.4	40	35.5	29.4
41	30.6	41	37.8	29.6
42	29.7	42	35.5	27.5
43	28.4	43	31.5	26.8
44	28.2	44	32.7	25.6
45	26.7	45	34.5	24.7
46	27.4	46	30.0	23.7

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 28. Características del culmo N° 06

Bambú N° 6				
Nudo		Internudo		
N°	Circunferencia (cm)	N°	Distancia/longitud (cm)	Circunferencia (cm)
1	47.2	1	15.8	45.5
2	48.5	2	17.2	45.6
3	49.3	3	19.8	46.7
4	50.9	4	20.0	48.4
5	51.1	5	21.2	47.4
6	51.5	6	22.8	49.0
7	52.2	7	24.1	49.2
8	51.6	8	24.0	49.5
9	53.0	9	25.8	50.0
10	52.8	10	25.0	30.1
11	53.1	11	27.7	49.9
12	52.1	12	27.0	50.1
13	53.0	13	29.6	50.1
14	53.0	14	29.0	50.0
15	52.4	15	31.7	49.5
16	52.5	16	31.5	49.1

Fuente: Elaboración propia

Bambú N° 6				
Nudo		Internudo		
N°	Circunferencia (cm)	N°	Distancia/longitud (cm)	Circunferencia (cm)
17	52.0	17	34.9	48.7
18	51.5	18	48.5	34.5
19	51.0	19	36.6	47.9
20	50.4	20	47.1	36.3
21	49.9	21	38.6	47.0
22	49.1	22	38.6	46.5
23	47.3	23	38.2	44.9
24	46.5	24	37.1	44.1
25	45.6	25	39.4	43.4
26	45.3	26	37.8	42.8
27	44.7	27	39.9	42.0
28	43.6	28	39.8	41.4
29	43.1	29	40.7	40.7
30	41.9	30	40.4	39.9
31	41.7	31	41.7	39.4
32	40.6	32	41.3	38.7
33	40.5	33	41.0	38.0
34	39.4	34	40.4	37.3
35	39.1	35	42.7	36.7
36	37.2	36	42.2	35.6
37	36.5	37	43.5	34.6
38	35.8	38	43.5	33.7
39	34.5	39	44.7	32.9
40	33.9	40	44.0	32.2
41	32.7	41	43.5	30.8
42	32.1	42	42.2	30.0
43	30.5	43	41.7	28.8
44	39.4	44	41.0	27.6
45	28.3	45	40.8	26.6
46	27.5	46	38.3	25.4
47	26.5	47	38.1	24.4

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 29. Características del culmo N° 07

Bambú N° 7				
Nudo		Internudo		
N°	Circunferencia (cm)	N°	Distancia/longitud (cm)	Circunferencia (cm)
1	41.4	1	16.5	39.8
2	43.8	2	18.5	41.2
3	44.0	3	20.0	42.4
4	45.4	4	22.2	43.7
5	46.8	5	22.2	45.4
6	48.6	6	18.5	46.7
7	49.1	7	15.4	47.5
8	49.5	8	22.7	47.4
9	48.6	9	25.8	47.7
10	49.6	10	28.5	48.0
11	49.6	11	28.8	49.1
12	50.4	12	29.8	47.5
13	49.3	13	30.0	47.0
14	49.7	14	30.8	46.6
15	48.2	15	31.0	46.1
16	47.8	16	32.8	45.5
17	47.4	17	33.5	44.9
18	46.5	18	34.9	44.4
19	45.6	19	34.9	43.6
20	45.1	20	36.2	43.2
21	44.2	21	35.8	42.9
22	43.7	22	37.0	41.6
23	42.4	23	37.1	31.0
24	42.3	24	38.0	40.2
25	41.8	25	37.8	39.5
26	41.2	26	38.0	39.0
27	40.3	27	38.9	38.3
28	39.5	28	39.5	37.7
29	39.1	29	40.0	37.0
30	38.6	30	41.4	36.4
31	38.2	31	41.0	36.0
32	37.8	32	41.7	35.4
33	36.9	33	40.8	35.1
34	36.8	34	42.1	34.4
35	36.0	35	41.0	33.6
36	35.2	36	42.8	33.2

Fuente: Elaboración propia

Bambú N° 7				
Nudo		Internudo		
N°	Circunferencia (cm)	N°	Distancia/longitud (cm)	Circunferencia (cm)
37	34.3	37	43.5	32.3
38	33.7	38	44.2	32.0
39	32.2	39	44.5	31.0
40	32.5	40	46.0	30.1
41	31.3	41	47.2	29.5
42	30.9	42	47.0	28.8
43	30.1	43	47.6	28.1
44	29.1	44	47.5	27.1
45	28.0	45	48.7	26.0
46	27.5	46	49.2	25.1
47	26.2	47	48.5	24.2

Fuente: Elaboración propia

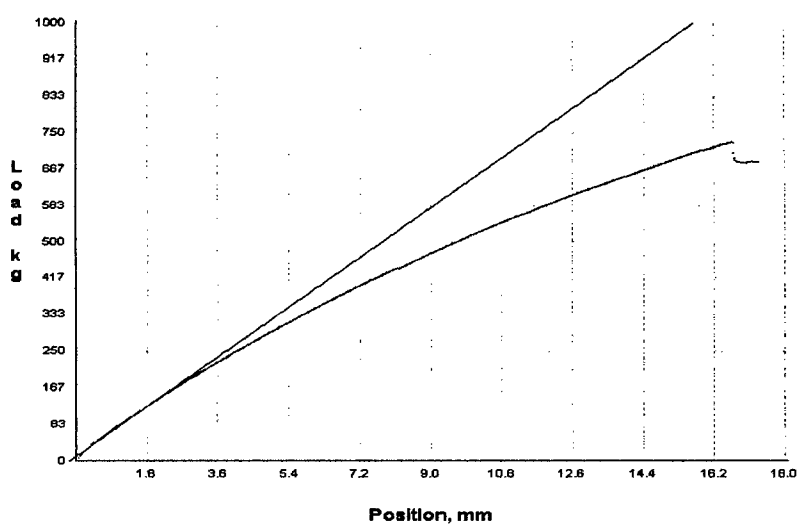
Anexo 03. Gráficos de evaluación

Figura 58. Gráficos de flexión en la probeta (B1BF1) obtenidos en el Test Navigator

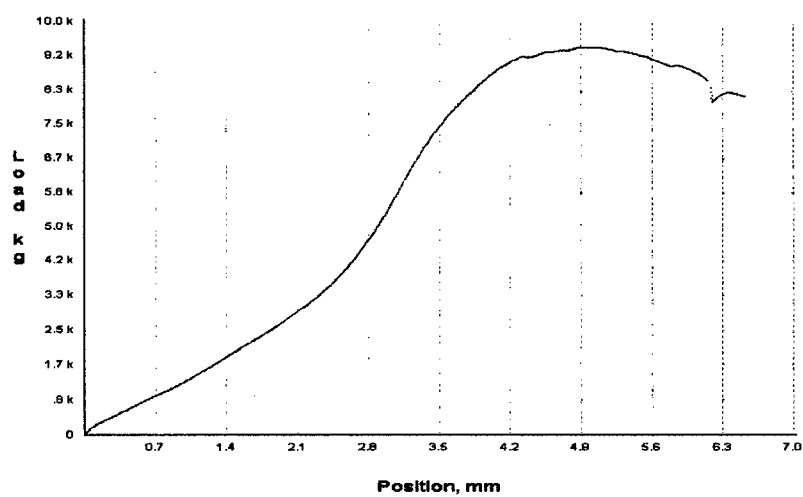


Figura 59. Gráficos de compresión paralela en la probeta (B1MCPa1) obtenidos en el Test Navigator

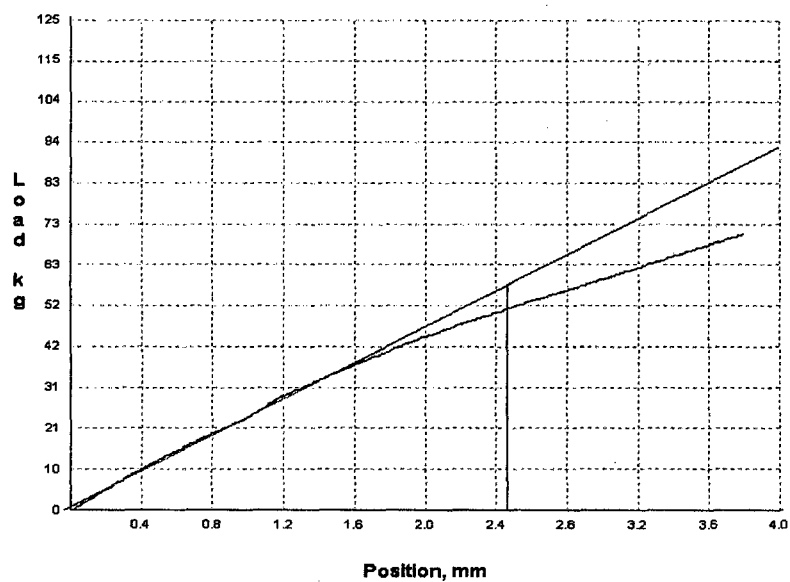


Figura 60. Gráficos de compresión perpendicular en la probeta (B1MCPe2) obtenidos en el Test Navigator

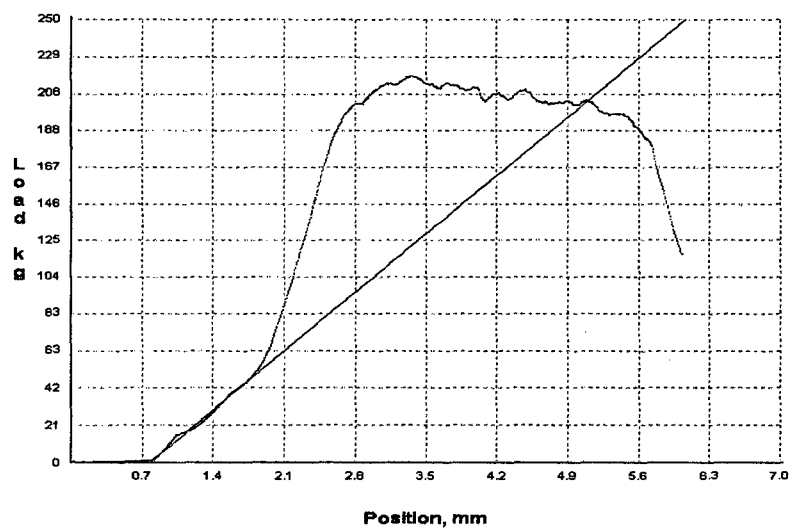


Figura 61. Gráficos del esfuerzo de rotura por cizallamiento en la probeta (B1ACz1) obtenidos en el Test Navigator