

**EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS PARA EL  
MANEJO EN LA CONSTRUCCIÓN DE LA GUADUA (ANGUSTIFOLIA KUNTH Y  
ANGUSTIFOLIA VARIEDAD BICOLOR) EN EL MUNICIPIO DE LA UNIÓN  
(NARIÑO)**

**DAMARIS BASTIDAS BELALCAZAR  
NATALY DALILA BOLAÑOS**

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL  
SAN JUAN DE PASTO  
2017**

**EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS PARA EL  
MANEJO EN LA CONSTRUCCIÓN DE LA GUADUA (ANGUSTIFOLIA KUNTH Y  
ANGUSTIFOLIA VARIEDAD BICOLOR) EN EL MUNICIPIO DE LA UNIÓN  
(NARIÑO)**

**DAMARIS BASTIDAS BELALCÁZAR  
NATALY DALILA BOLAÑOS**

**Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar el título de  
Ingeniera Civil**

**Director:  
Ing. ARMANDO MUÑOZ DAVID**

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL  
SAN JUAN DE PASTO  
2017**

## **NOTA DE RESPONSABILIDAD**

“Las ideas y conclusiones aportadas en el Trabajo de Grado son responsabilidad exclusiva del autor”.

Artículo 1ro del Acuerdo No. 324 de octubre 11 de 1966 emanado del Honorable Consejo Directivo de la Universidad de Nariño.

“La Universidad de Nariño no se hace responsable de las opiniones o resultados obtenidos en el presente trabajo y para su publicación priman las normas sobre el derecho del autor”.

Artículo 13° del Acuerdo No. 005 de enero 26 de 2010, emanado por el Honorable Consejo Académico de la Universidad de Nariño.

**Nota de aceptación:**

---

---

---

---

---

---

---

Director

---

Jurado

---

Jurado

**San Juan de Pasto, Marzo de 2017**

## RESUMEN

Esta investigación nace con el fin de conocer las propiedades físico-mecánicas de la guadua *angustifolia kunth* y *angustifolia* variedad bicolor provenientes de la Unión (Nariño), ya que este es un material estructural desperdiciado en la región nariñense; además se tiene poca e insuficiente información debido a que los estudios efectuados de sus características físico-mecánicas no son relevantes ni profundos. Esta investigación complementa a otras investigaciones sobre el mismo material en otras zonas del departamento de Nariño.

Se toman propiedades físico-mecánicas como: comprensión, corte paralelo a la fibra, tracción paralelo a la fibra, flexión control de humedad, densidad, contracción.

Los ensayos de: comprensión, corte paralelo a la fibra, tracción paralelo a la fibra, flexión control de humedad, densidad, contracción se realizaron en los laboratorios de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nariño; el ensayo de flexión se realizó en el municipio de Yacuanquer. Las probetas de guadua se fallaron teniendo en cuenta la Norma Técnica Colombiana NTC 5525 vigentes y siguiente los procedimientos y protocolos estipulados en ellas.

Con los resultados que se obtuvieron en el trabajo de investigación por medio de ensayos acerca de la guadua, se espera contribuir a la generalización y buen uso de la guadua como material estructural principal en construcciones en nuestra región, donde prevalece el cultivo en un ambiente de crecimiento y desarrollo natural.

## **ABSTRACT**

This research belongs from knowing the physical and mechanical properties of the *Guadua Angustifolia* Kunth and *Angustifolia* var. *bicolor* in La Union (Nariño) since this is a wasted structural material of use in our region; also it doesn't have enough information because the studies of their physical-mechanical characteristics are not relevant or intensive. Furthermore it complements previous research on the same material but in other parts of the department of Nariño.

The physical and mechanical properties that are evaluated are: Compression, parallel to the grain, parallel to the fiber, traction, bending, humidity control, density, contraction.

Tests: compression, parallel cut to the fiber, parallel traction to the fiber, moisture control, density, contraction were performed in the laboratories of the Faculty of the University of Nariño; the bending test was conducted in the town of Yaquanquer since the university did not have this equipment. The test tubes of bamboo were decided considering the valid Colombian technical standard (NTC 5525) and following the procedures and protocols set out in it.

With the results obtained in this research by testing the bamboo, it is expected to contribute to the spread and good use of bamboo as the main structural material in buildings in our region, where crop prevails in an atmosphere of Natural growth and development.

## SÍMBOLOS Y TÉRMINOS ABREVIADOS

A	área de la sección transversal.
D	diámetro externo.
$\delta$	deflexión o deformación (se lee delta).
E	módulo de elasticidad.
F	carga.
$I_B$	momento de inercia.
L	luz en el ensayo de flexión.
CH	contenido de humedad.
m	masa.
$\Pi$	se tomó como 3,14.
$\rho$	densidad.
$\sigma$	esfuerzo.
t	espesor de la pared.
$\tau$	esfuerzo de corte.
V	volumen de la probeta.
S	Superior
M	Medio
I	Inferior
	Subíndice.
ult.	Último.

## CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN .....	16
1. MARCO TEÓRICO.....	20
1.1 PROPIEDADES FÍSICAS .....	20
1.1.1 Contenido de humedad.....	20
1.1.2 Densidad.....	20
1.1.3 Contracción.....	22
1.2 PROPIEDADES MECÁNICAS .....	22
1.2.1 Compresión.....	22
1.2.2 Flexión.....	23
1.2.3 Corte paralelo a la fibra.....	24
1.2.4 Tracción paralela a la fibra.....	25
2. MARCO CONCEPTUAL .....	26
2.1 GUADUA.....	26
2.1.1 Guadua angustifolia kunth.....	26
2.1.2 Taxonomía de la guadua.....	26
2.1.3 Morfología de la guadua.....	26
2.1.4 Partes de una guadua cepa.....	27
2.1.5 Propiedades físicas.....	27
2.1.6 Propiedades mecánicas.....	27
2.1.7 Contenido de humedad.....	28
2.1.8 Densidad.....	28
2.1.9 Resistencia a la compresión.....	28
2.1.10 Resistencia a la tensión .....	29
2.1.11. Flexión.....	29
2.2 CARACTERÍSTICAS DE LOS DIFERENTES TIPOS DE GUADUA.....	29
2.2.1 Guadua angustifoli.....	30
2.2.2 Guadua angustifolia kunth.....	30
2.2.3. Guadua angustifolia variedad bicolor.....	30
3. DESARROLLO TRABAJO DE GRADO .....	31
3.1 ESFUERZOS ADMISIBLES SEGÚN LA NSR-10 TITULO G.12.7.....	<b>¡Error!</b>
<b>Marcador no definido.</b>	
3.2 MÉTODO DE PERCENTILES.....	34
3.3 MÉTODO DE CUARTILES .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
3.4 MATERIALES, EQUIPO Y PROCEDIMIENTOS.....	34
3.4.1 Materiales: fabricación de probetas y revisión de medida.....	34
3.4.2 Equipo para la realización de ensayos mecánico.....	34
3.4.3 Procedimientos.....	36
3.4.4 Compresión.....	36

3.4.5	Corte paralelo a las fibras. ....	37
3.4.6	Tracción paralela a las fibras. ....	37
3.4.7	Flexión.....	38
3.4.8	Contenido de humeda. ....	38
3.4.9	Densidad. ....	39
3.4.10	Contracción. ....	39
4.	ANÁLISIS DE DATOS.....	41
4.1	RESULTADOS DE ENSAYOS DE LABORATORIO (GUADUA ANGUSTIFOLIA KUNT).....	41
4.1.1	Compresi.....	41
4.1.2	Corte paralelo a las fibras .....	43
4.1.3	Tracción. ....	45
4.1.4	Flexión.....	47
4.1.5	Humedad.....	50
4.1.6	Densidad. ....	50
4.1.7	Contracción. ....	51
4.2	RESULTADOS DE ENSAYOS DE LABORATORIO (GUADUA ANGUSTIFOLIA VARIEDAD BICOLOR) .....	51
4.2.1	Compresión.....	51
4.2.2	Corte paralelo a las fibras. ....	53
4.2.3	Tracción. ....	55
4.2.4	Flexión (guadua angustifolia variedad bicolor). ....	57
4.2.5	Humedad.....	59
4.2.6	Densidad. ....	60
4.2.7	Contracción. ....	61
4.3	COMPARACION DE RESULTADOS DE ESFUERZOS ULTIMOS, HUMEDAD Y DENSIDAD DE LOS DIFERENTES MUNICIPIOS DE NARIÑO. ....	61
4.3.1	Ensayo de compresion. ....	61
4.3.2	Ensayo de corte paralelo a las fibras. ....	65
4.3.3	Ensayo de tracción.....	68
4.3.4	Ensayo de flexion.....	72
4.4	CALCULO ESFUERZOS ADMISIBLES.....	75
5.	CONCLUSIONES.....	77
6.	RECOMENDACIONES.....	78
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	79

## LISTA DE TABLAS

Pág.

Tabla 1.	Factores de reducción. ....	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 2.	Esfuerzos admisibles $F_i$ (MPa); $CH \geq 19\%$	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 3.	Datos promedios de las muestras para ensayo de compresión .....	41
Tabla 4.	Resultados finales, ensayo de compresión.....	42
Tabla 5.	Datos promedios de las muestras para ensayo de corte paralelo a las fibras.....	44
Tabla 6.	Resultados finales, ensayo de corte paralelo a la fibra.....	44
Tabla 7.	Datos promedios de las muestras para ensayo de tracción. ....	46
Tabla 8.	Resultados finales, ensayo de tracción.....	46
Tabla 9.	Datos promedios de las muestras para ensayo de flexión.....	48
Tabla 10.	Resultados final, ensayo de flexion.....	48
Tabla 11.	Resultados contenido de humedad.....	50
Tabla 12.	Resultados finales del contenido de densidad.....	50
Tabla 13.	Resultados finales del contenido de densidad.....	50
Tabla 14.	Resultados finales del contenido de densidad.....	51
Tabla 15.	Resultados finales del ensayo de contracción. ....	51
Tabla 16.	Datos promedios de las muestras para ensayo de Compresión.....	52
Tabla 17.	Resultados finales, ensayo de compresión.....	52
Tabla 18.	Datos promedios de las muestras para ensayo de corte paralelo a la fibra. ....	54
Tabla 19.	Resultados finales ensayo de corte paralelo a la fibra.....	54
Tabla 20.	Datos promedios de las muestras para ensayo de tracción. ....	56
Tabla 21.	Resultados finales, ensayo de tracción.....	56
Tabla 22.	Datos promedios de las muestras para ensayo de flexión.....	58
Tabla 23.	Resultados finales, ensayo de flexión.....	58
Tabla 24.	Resultados contenido de humedad.....	60
Tabla 25.	Resultados finales del contenido de densidad.....	60
Tabla 26.	Resultados finales del contenido de densidad.....	60
Tabla 27.	Resultados finales del contenido de densidad.....	61
Tabla 28.	Resultados del ensayo de contracción .....	61
Tabla 29.	Comparación resultados del esfuerzo último a compresión de diferentes municipios de Nariño.....	62
Tabla 30.	Resultados promedios de esfuerzo, humedad y densidad, de diferentes investigaciones de Nariño. ....	64
Tabla 31.	Comparación resultados del esfuerzo último a corte paralelo a las fibras de diferentes municipios de Nariño. ....	65

Tabla 32.	Resultados promedios de esfuerzo, humedad y densidad, de diferentes investigaciones de Nariño .....	67
Tabla 33.	Comparación resultados del esfuerzo último a tracción de diferentes municipios de Nariño.....	69
Tabla 34.	Resultados promedios de esfuerzo, humedad y densidad de diferentes investigaciones de Nariño. ....	71
Tabla 35.	Comparación resultados del esfuerzo último a flexión de diferentes municipios de Nariño.....	72
Tabla 36.	Resultados promedios de esfuerzo, humedad y densidad de diferentes investigaciones de Nariño. ....	74
Tabla 37.	Comparación de resultados de esfuerzos admisibles.....	76

## LISTA DE GRAFICAS

Pág.

Gráfica 1.	Diagrama de caja (Box-Plot).....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Gráfica 2.	Resultados de esfuerzo último, densidad y humedad, por sección de culmo para el ensayo de compresión .....	43
Gráfica 3.	Resultados de esfuerzo último, densidad y humedad, por sección de culmos para el ensayo de corte paralelo. ....	45
Gráfica 4.	Resultados del esfuerzo último, densidad y humedad, por sección de culmo para el ensayo de tracción. ....	47
Gráfica 5.	Resultados de esfuerzo último, densidad y humedad, por sección de culmo para el ensayo de flexión. ....	49
Gráfica 6.	Resultados de esfuerzo último, densidad y humedad, por sección de culmo para el ensayo de compresión. ....	53
Gráfica 7.	Resultados de esfuerzo último, densidad y humedad, por sección de culmo para el ensayo de corte paralelo a las fibras. ....	55
Gráfica 8.	Resultados de esfuerzo último, densidad y humedad, por sección de culmos para el ensayo de tracción. ....	57
Gráfica 9.	Resultados del esfuerzo último, densidad y humedad, por sección de culmo para el ensayo de flexión. ....	59
Gráfica 10.	Comparación resultados esfuerzo último sometida a compresión de diferentes municipios. ....	63
Gráfica 11.	Comparación de resultados promedios de esfuerzo, humedad y densidad, de diferentes investigaciones de Nariño.....	65
Gráfica 12.	Comparación resultados ensayo corte paralelo a las fibras de diferentes municipios. ....	66
Gráfica 13.	Comparación de resultados de promedios de esfuerzo, humedad y densidad de diferentes investigaciones de Nariño. ....	68
Gráfica 14.	Comparación resultados ensayo de tracción de diferentes municipios.....	70
Gráfica 15.	Comparación de resultados promedios de esfuerzo, humedad y densidad, de diferentes investigaciones de Nariño.....	72
Gráfica 16.	Comparación resultados ensayo de flexión de diferentes municipios.....	73
Gráfica 17.	Comparación de resultados promedios de Esfuerzo, Humedad y densidad, de diferentes investigaciones de Nariño.....	75
Gráfica 18.	Comparación de resultados de Esfuerzos Admisibles .....	76

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
Figura 1. Diagramas esquemáticos de esfuerzo y deformación para materiales dúctiles y no dúctiles, ensayados a compresión hasta la ruptura.....	28
Figura 2. Diagramas esquemáticos de esfuerzo y deformación para materiales dúctiles y no dúctiles ensayados a tensión hasta la ruptura.....	29
Figura 3. Ejemplo de flexión mecánica .....	29

## LISTA DE FOTOGRAFÍAS

Pág.

Fotografía 1.	Máquina universal utilizada para realizar los ensayos de compresión, corte y tracción.....	35
Fotografía 2.	Máquina utilizada para realizar el ensayo de flexión. ....	36
Fotografía 3.	Medidor de carga para realizar el ensayo de flexión. ....	36
Fotografía 4.	Horno.....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Fotografía 5.	Calibrador.....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Fotografía 6.	Balanza electrónica .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Fotografía 7.	Flexometro. ....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Fotografía 8.	Sierra circular. ....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Fotografía 9.	Montaje para ensayo de compresión.....	37
Fotografía 10.	Probetas para ensayo de compresión.....	37
Fotografía 11.	Montaje para ensayo de corte paralelo a las fibras. ....	37
Fotografía 12.	Probeta fallada. ....	37
Fotografía 13.	Montaje de ensayo de tracción.....	38
Fotografía 14.	Probetas para ensayo de tracción.....	38
Fotografía 15.	Montaje Ensayo de Flexión. ....	38

## LISTA DE ANEXOS

Pág.

Anexo N° 1.	Ubicación geográfica municipio de la unión	¡Error! Marcador no definido.
Anexo N° 2.	Resultados detallados de compresión, guadua angustifolia kunt.....	¡Error! Marcador no definido.
Anexo N° 3.	Resultados de corte paralelo a las fibras, guadua angustifolia kunt.....	¡Error! Marcador no definido.
Anexo N° 4.	Resultados detallados ensayo de tracción, guadua Angustifolia kunt.....	¡Error! Marcador no definido.
Anexo N° 5.	Resultados detallados ensayo de flexión, guadua angustifolia kunt.....	¡Error! Marcador no definido.
Anexo N° 6.	Ensayo de contenido de humedad	¡Error! Marcador no definido.
Anexo N° 7.	Datos iniciales ensayo de contracción, guadua angustifolia kunt.....	¡Error! Marcador no definido.
Anexo N° 8.	Resultados ensayo de compresión guadua angustifolia bicolor	¡Error! Marcador no definido.
Anexo N° 9.	Resultados corte paralelo a las fibras, guadua angustifolia bicolor. ....	¡Error! Marcador no definido.
Anexo N° 10.	Resultados Tracción, guadua angustifolia variedad bicolor.	¡Error! Marcador no definido.
Anexo N° 11.	Resultados Flexión, guadua angustifolia variedad bicolor.	¡Error! Marcador no definido.
Anexo N° 12.	Datos iniciales de contracción, guadua angustifolia bicolor.	¡Error! Marcador no definido.
Anexo N° 13.	Ensayo contenido de humedad .....	¡Error! Marcador no definido.
Anexo N° 14.	Análisis estadístico .....	¡Error! Marcador no definido.
Anexo N° 15.	Esfuerzos admisibles.....	¡Error! Marcador no definido.
Anexo N° 16.	Certificado de calibración .....	¡Error! Marcador no definido.

## INTRODUCCIÓN

La guadua es una especie forestal constituida por esbeltos y modulados tallos que enaltecen el paisaje de los valles interandinos, es larga, recta, uniforme en su desarrollo, liviana, hueca, resistente, suave, de rápido crecimiento, de bello color e imperceptiblemente cónica. En principio fueron los colonizadores quienes empezaron a utilizar la guadua como material de construcción y luego nuestros campesinos y maestros de la construcción se encargaron de darle la importancia que merecida debido a sus propiedades y beneficios al momento de construir. Su valor depende de la aplicabilidad y del espacio físico donde la misma se utilice, así como su origen y sueldos donde de proveniencia.

En Colombia existen tres clases de guadua de las cuales, y para efectos de éste proyecto, se estudiaron dos: la guadua *Angustifolia* Kunth y la *Angustifolia* Variedad Bicolor. Si bien el uso de la guadua como material de construcción ha sido común gracias a las propiedades físico - mecánicas que presentan debido a la especie y exposición de ésta a factores medioambientales, es precisamente éste factor tan cambiante de la guadua lo que hace que la información obtenida de estudios anteriores no sea lo suficientemente específica o profunda en cuanto a humedad, volumen, resistencia, etc.

Consecuentemente, se espera de esta investigación dar a conocer las propiedades físico – mecánicas de dos especies de guadua del municipio de la Unión (Nariño), conocidas con los nombres de *Angustifolia* Kunth y *Angustifolia* Variedad Bicolor; los ensayos se realizaron sobre segmentos o probetas de guadua, provenientes de culmos que se recolectaron en el municipio de La Unión (Nariño); siguiendo los protocolos establecidos en la Norma Técnica Colombiana (NTC 5525), los cuales se indican y se detallan en el cuerpo de este informe.

Se comparó por medio de tablas los resultados obtenidos en laboratorio, con la norma sismo resistente G-12 (Estructuras en guadua) NSR – 10, y con otros resultados obtenidos en otras investigaciones ya dadas en los municipios de La Florida, Chachagui y Buesaco.

### TÍTULO

EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS PARA EL MANEJO EN LA CONSTRUCCIÓN DE LA GUADUA (*ANGUSTIFOLIA* KUNTH Y *ANGUSTIFOLIA* VARIEDAD BICOLOR) EN EL MUNICIPIO DE LA UNIÓN (NARIÑO)

## PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La creación de diferentes lugares para el desarrollo social del hombre ha sido un problema que ha evolucionado con la historia de este, las estructuras, construcciones, carreteras, edificios entre otros han provocado que se busquen entre los mismo medios naturales los recursos para poder crearlos y fortalecerlos como piedras, barro, maderas, guaduas y cualquier material que pueda servir de soporte para las construcciones<sup>1</sup>.

La guadua ha sido un elemento importante dentro de la construcción de las diferentes ciudades a lo largo del mundo, una de las más importantes Colombia, en la que el reconocimiento de la fuerza que tiene esta ha sido una de las características más importantes para su uso. De acuerdo con esto, es necesario identificar que la fuerza que esta tiene se debe a sus componentes físico-mecánicos, que están determinados por diferentes factores ambientales de acuerdo a la variedad de la especie que se estudie o que se utilice. Uno de ellos es la porosidad y su material anisotrópico de la que está revestida.

El desconocimiento de las propiedades físico-mecánicas de la guadua ha conllevado a que no se tenga presente la ventaja que puede llegar a tener cuando se identifican valores de humedad y de volumen en esta especie, de acuerdo con esto, y analizando diferentes tipos de valores que se han estudiado a lo largo de los territorios de Colombia, se encuentra que no se puede concretar un valor exacto para cada nivel y propiedad de la guadua, ya que estas cambian de acuerdo con el sitio en donde se encuentren<sup>2</sup>. De acuerdo con esto se busca identificar cuál es el nivel de resistencia mecánica de las especies de guadua *Angustifolia Kunth* y *Angustifolia Variedad Bicolor*, ya que se presentan casos en donde se obtiene que la guadua pierde el mismo nivel de resistencia y rigidez por la humedad como la madera<sup>3</sup>. Por lo que es necesario analizar si son aptas o no para la construcción, información que es necesaria para que los ingenieros, arquitectos y diferentes tipos de constructores puedan ubicar y utilizar de la mejor manera esta especie, estableciendo parámetros de diseños que permitan hacer

---

<sup>1</sup> GONZÁLEZ, Ávila Juan Carlos. Determinación de la Resistencia a Compresión Paralela a la Fibra de la Guadua (*Angustifolia Kunth*) en Función del Contenido de Humedad, 2012, p, 15. Disponible en:

[http://www.usmp.edu.pe/centro\\_bambu\\_peru/pdf/DETERMINACION\\_RESISTENCIA\\_COMPRESION\\_PARALELA\\_FIBRA\\_GUADUA\\_ANGUSTIFOLIA\\_KUNTH.pdf](http://www.usmp.edu.pe/centro_bambu_peru/pdf/DETERMINACION_RESISTENCIA_COMPRESION_PARALELA_FIBRA_GUADUA_ANGUSTIFOLIA_KUNTH.pdf)

<sup>2</sup> CIRO Velásquez, Héctor José; OSORIO Saraz, Jairo Alexander y VÉLEZ Restrepo, Juan Manuel. DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA MECÁNICA A TENSIÓN Y CIZALLADURA DE LA Guadua *angustifolia KUNTH*. 2005, p, 2710. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/rfnam/v58n1/a10v58n1.pdf>

<sup>3</sup> GONZÁLEZ Ávila, Juan Carlos; LEGUIZAMÓN, Rendón Yesenia. Determinación de la Resistencia a Compresión Paralela a la Fibra de la Guadua (*Angustifolia Kunth*) en Función del contenido de Humedad. [http://www.usmp.edu.pe/centro\\_bambu\\_peru/pdf/DETERMINACION\\_RESISTENCIA\\_COMPRESION\\_PARALELA\\_FIBRA\\_GUADUA\\_ANGUSTIFOLIA\\_KUNTH.pdf](http://www.usmp.edu.pe/centro_bambu_peru/pdf/DETERMINACION_RESISTENCIA_COMPRESION_PARALELA_FIBRA_GUADUA_ANGUSTIFOLIA_KUNTH.pdf)

un uso eficiente de aquella especie. Es por eso que esta situación nos conlleva a realizar una investigación con el fin de conocer las propiedades físico-mecánicas de esta especie, encontrada en el corregimiento del sauce municipio de la Unión Nariño.

## **FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

¿Cuál es el resultado de la evaluación de las propiedades físico-mecánicas de la guadua *ANGUSTIFOLIA KUNTH* Y *ANGUSTIFOLIA VARIEDAD BICOLOR* en el municipio de la Unión Nariño?

## **JUSTIFICACIÓN**

La mayor producción de guadua, se encuentra en países como el Japón, Puerto Rico y Brasil entre otros, los cuales han elaborado estudios acerca del cultivo, las propiedades, el desarrollo y el uso del bambú, así como su aplicación en diferentes áreas; sin embargo, estos aportes solo tienen un alcance local, debido a que las propiedades tanto físicas como mecánicas, dependen directamente de las características medioambientales *in situ*<sup>4</sup>.

En el departamento de Nariño, la guadua es un cultivo que está presente mayormente en zonas cafeteras, en las que su potencia como elemento constructivo no ha sido aprovechada en su totalidad. De acuerdo con esto, se pretende evaluar las propiedades físico-mecánicas que son determinadas por la región, con el propósito de aportar a los estudios tecnológicos que ayudarán a la mejora en los procesos constructivos en el departamento. Los estudios buscan obtener características de flexibilidad y resistencia que permitan el buen uso en sistemas estructurales sismo-resistentes, haciendo que no se conciba solamente como material secundario o de construcciones precarias.

Fue necesario realizar este tipo de investigación técnica ya que este es un material estructural de poca utilización dentro de la región, quizás la poca información que se tiene de esta especie se lo que cause que su utilización sea vana. Referente a lo anterior, se tiene que no solo es poca la información dentro de la población sino también en las consignas científicas y literarias acerca del tema, quizás por la variedad de espacios en donde esta se desarrolla, lo que hace que no se pueda identificar un valor exacto en sus variaciones físicas, lo que hace que sus estudios no sean profundos, aunque sí relevantes.

---

<sup>4</sup> PANTOJA Trujillo, Nelson Hernando; ACUÑA Jiménez, Diego Fernando. Resistencia al Corte Paralelo A la Fibra de la Guadua *Angustifolia*. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ingeniería. Departamento de Ingeniería Civil y agrícola unidad de estructuras Bogotá D.C. 2005, p, 15. Disponible en: [http://www.usmp.edu.pe/centro\\_bambu\\_peru/pdf/Resistencia\\_corte\\_paralelo\\_fibra.pdf](http://www.usmp.edu.pe/centro_bambu_peru/pdf/Resistencia_corte_paralelo_fibra.pdf)

Con los resultados de las propiedades mecánicas se espera contribuir a la generalización y buen uso de la guadua como material estructural principal en construcciones en la región, donde prevalece el cultivo en un ambiente de crecimiento y desarrollo natural. La investigación de esta especie de guadua (*Angustifolia Kunth* y *Angustifolia Variedad Bicolor*), se realizó con las especies que nacen en el Municipio de la Unión Nariño; ya que climatológicamente, las condiciones del terreno y situaciones medio ambientales son favorables, para el crecimiento y normal desarrollo de esta especie, en donde el terreno es favorable y apto para el cultivo de la misma.

## **OBJETIVOS**

**Objetivo general.** Establecer mediante estudios investigativos y técnicos, el uso de la guadua, (*Angustifolia Kunth* y *Angustifolia Variedad Bicolor*) como material resistente en la construcción; en un medio atmosférico que prevalece en la región del Municipio de La Unión ubicado en zona norte del Departamento de Nariño.

### **Objetivos específicos:**

- Realizar los ensayos de laboratorio en base a normas técnicas como la NTC 5525: MÉTODOS DE ENSAYO PARA DETERMINAR LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA GUADUA ANGUSTIFOLIA KUNTH Y ANGUSTIFOLIA VARIEDAD BICOLOR; sobre segmentos de guadua provenientes de rodales del corregimiento del sauce ubicado en el municipio de La Unión Nariño.
- Obtener resultados de valores que permitan evaluar contenidos de humedad, densidad y contracción de la guadua, para los ensayos físicos y mecánicos.
- Obtener resultados de valores que permitan evaluar resistencias a esfuerzos de compresión, esfuerzos de flexión, corte paralelo a la fibra, tracción paralela a la fibra.
- Calcular los diferentes esfuerzos admisibles para comparar los resultados obtenidos en laboratorio y según lo estipulado en la NORMA SISMO-RESISTENTE 2010 capítulo (G.12.7.3).

## 1. MARCO TEÓRICO

La determinación de las propiedades físico-mecánicas de la guadua angustifolia está basada en la Norma Técnica Colombiana 5525 tal como se expresa a continuación,

### 1.1 PROPIEDADES FÍSICAS

**1.1.1 Contenido de humedad.** El término contenido de humedad (C.H) se define como: la cantidad de agua que una pieza de madera contiene, expresada como porcentaje del peso o seco al horno de la pieza de madera.

**Objeto y campo de aplicación:** esta sección de la norma NTC 5525 especifica un método para determinar el contenido de humedad de la guadua angustifolia para los ensayos físicos y mecánicos.

**Principio:** determinación, mediante el pesaje, de la pérdida de masa de la probeta de ensayo durante el secado hasta una masa constante. Cálculo de la pérdida de masa como un porcentaje de la masa de la probeta de ensayo después del secado<sup>5</sup>.

El contenido de humedad (CH) de cada probeta se calculó como la pérdida de masa, expresada como porcentaje de la masa seca en horno, usando la siguiente fórmula:

$$CH = \frac{m - m_0}{m} * 100 \quad \text{Ec [1]}$$

En donde:

**m:** es la masa de la probeta antes del secado.

**m<sub>0</sub>:** es la masa de la probeta después del secado.

**1.1.2 Densidad.** Es una magnitud escalar referida a la cantidad de masa en un determinado volumen de una sustancia. Usualmente se simboliza mediante la letra rho  $\rho$  del alfabeto griego. La densidad media es la razón entre la masa de un cuerpo y el volumen que ocupa.

---

<sup>5</sup> Norma Técnica Colombiana NTC 5525, Ibidem, p.

**Objeto y campo de aplicación:** esta sección de la norma NTC 5525 especifica un método para determinar la densidad (masa/volumen) de la guadua para los ensayos físicos y mecánicos. Para la comparación exacta entre los valores reportados, la fórmula masa/volumen es la más apropiada en donde se usa la masa anhidra y el volumen húmedo (verde) los cuales no varían con respecto a las condiciones climáticas. El símbolo es  $\rho$ , si la densidad se va a registrar con el contenido de humedad de la probeta, la masa se toma como la masa anhidra y solo se toma el volumen con el contenido de humedad de la probeta.

**Principio:** determinación de la masa de la probeta mediante pesaje y de su volumen mediante la medición de sus dimensiones o con cualquier otro método. Cálculo de la masa por unidad de volumen de guadua<sup>6</sup>.

Para el cálculo del volumen de la probeta se obtuvo con la siguiente fórmula:

$$V = \pi * r^2 * h \quad \text{Ec [2]}$$

En donde

**V:** es el volumen de la muestra, en cm<sup>3</sup>

**r :** es el radio de la muestra, en cm

**h:** es la altura de la muestra, en cm

La densidad (masa, seca en horno, por unidad de volumen) de cada probeta se obtuvo con la siguiente fórmula:

$$\rho = \frac{m_0}{v} \quad \text{Ec [3]}$$

En donde:

**$\rho$ :** es la densidad, en kg/m<sup>3</sup>.

**$m_0$ :** es la masa de la probeta después del secado.

**V:** es el volumen húmedo (verde) de la probeta.

Se calculó con una exactitud de 10 kg/m<sup>3</sup>, la media aritmética de los resultados obtenidos para las probetas individuales y se registra este valor como el promedio de la densidad de las probetas ensayadas.

Para el cálculo del volumen de la probeta se utilizó la fórmula:

$$V_{cilindro} = \pi * R^2 * H \quad \text{Ec [4]}$$

---

<sup>6</sup> Norma Técnica Colombiana NTC 5525. Métodos de ensayo para determinar las propiedades físicas y mecánicas de la guadua *Angustifolia Kunth*, p 8

En donde:

**R:** radio de la probeta.

**H:** altura de la probeta.

El volumen total (**Vt**) es igual a la diferencia de los volúmenes obtenidos con los dos radios.

**1.1.3 Contracción.** La contracción del material es estudio desde su estado inicial húmedo hasta la condición final seca, expresada siempre en porcentaje.

**Objeto y campo de aplicación:** esta sección de la norma NTC 5525 especifica un método para determinar la contracción de culmos completos de guadua.

**Principio:** determinación de la contracción de un entrenudo (sin incluir los nudos), midiendo el diámetro externo, el espesor de la pared y la altura, antes y después del secado<sup>7</sup>.

Se calculó con la siguiente fórmula:

$$\text{Contracción} = ((I - F) / I) * 100 \quad \text{Ec [5]}$$

En donde:

**I:** lectura inicial.

**F:** lectura final.

Cada lectura es el valor promedio del diámetro, el espesor de la pared o la longitud, con una exactitud de 0,1 mm para el espesor de pared y 1 mm para la altura y el diámetro externo de la probeta.

## 1.2 PROPIEDADES MECÁNICAS

**1.2.1 Compresión.** La compresión axial es la acción mecánica que acorta o comprime un elemento, comprende la aplicación de una carga que actúa sobre un cuerpo rígido, de tal forma que la probeta se comprime hasta llegar a la falla.

**Objeto y campo de aplicación:** esta sección de la norma NTC 5525 especifica un método para los ensayos de compresión en probetas de culmos de guadua.

---

<sup>7</sup> Norma Técnica Colombiana NTC 5525. Métodos de ensayo para determinar las propiedades físicas y mecánicas de la guadua *Angustifolia Kunth*, p 9.

**Principio:** determinación del esfuerzo último de compresión de las probetas provenientes de los culmos de guadua<sup>8</sup>.

El esfuerzo último de compresión axial se calculó así:

$$\sigma_{ult.} = \frac{f_{ult}}{A} \quad \text{Ec [6]}$$

En donde:

**$\sigma_{ult}$ :** esfuerzo último de compresión, en MPa o (N/mm), redondeado con aproximación de 0,5 MPa.

**Fult:** carga máxima a la cual falla la probeta, en N.

**A:** área de la sección transversal:

$$A = \left(\frac{\pi}{4}\right) [D^2 - (D - 2t)^2] \quad \text{Ec [7]}$$

En donde D y t son valores promedios de las mediciones en la probeta del diámetro externo y espesor de la pared respectivamente.

**1.2.2 Flexión.** El ensayo de flexión es una acción mecánica que consiste en aplicar una carga a una muestra determinada la cual produce una deformación para cada incremento de carga hasta que el elemento falle.

**Objeto y campo de aplicación:** esta sección de la norma NTC 5525 especifica un método para los ensayos de flexión de guadua.

Según la norma, para lograr una falla en flexión es necesario un espacio libre al menos 30xD, donde D es el diámetro externo de la guadua.

**Principio:** determinación de la capacidad de flexión de los culmos usando un ensayo de flexión de cuatro puntos<sup>9</sup>.

Para su debido procedimiento se determinara el valor medio del diámetro externo D y del espesor de la pared t, y se calculara el momento de inercia según la fórmula:

Momento de inercia:

$$I_B = \left(\frac{\pi}{64}\right) * [D^4 - (D - 2t)^4] \quad \text{Ec [8]}$$

---

<sup>8</sup> Norma Técnica Colombiana NTC 5525. Métodos de ensayo para determinar las propiedades físicas y mecánicas de la guadua *Angustifolia* Kunth, p 11.

<sup>9</sup> Norma Técnica Colombiana NTC 5525. Métodos de ensayo para determinar las propiedades físicas y mecánicas de la guadua *Angustifolia* Kunth, p 13.

La resistencia última ( $\sigma_{ult}$ ) en Mpa se determina con la siguiente fórmula:

$$\sigma_{ult} = F * L * \frac{D/2}{6} / IB \quad \text{Ec [9]}$$

En donde:

**F:** es la carga máxima aplicada, en N.

**L:** es la luz, en mm.

**D:** es el diámetro externo.

**IB:** es el momento de inercia, en mm<sup>4</sup>.

**t:** espesor de la pared.

Módulo de elasticidad E, en MPa:

$$E = \frac{23 * F * L^3}{1296 * \delta * IB} \quad \text{Ec [10]}$$

En donde:

$\delta$ : es la deflexión en el punto medio de la luz en mm.

**1.2.3 Corte paralelo a la fibra.** El corte es un fenómeno de compresión y cizallamiento, y se produce sólo cuando la tensión total generada por el corte aplicado excede la resistencia a la rotura del material del objeto a cortar.

**Objeto y campo de aplicación:** esta sección de la norma NTC 5525 especifica un método para los ensayos de corte paralelo a las fibras en probetas de culmo de guadua angustifolia.

**Principio:** determinación de la resistencia última al esfuerzo cortante, paralelo a las fibras, en probetas provenientes de culmos de guadua angustifolia y angustifolia variedad bicolor<sup>10</sup>.

La carga se debe aplicar continuamente durante la prueba para lograr que el cabezal móvil de la máquina de ensayo se desplace a una velocidad constante de 0.01mm/s.

Es importante tener en cuenta que el material, a pesar de que pudo fallar por corte paralelo a la fibra, podría estar sometido al mismo tiempo a compresión, dando como resultado un valor erróneo de resistencia al corte debido a que no siempre se garantiza la verticalidad de la fibra.

---

<sup>10</sup> Norma Técnica Colombiana NTC 5525. Métodos de ensayo para determinar las propiedades físicas y mecánicas de la guadua Angustifolia Kunth, p 16.

Por lo cual se debe prever que los dispositivos de carga estén correctamente colocados y con las dimensiones especificadas<sup>11</sup>. Para la resistencia última de corte se calculó con la siguiente formula:

$$\tau_{ult.} = \frac{F_{ult}}{\Sigma(t*L)} \quad Ec [11]$$

En donde:

$\tau_{ult.}$ : es la resistencia última al corte, en MPa, con aproximación, por exceso o por defecto, a una cifra decimal.

**F<sub>ult</sub>**: es el valor máximo de la carga aplicada en la cual falla la probeta, expresada en N.

**$\Sigma(t*L)$** : es la suma de los cuatro productos de t y L.

**1.2.4 Tracción paralela a la fibra.** La tracción es el esfuerzo interno a que está sometido un cuerpo por la aplicación de dos fuerzas que actúan en sentido opuesto, y tienden a estirarlo. Lógicamente, se considera que las tensiones que tiene cualquier sección perpendicular a dichas fuerzas son normales a esa sección, y poseen sentidos opuestos a las fuerzas que intentan alargar el cuerpo.

**Objeto y campo de aplicación:** esta sección de la norma NTC 5525 especifica un método para los ensayos de tracción paralela a las fibras en una sección longitudinal tomada de culmos de guadua.

**Principio:** determinación de la resistencia última a la tracción, paralela a las fibras, aplicando una carga gradualmente creciente sobre la probeta<sup>12</sup>.

Resistencia máxima de tensión:

$$\sigma_{ult.} = \frac{f_{ult}}{A} \quad Ec [12]$$

En donde:

**$\sigma_{ult.}$** : esfuerzo último de tensión, en MPa o (N/mm), redondeado con aproximación de 1 MPa entero.

**F<sub>ult</sub>**: carga máxima a la cual falla la probeta, en KN.

**A**: área media de la sección transversal:

$$A = b * t \quad Ec [13]$$

---

<sup>11</sup> Pantoja Trujillo y Acuña Jiménez. Op. cit., p 60

<sup>12</sup> Norma Técnica Colombiana NTC 5525. Métodos de ensayo para determinar las propiedades físicas y mecánicas de la guadua *Angustifolia Kunth*, p 18.

## 2. MARCO CONCEPTUAL

### 2.1 GUADUA

Según el investigador McClure, entre los bambúes nativos del hemisferio occidental, la *Guadua angustifolia*, es la más sobresaliente en altura, propiedades mecánicas (resistencia y trabajabilidad), durabilidad de sus tallos e importancia que ha dado a la economía local de los lugares en donde se desarrolla<sup>13</sup>.

**2.1.1 *Guadua angustifolia* kunth.** “La guadua es una gramínea nativa, de amplia distribución en América, donde ha cumplido un importante papel ambiental, sociocultural y económico. En Colombia se le encuentra ampliamente dispersa, conformando rodales (guadales) casi puros”<sup>14</sup>.

“La guadua pertenece a la familia de las gramíneas, subfamilia Bambusoideas, supertribu Bambusodae. Se han clasificado más de 40 géneros con cerca de 450 especies. En Colombia se destaca por su abundancia el género “guadua” y la especie “angustifolia”<sup>15</sup>.

**2.1.2 Taxonomía de la guadua.** Según (Giraldo & Sabogal, 1999) en Colombia existen cuatro especies del Género guadua:

Angustifolia: que se encuentra distribuida en gran parte de la región central Andina. Amplexifolia: que se localiza en los llanos orientales, parte norte de la Orinoquía y la costa Atlántica. Superba y weberbaueri: Ubicadas en la Amazonía y corredor chocoano del Pacífico. Una variedad, llamada *guadua angustifolia* variedad bicolor; presenta cinco formas o biotipos denominados vulgarmente: cebolla, macana, rayada negra, cotuda y castilla<sup>16</sup>.

**2.1.3 Morfología de la guadua.** La estructura de la *Guadua* está basada en un sistema de ejes vegetativos segmentados, los cuales forman alternamente nudos y entrenudos, que varían en su morfología dependiendo del lugar de la planta al cual correspondan, es decir el rizoma, el tallo o las ramas. En cuanto a lo que

---

<sup>13</sup> PANTOJA T. Nelson, ACUÑA J. Diego. Resistencia al Corte Paralelo a las Fibras de la *Guadua Angustifolia*

<sup>14</sup> Castrillon & Malaver, 2004, pág. 35.

<sup>15</sup> Castrillon & Malaver, 2004, pág. 35.

corresponde al tallo y su estructura también varía dependiendo de la especie, variedad y/o biotipo a la cual pertenezca, así mismo como en alturas, diámetros, y forma de los nudos facilitándose así su clasificación.

**2.1.4 Partes de una guadua. CEPA.** “es la sección basal del culmo con mayor diámetro. La distancia de sus entrenudos es corta lo cual le proporciona una mayor resistencia. Su longitud es de 3.0 metros aproximadamente. Se utiliza para columnas en construcción, cercos y entibados”<sup>17</sup>.

Basa: “parte de la guadua que posee mayores usos, debido a que su diámetro es intermedio y la distancia entre nudos es mayor que en la cepa. Tiene una longitud aproximada de 8.0 metros Si el tallo es de buen diámetro se utilizan también para columnas”<sup>18</sup>.

Sobrebasa: “el diámetro es menor y la distancia entre nudos es un poco mayor comparada con la basa. Es un tramo de guadua con buen comercio, debido a que su diámetro permite buenos usos. La longitud es de aproximadamente 4.0 metros”<sup>19</sup>.

Copa: “es la parte apical de la guadua, con una longitud entre 1.20 a 2.0 metros. Se pica en el suelo del guadual como aporte de materia orgánica”<sup>20</sup>.

**2.1.5 Propiedades físicas.** “son aquellas que logran cambiar la materia sin alterar su composición. Por ejemplo, cuando moldeas un trozo de plastilina, sus átomos no se ven alterados de ninguna manera, pero exteriormente cambia su forma”<sup>21</sup>.

Según (Kalpakjian & Schmid, 2002) “las propiedades de interés particular son la densidad, el punto de fusión, el calor específico, la conductividad y dilatación térmica, las propiedades eléctricas y magnéticas, y la resistencia a la oxidación y a la corrosión”.

**2.1.6 Propiedades mecánicas.** Las propiedades mecánicas pueden definirse como aquellas que tienen que ver con el comportamiento de un material bajo fuerzas aplicadas. Las propiedades mecánicas se expresan en términos de cantidades que son funciones del esfuerzo o de la deformación o ambas simultáneamente.

---

<sup>17</sup> Londoño, 2002.

<sup>18</sup> Londoño, 2002.

<sup>19</sup> Londoño, 2002.

<sup>20</sup> Londoño, 2002.

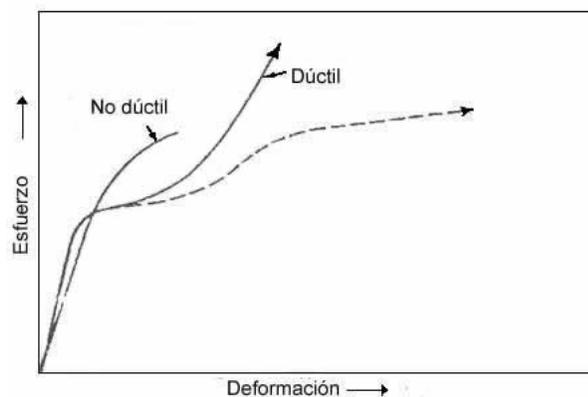
<sup>21</sup> WIKISPACES, s.f.

Las propiedades mecánicas fundamentales son la resistencia, la rigidez, la elasticidad, la plasticidad y la capacidad energética. La resistencia de un material se mide por el esfuerzo según el cual desarrolla alguna condición limitativa específica. Las principales condiciones limitativas o criterios de falla son la terminación de la acción elástica y la ruptura. La dureza, usualmente indicada por la resistencia a la penetración o la abrasión en la superficie de un material, puede considerarse como un tipo o una medida particular de la resistencia.

**2.1.7 Contenido de humedad.** “El término contenido de humedad (C.H) se define como la" cantidad de agua que una pieza de madera contiene, expresada como porcentaje del peso anhidro o seco al horno de la pieza de madera”<sup>22</sup> .

**2.1.8 Densidad.** “Es una magnitud escalar referida a la cantidad de masa en un determinado volumen de una sustancia. Usualmente se simboliza mediante la letra rho  $\rho$  del alfabeto griego. La densidad media es la razón entre la masa de un cuerpo y el volumen que ocupa”<sup>23</sup> .

**2.1.9 Resistencia a la compresión.** “Es el máximo esfuerzo de compresión que un material es capaz de desarrollar. Con un material quebradizo que falla en compresión por ruptura, la resistencia a la compresión posee un valor definido”<sup>24</sup> . (Ver figura 1).



**Figura 1. Diagramas esquemáticos de esfuerzo y deformación para materiales dúctiles y no dúctiles, ensayados a compresión hasta la ruptura.**

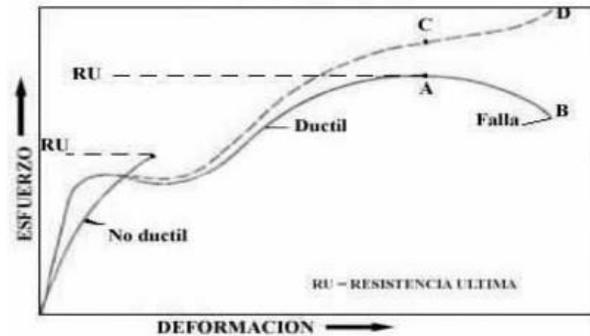
---

<sup>22</sup> WIKISPACES, s.f.

<sup>23</sup> WIKISPACES, s.f.

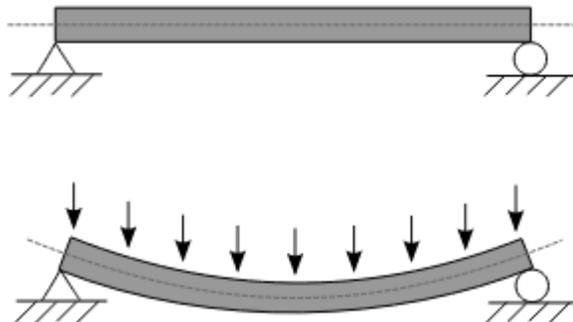
<sup>24</sup> Universidad Nacional de Colombia, s.f.) 21

**2.1.10 Resistencia a la tensión.** La describe como: “el máximo esfuerzo de tensión que un material es capaz de desarrollar”. (Ver figura 2).



**Figura 2. Diagramas esquemáticos de esfuerzo y deformación para materiales dúctiles y no dúctiles ensayados a tensión hasta la ruptura.**

**2.1.11. Flexión.** “tipo de deformación que presenta un elemento estructural alargado en una dirección perpendicular a su eje longitudinal. El término "alargado" se aplica cuando una dimensión es dominante frente a las otras”<sup>25</sup>. (Ver figura 3).



**Figura 3. Ejemplo de flexión mecánica**

## 2.2 CARACTERÍSTICAS DE LOS DIFERENTES TIPOS DE GUADUA

En Colombia existen tres especies del género guadua:

- **Angustifolia:** se encuentra distribuida en gran parte de la región central Andina.
- **Amplexifolia:** se localiza en los llanos orientales, parte norte de la Orinoquía y la costa Atlántica.

<sup>25</sup> Ortiz Berrocal, 1991, pág. 262, <https://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:Bending.svg>

- **Superba y weberbaueri:** ubicadas en la Amazonía y corredor chocono del Pacífico.

**2.2.1 Guadua angustifoli.** Sobresalen dentro del género por sus propiedades físico – mecánicas y por el tamaño de sus culmos que alcanzan hasta 30 metros de altura y 25 centímetros de diámetro. Ha sido seleccionada como una de las veinte especies de bambú es mejores del mundo ya que su capacidad para absorber energía y admitir una mayor flexión, la convierten en un material ideal para construcciones sismo resistentes. Esta especie crece naturalmente en Colombia, Ecuador y Venezuela, pero ha sido introducida a centro América, Isla del Caribe, Hawái y Asia. Reúne dos variedades: Guadua angustifolia variedad Bicolor y Guadua angustifolia variedad Nigra.

**2.2.2 Guadua angustifolia kunth.** Es el bambú endémico de América y se considera como nativo de Colombia, Venezuela y Ecuador. También ha sido introducida a México y varios países centroamericanos. Es un bambú gigante, espinoso, que alcanzan alturas de 25 metros y diámetros entre 10 y 25 cm, sus entrenudos tiene paredes hasta de 2 cm de espesor.

**2.2.3. Guadua angustifolia variedad bicolor.** Se diferencia de la especie tipo por tener rayas longitudinales amarillas sobre el culmo verde, diámetro 12 cm, altura 15-18 metros. Es endémica de Colombia donde se le conoce como Guadua Rayada Amarilla. Tiene gran potencial para la fabricación de artesanías y como planta ornamental.

Sus culmos son utilizados en toda clase de construcciones rurales (viviendas, establos, etc.), en conducción de agua y en elaboración de utensilios de uso doméstico. La calidad de la madera de guadua angustifolia variedad bicolor es inferior a la de la guadua angustifolia Kunth forma “macana” y superior a la calidad guadua angustifolia Kunth forma cebolla. Su potencial como planta nativa ornamental para regiones cálidas es muy utilizada y en cuanto a la calidad de la madera es buena aunque no existe una descripción de su anatomía.

### 3. DESARROLLO TRABAJO DE GRADO

#### REVISIÓN Y ANÁLISIS DE LA INVESTIGACIÓN

Para esta investigación se buscó información previa y completa acerca de la guadua (Angustifolia Kunth y Angustifolia Variedad Bicolor), sus orígenes, ventajas usos, propiedades y toda información recopilada en libros e internet para lograr un conocimiento y un acercamiento acertado de esta especie forestal.

#### DETERMINACIÓN DE LAS DIFERENTES TIPOS DE GUADUA

Para esta investigación de esta especie de guadua (angustifolia kunth y angustifolia variedad bicolor), se realizó en el Municipio de la Unión Nariño; se procedió a recolectar información acerca del clima, las condiciones del terreno y situaciones medio ambientales, su crecimiento y normal desarrollo de esta especie, y si su terreno era apto para el cultivo.

#### IDENTIFICACIÓN, SELECCIÓN DE LOS DIFERENTES ENSAYOS Y FORMA DE ELABORAR EL CALCULO MATEMÁTICO PARA OBTENER LOS RESULTADOS

Para esta investigación se realizaron 7 ensayos: compresión, de corte paralelo a la fibra, de tracción o tensión paralela a la fibra, flexión, contenido de humedad, densidad y contracción.

#### OBTENCIÓN DE CANTIDAD DE PROBETAS POR ENSAYO

##### Análisis para determinar el número de muestras

Nivel de confiabilidad 95%

Según estudios realizados anteriormente se toma valores de esfuerzos a compresión:

$$\sigma_{max} = 662 \text{ kgf/cm}^2$$

$$\sigma_{min} = 280 \text{ kgf/cm}^2$$

Los siguientes son valores de esfuerzos a compresión obtenidos de estudios anteriores de la Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales. Tipo Macana.

López y Silva. Tesis de Grado 2000<sup>26</sup>, Universidad Nariño, Facultad de Ingeniería. Tipo Angustifolia Kunth. Gildardo Bolaños Bolaños. Tesis de Grado 2012<sup>27</sup>.

Con estos valores determina la desviación estándar (S) y la media, luego se toma un rango de máximos y mínimos

$$\text{Máx} = 662 \text{ kgf/cm}^2$$

$$\text{Min} = 280 \text{ kgf/cm}^2, \text{ su rango es } (662, 280).$$

- Se determina desviación estándar mediante la ecuación:

$$S = \frac{R}{6} \quad \text{Ec [17]}$$

En donde:

S: desviación estándar

R: valor mínimo obtenido de rango de máximos y mínimos, en Kgf/cm<sup>2</sup>.

Reemplazando valores se tiene.

$$S = \frac{280}{6}$$

$$S = 46.67$$

- Se calcula la media mediante la ecuación:

$$X = \frac{(\sigma_{max} + \sigma_{min})}{2} \quad \text{Ec [18]}$$

En donde:

X: media Aritmética

$\sigma_{max}$ : esfuerzo máximo

$\sigma_{min}$ : esfuerzo mínimo

Reemplazando valores se tiene.

$$X = \frac{(662 + 280)}{2} = 471$$

---

<sup>26</sup> Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales. Tipo Macana. López y Silva. Tesis de Grado 2000.

<sup>27</sup> Universidad Nariño, Facultad de Ingeniería. Tipo Angustifolia Kunth. Gildardo Bolaños Bolaños. Tesis de Grado 2012.

$$X = 471$$

- Para determinar el número de muestras pequeñas se tiene la siguiente ecuación:

$$n = \left[ \frac{Z_2 * S}{e} \right]^2 \quad \text{Ec [19]}$$

En donde:

n : número de muestras pequeñas

Z<sub>2</sub>: variable que depende del nivel de confiabilidad:

Para un nivel de confiabilidad del 99%, Z<sub>2</sub> = 2,58

Para un nivel de confiabilidad del 95%, Z<sub>2</sub> = 1,96

Para un nivel de confiabilidad del 90%, Z<sub>2</sub> = 1,64

Como anteriormente se mencionó esta investigación tiene un nivel de confiabilidad del 95%, entonces Z<sub>2</sub> = 1,96.

S : desviación estándar,

e : valor obtenido de la siguiente ecuación:

$$e = X * 0,05 \quad \text{Ec [20]}$$

Reemplazando valores se tiene:

$$e = 471 * 0,05 = 23.55$$
$$e = 23.55$$

e = 23.55, valor que se reemplaza en Ec [16] se obtiene:

$$n = \left[ \frac{1,96 * 46.67}{23.55} \right]^2 = 10,57$$

Entonces el número de muestras es de n=11.

**Nota:** la Norma NTC 5525 contempla como mínimo 12 muestras en el literal 5.6

(Rotulado y trozado en probetas), se debe de regir a esta, en caso que el resultado sea inferior a 12.

### 3.2 MÉTODO DE PERCENTILES

El percentil es un número de 0 a 100 que está muy relacionado con el porcentaje pero que no es el porcentaje en sí. Para un conjunto de datos, el percentil para un valor dado indica el porcentaje de datos que son igual o menores que dicho valor; en otras palabras, nos dice dónde se posiciona una muestra respecto al total<sup>28</sup>.

Los percentiles se calculó con la siguiente formula:

$$P = \frac{K.N}{100} \quad \text{Ec [16]}$$

De donde:

K= 1, 2,3....99

N= Numero de muestras.

### 3.3 MATERIALES, EQUIPO Y PROCEDIMIENTOS

**3.3.1 Materiales: fabricación de probetas y revisión de medida.** Las probetas a fallar son 144 (72 probetas para la guadua *Angustifolia Kunth* y 72 probetas para la *Guadua Variedad Bicolor*) las cuales se fabricaron de acuerdo a las dimensiones estipuladas por las normas técnicas colombiana NTC 5525 y al equipo existente en el laboratorio de la Universidad de Nariño.

**3.3.2 Equipo para la realización de ensayos mecánico.** Los ensayos de compresión, corte y tracción se realizaron en la maquina Universal debido a que la prensa hidráulica estaba en muy mal estado.

**Maquina universal:** equipo utilizado para realizar los ensayos de compresión, corte y tracción. La máquina trabaja hidráulicamente y es accionado por un motor eléctrico, además la maquina se encuentra conectada a un medio electrónico que sistematiza la información permitiendo un registro de todos los datos en una hoja programada. (Ver fotografía 1).

---

<sup>28</sup> Percentiles. Disponible en: <https://curiosoando.com/que-son-los-percentiles>



**Fotografía 1. Máquina universal utilizada para realizar los ensayos de compresión, corte y tracción.**

**Montaje para el ensayo de flexión:** para este ensayo se desplazó al municipio de Yacuanquer ya que la universidad no cuenta con los dispositivos para este ensayo.

Este montaje consta de:

- Gato hidráulico, con capacidad de carga de 100 Tnf el cual es operado manualmente, está conectado a una celda digital la cual registra la carga aplicada.
- Perfil de carga, es un perfil IPE-140 con un espesor de 6.9 mm, sobre él van colocados los dispositivos de carga. Este perfil también sirve de riel a los dispositivos de carga, los cuales se pueden trasladar longitudinalmente.
- Perfil de soporte, es un perfil IPE-140 con un espesor de 3.0 mm, sobre él van colocados los dispositivos de apoyo. El perfil funciona también de riel para los dispositivos de apoyo, los cuales se pueden trasladar longitudinalmente.
- Dispositivo de apoyo, son dos bloques rectangulares de madera de achapo (tipo de madera), sirven de apoyo para alojar la probeta de guadua. sus dimensiones se muestran en la Fotografía N° 3. En la parte superior tiene una forma semi-circular para aumentar la superficie de contacto entre la probeta y el dispositivo de apoyo. (Ver fotografía 2 - 3).



**Fotografía 2. Máquina utilizada para realizar el ensayo de flexión.**



**Fotografía 3. Medidor de carga para realizar el ensayo de flexión.**

**3.3.3 Procedimientos.** Realizar los ensayos para determinar el Contenido de Humedad, Densidad, Contracción y las propiedades mecánicas de las 2 especies de Guadua.

Luego de rectificar las medidas establecidas en la NTC 5525; se realizó con un instrumento llamado pie de rey el cual tiene precisión de  $\pm 1$  mm; además se pesaron en estado natural en una balanza la cual tiene precisión de 0.01 gr, cada una de las probetas son identificadas como: parte inferior (I), parte media (M) y parte superior (S).

Se lleva un registro de todos los datos en una hoja de cálculo. (Ver Guadua Angustifolia Kunth Anexo 2, 3, 4 y 5 Guadua Angustifolia Variedad Bicolor Anexo 8, 9, 10 y 11).

**3.3.4 Compresión.** Para este ensayo las probetas se tomó de la parte inferior, media y superior de cada culmo como lo indica la NTC 5525, las cuales se marcaron con las letras I, M y S respectivamente.

Las probetas de guadua se sitúa alineada y centrada en el montaje luego se procede aplicar incrementos de carga hasta que la probeta falle o hasta llegar a la máxima carga admitida por el equipo. (Ver foto 4 - 5).



**Fotografía 4. Montaje para ensayo de compresión.**



**Fotografía 5. Probetas para ensayo de compresión.**

**3.3.5 Corte paralelo a las fibras.** Para este ensayo las probetas se tomó de la parte inferior, media y superior de cada culmo como lo indica la NTC 5525, las cuales se marcaron con las letras I, M y S respectivamente.

Las probetas de guadua se sitúa alineada y centrada en el montaje luego se procede aplicar incrementos de carga hasta que la probeta falle o hasta llegar a la máxima carga admitida por el equipo. (Ver foto 6 - 7)



**Fotografía 6. Montaje para ensayo de corte paralelo a las fibras.**



**Fotografía 7. Probeta fallada.**

**3.3.6 Tracción paralela a las fibras.** Para este ensayo las probetas se tomó de la parte inferior, media y superior de cada culmo como lo indica la NTC 5525, las cuales se marcaron con las letras I, M y S respectivamente.

Este ensayo consiste en colocar una pieza de Guadua de acuerdo a las dimensiones estipuladas en la norma NTC 5525, se ajusta con las mordazas y se oprime el botón permitiendo que la maquina imprima esfuerzos de tracción a la probeta hasta fallarla. La máquina se encuentra conectada a un medio electrónico que sistematiza la información permitiendo un registro de todos los datos en una hoja programada. (Ver foto 8-9).



**Fotografía 8. Montaje de ensayo de tracción.**



**Fotografía 9. Probetas para ensayo de tracción.**

**3.3.7. Flexión.** Se colocó el culmo en la máquina de ensayo, apoyado sobre los dos soportes. En seguida se colocó las dos monturas y la viga en la parte superior del culmo; la aplicación de la carga al culmo se realizó uniformemente a velocidad constante. (Ver foto 10).



**Fotografía 10. Montaje Ensayo de Flexión.**

**3.3.8 Contenido de humedad.** Para la determinación del contenido de humedad se prepararon inmediatamente después de cada ensayo mecánico.

Las probetas se pesaron con una exactitud de 0.01gr y luego se secaron en un horno a temperatura de 103 °C; pasadas las 24 horas se registró la masa. Los datos en registraron en formatos (Guadua Angustifolia Kunth Ver Anexo 6; Guadua Angustifolia Variedad Bicolor Anexo 13). (Ver foto 11-12).



**3.3.9 Densidad.** Se midió las dimensiones de las probetas con exactitud de 0,1 mm y se calculó el volumen; se realizó este procedimiento en condición húmeda. Las probetas se secaron hasta obtener una masa constante. Los datos en registraron en formatos (Guadua Angustifolia Kunth Ver Tablas N° 12, 13 y 14; Guadua Angustifolia Variedad Bicolor Tablas N° 25, 26 y 27). (Ver foto 13-14).



**3.3.10 Contracción.** Para este ensayo las probetas se prepararon a partir de secciones sin nudos tomadas de culmos completos de Guadua como lo indica la

NTC 5525; se midió el diámetro externo  $D$ , el espesor de la pared  $t$  y la longitud  $L$  de la probeta.

Por último, las probetas se colocaron al horno con temperatura aproximada de  $103^{\circ}\text{C}$  de tal que se secan completamente, después de lo cual, se tomaron las dimensiones por última vez. Los datos se registraron en formatos (Guadua Angustifolia Kunth Tabla N° 15; Guadua Angustifolia Variedad Bicolor Tabla N° 28). (Ver foto 15).



**Fotografía 15. Probetas en horno.**

## 4. ANÁLISIS DE DATOS

### 4.1 RESULTADOS DE ENSAYOS DE LABORATORIO (GUADUA ANGUSTIFOLIA KUNT)

**4.1.1 Compresión.** A continuación, se presenta la tabla que contienen los datos promedios iniciales de los resultados de los ensayos. (Ver anexo 2).

**Tabla 1. Datos promedios de las muestras para ensayo de compresión.**

Probeta	H (cm)	D (cm)	t (cm)	d (cm)	W (gr)	A (cm <sup>2</sup> )	$\sigma_{ult.}$ (MPa)
I1	10,36	9,90	2,10	7,80	519	51,42	38,1
M2	10,20	9,89	0,90	8,99	161,7	25,40	22,81
S3	4,69	4,72	0,73	3,99	35,6	9,08	48,2
I4	9,70	9,55	1,18	8,38	318,9	30,90	49,7
M5	10,20	9,89	0,90	8,99	160,8	25,40	33,4
S6	5,69	5,65	0,71	4,94	63,4	11,01	57,2
I7	10,11	9,65	1,54	8,06	354,2	39,11	50,2
M8	9,15	8,64	1,11	7,52	229,7	26,28	34,3
S9	4,61	4,72	0,74	3,98	35,2	9,24	51,7
I10	10,33	9,76	2,13	7,64	506,5	50,96	38,0
M11	8,54	8,47	1,04	7,43	206,3	24,21	36,7
S12	5,69	5,64	0,83	4,82	67,3	12,48	53,2

**Tabla 2. Resultados finales, ensayo de compresión.**

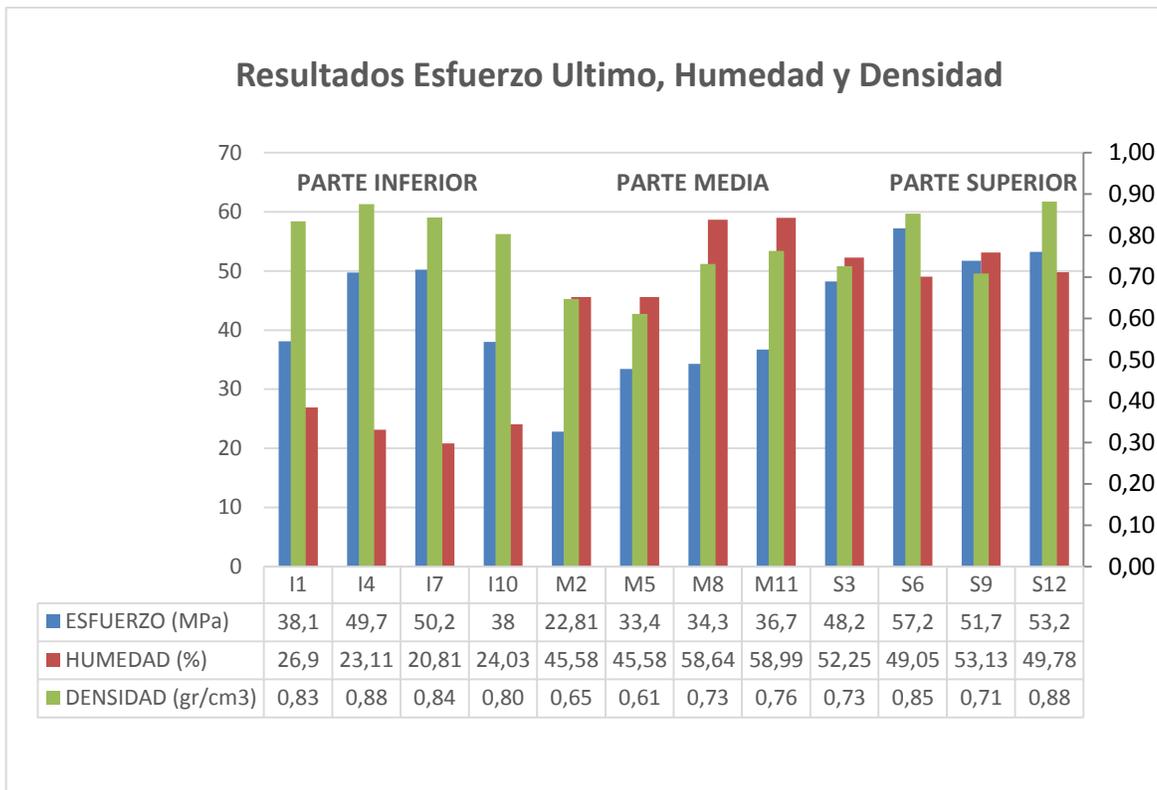
<b>Probeta</b>	<b><math>\sigma_{ult.}</math> (MPa)</b>	<b>C. Humedad C.H (%)</b>	<b>Densidad (Kg/m<sup>3</sup>)</b>
I1	38,1	26,90	834,05
I4	49,7	23,11	875,71
I7	50,2	20,81	843,46
I10	38,0	24,03	803,68
M2	22,81	45,58	646,47
M5	33,4	45,58	610,03
M8	34,3	58,64	731,16
M11	36,7	58,99	762,77
S3	48,2	52,25	725,85
S6	57,2	49,05	852,47
S9	51,7	53,13	707,85
S12	53,2	49,78	881,80

La tabla N°4, muestra los resultados finales por cada sección del culmo del ensayo a compresión, donde contiene el esfuerzo último, humedad y densidad de cada probeta.

Al realizar el ensayo de compresión sobre las probetas de guadua se obtuvo los resultados de esfuerzos últimos a compresión como: esfuerzo último máximo (57,2MPa), esfuerzo último mínimo (22,81MPa) y esfuerzo último promedio (42,79MPa).

El análisis estadístico realizado por el método del primer y tercer cuartil da los siguientes datos de aceptación descartando los números atípicos:

**Límite superior:** 75,96 MPa  
**Límite Inferior:** 10,26 MPa  
**Promedio:** 42,79 MPa  
**Desviación Estándar:** 15,70  
**Coefficiente de variación:** 33,70%



**Gráfica 1. Resultados de esfuerzo último, densidad y humedad, por sección de culmo para el ensayo de compresión**

En la gráfica N. 2, muestra resultados de esfuerzo último sometidos a compresión, humedad y densidad. Observando los resultados obtenidos, los valores varían a lo largo de la longitud de la guadua, siendo menor en la porción media y mayor en la superior; Además, los resultados evidencian que en la parte inferior presenta menor humedad y la densidad no tiene una gran variación en cada una de las probetas ensayadas.

**4.1.2 Corte paralelo a las fibras.** A continuación, se presenta la tabla que contienen los datos promedios iniciales de los resultados de corte paralelo a las fibras. (Ver anexo 3).

**Tabla 3. Datos promedios de las muestras para ensayo de corte paralelo a las fibras.**

Probeta	H (cm)	D (cm)	t (cm)	d (cm)	W (gr)	$\Sigma(t*L)$ cm <sup>2</sup>	$\sigma_{ult.}$ (MPa)
I13 CN	9,78	12,76	2,02	10,66	717,20	73,17	10,9
M14 SN	10,28	9,96	1,45	8,39	438,80	59,72	10,4
S15 CN	10,21	5,71	0,89	4,61	164,50	36,43	12,9
I16 SN	10,38	12,43	2,11	10,36	704,90	82,50	8,4
M17 SN	10,99	10,51	1,59	9,00	529,80	65,75	10,8
S18 SN	10,04	6,35	0,97	5,36	188,50	39,04	11,2
I19 CN	10,05	12,54	1,65	11,13	598,60	66,15	14,4
M20 CN	10,08	7,62	0,96	6,44	229,60	38,59	13,7
S21 CN	10,59	5,92	0,82	5,10	150,40	34,83	12,3
I22 SN	10,64	12,52	1,80	10,35	644,20	76,68	10,6
M23 SN	9,74	9,08	1,09	8,09	271,00	42,28	16,5
S24 SN	10,62	6,20	0,85	5,31	160,40	36,09	12,2

**Tabla 4. Resultados finales, ensayo de corte paralelo a la fibra.**

Probeta	$\sigma_{ult.}$ (MPa)	C. Humedad C.H (%)	Densidad (Kg/m <sup>3</sup> )
I13 CN	10,9	49,89	951,36
I16 SN	8,4	48,82	938,13
I19 CN	14,4	51,37	931,01
I22 SN	10,6	50,64	935,84
M14 SN	10,4	49,04	961,28
M17 SN	10,8	50,43	948,35
M20 CN	13,7	42,38	958,83
M23 CN	16,5	54,54	948,21
S15 CN	12,9	46,20	972,20
S18 SN	11,2	47,16	996,30
S21 CN	12,3	45,35	963,66
S24 SN	12,2	45,57	968,92

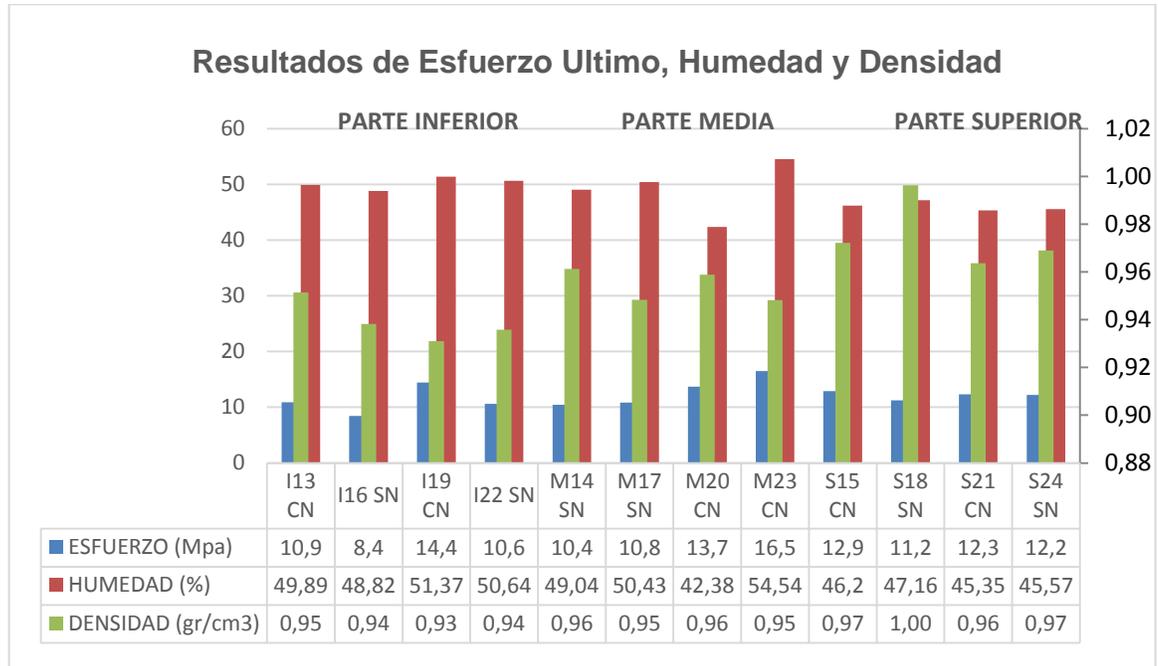
La tabla N°6, muestra los resultados finales por cada sección del culmo del ensayo a corte paralelo a las fibras, donde contiene el esfuerzo último, humedad y densidad de cada probeta.

Al realizar el ensayo de corte paralelo a las fibras sobre las probetas de guadua se obtuvo los resultados de esfuerzos últimos a corte paralelo a las fibras como: esfuerzo último máximo (16,5MPa), esfuerzo último mínimo (8,4MPa) y esfuerzo último promedio (12,3MPa).

El análisis estadístico realizado por el método del primer y tercer cuartil da los

siguientes datos de aceptación descartando los números atípicos: (Ver grafica 3).

**Límite superior:** 18,07 MPa  
**Límite Inferior:** 6,07 MPa  
**Promedio:** 12,3 MPa  
**Desviación Estándar:** 2,69  
**Coefficiente de variación:** 23,13%



**Gráfica 2. Resultados de esfuerzo último, densidad y humedad, por sección de culmos para el ensayo de corte paralelo.**

En la gráfica N. 3, muestra resultados de esfuerzo último sometidos a corte paralelo a las fibras, humedad y densidad. Observando los resultados obtenidos, los valores varían a lo largo de la longitud de la guadua, las probetas con nudo presentan mayor esfuerzo último; la humedad y densidad no tiene gran variación en cada una de las probetas ensayadas.

**4.1.3 Tracción.** A continuación, se presenta la tabla que contienen los datos promedios iniciales de los resultados de tracción. (Ver anexo 4.) (Ver tabla 7-8)

**Tabla 5. Datos promedios de las muestras para ensayo de tracción.**

Probeta	L (cm)	b (mm)	t (mm)	W (gr)	A (mm <sup>2</sup> )	$\sigma_{ult.}$ (MPa)
I25	10,00	20,20	16,67	51,60	336,67	89
M26	10,00	20,10	13,33	54,40	268,00	112
S27	10,00	20,10	6,03	29,40	121,27	95
I28	10,00	20,07	27,33	46,70	548,49	51
M29	10,00	20,07	11,00	34,30	220,73	122
S30	10,00	20,03	12,00	25,70	240,40	83
I31	10,00	20,20	16,67	45,40	336,67	77
M32	10,00	20,10	11,00	33,20	221,10	127
S33	10,00	20,07	10,67	29,90	214,04	98
I34	10,00	20,17	28,33	67,60	571,39	53
M35	10,00	20,03	14,67	33,20	293,82	99
S36	10,00	20,03	11,00	29,90	214,04	113

**Tabla 6. Resultados finales, ensayo de tracción.**

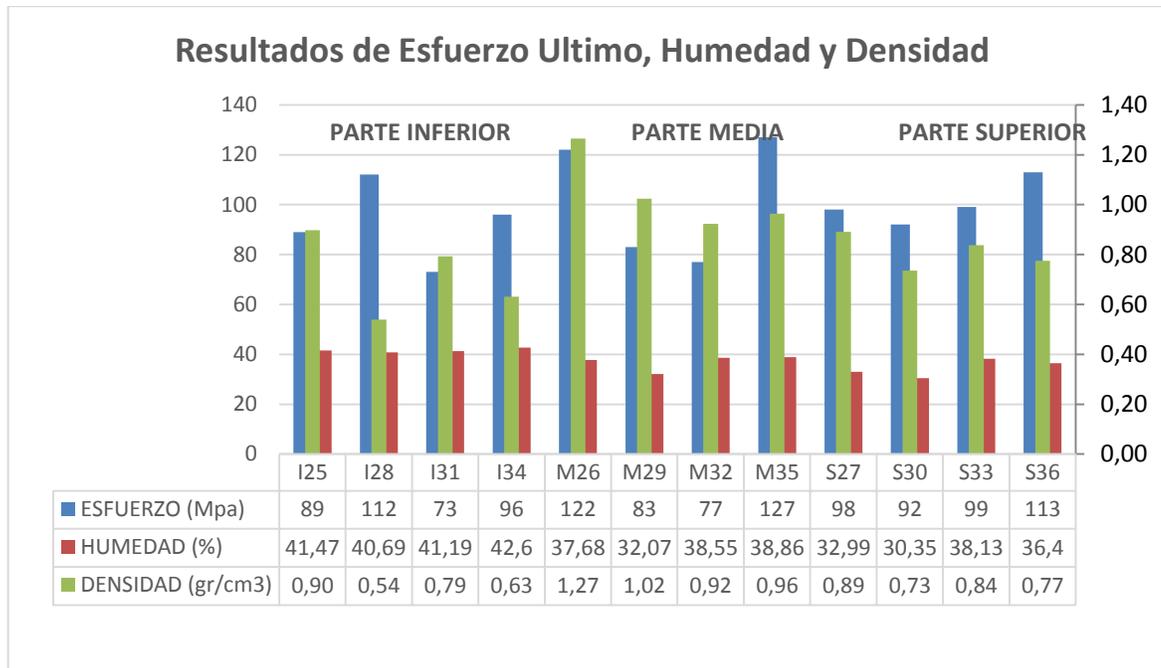
Probeta	$\sigma_{ult.}$ (MPa)	C. Humedad C.H (%)	Densidad (Kg/m <sup>3</sup> )
I25	89	41,47	896,85
I28	51	40,69	539,13
I31	77	41,19	792,91
I34	53	42,60	631,14
M26	112	37,68	1265,24
M29	122	32,07	1023,28
M32	127	38,55	922,66
M35	99	38,86	963,73
S27	95	32,99	891,00
S30	83	30,35	734,81
S33	98	38,13	837,60
S36	113	36,40	774,74

La tabla N°8, muestra los resultados finales por cada sección del culmo del ensayo a tracción, donde contiene el esfuerzo último, humedad y densidad de cada probeta.

Al realizar el ensayo de tracción sobre las probetas de guadua se obtuvo los resultados de esfuerzos últimos a tracción como: esfuerzo último máximo (127MPa), esfuerzo último mínimo (51MPa) y esfuerzo último promedio (93,3MPa).

El análisis estadístico realizado por el método del primer y tercer cuartil da los siguientes datos de aceptación descartando los números atípicos:

**Límite superior:** 164,12 MPa  
**Límite Inferior:** 27,12 MPa  
**Promedio:** 93,3 MPa  
**Desviación Estándar:** 25,09  
**Coefficiente de variación:** 27,45%



**Gráfica 3. Resultados del esfuerzo último, densidad y humedad, por sección de culmo para el ensayo de tracción.**

En la gráfica N. 4, muestra resultados de esfuerzo último sometido a tracción, humedad y densidad. Observando los resultados obtenidos tanto para esfuerzo ultimo como humedad y densidad, los valores varían a lo largo de la longitud de la guadua, no teniendo gran variación en cada sección del culmo.

**4.1.4 Flexión.** A continuación, se presenta la tabla que contienen los datos promedios iniciales de los resultados de flexión. (Ver anexo 5.)

**Tabla 7. Datos promedios de las muestras para ensayo de flexión.**

Probeta	L	D	t	$\delta$	F	F	IB	$\sigma$ ult
	(mm)	(mm)	(mm)	mm	(Kg)	N	(mm <sup>4</sup> )	MPa
FI 37	3600	100,50	23,500	39	590	5782,0	4605516	37,85
FI 38	3600	98,50	24,00	44,1	658	6448,4	4299341	44,32
FI 39	3600	102,50	21,50	38,3	623	6105,4	4800664	39,11
FI 40	3500	98,50	21,50	41,3	649	6360,2	4152930	44,00
FI 41	2700	83,50	15,50	37,1	580	5684,0	2013341	53,04
FI 42	2700	79,50	21,50	42	650	6370,0	1873703	60,81
FI 43	2600	77,50	23,50	35,3	540	5292,0	1728355	51,41
FI 44	2600	76,50	21,50	45,2	680	6664,0	1619366	68,21
FI 45	2000	63,50	18,50	34,3	520	5096,0	773908	69,69
FI 46	1900	61,50	17,50	41,6	681	6673,8	678009	95,85
FI 47	1800	59,50	17,50	44,8	698	6840,4	597546	102,17
FI 48	1800	57,50	15,50	39,5	570	5586,0	512382	94,03

**Tabla 8. Resultados final, ensayo de flexion.**

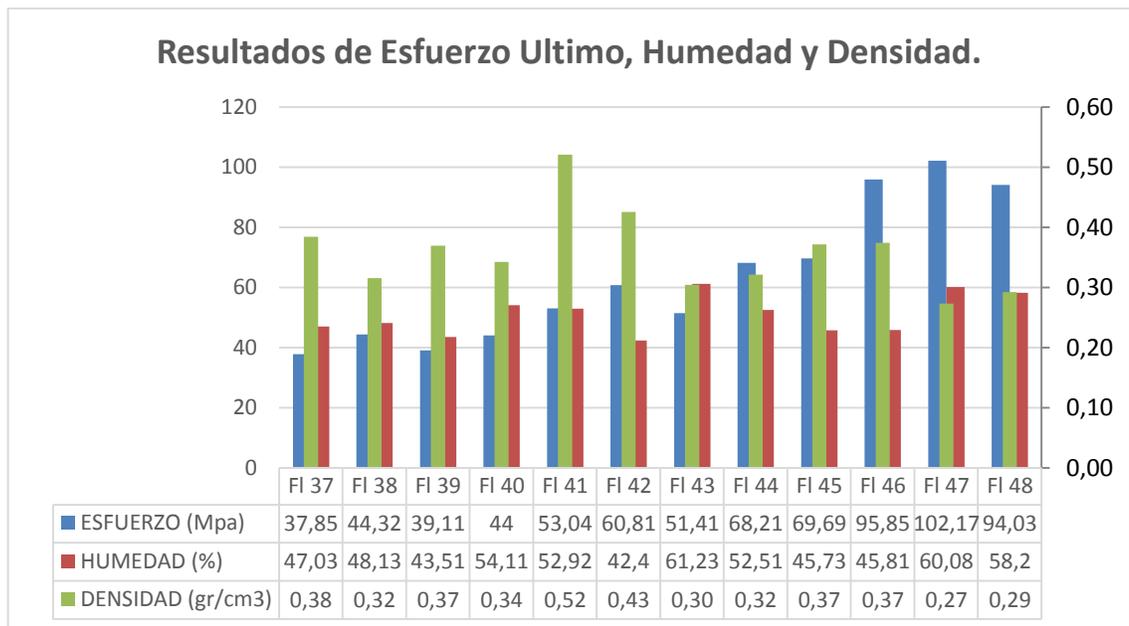
Probeta	$\sigma$ ult. (MPa)	C. Humedad C.H (%)	Densidad (Kg/m <sup>3</sup> )
FI 37	37,85	47,03	384,09
FI 38	44,32	48,13	315,64
FI 39	39,11	43,51	369,31
FI 40	44,00	54,11	342,30
FI 41	53,04	52,92	520,52
FI 42	60,81	42,40	425,31
FI 43	51,41	61,23	304,55
FI 44	68,21	52,51	321,41
FI 45	69,69	45,73	371,24
FI 46	95,85	45,81	374,16
FI 47	102,17	60,08	272,89
FI 48	94,03	58,20	292,19

La tabla N°10, muestra los resultados finales por cada sección del culmo del ensayo a flexión, donde contiene el esfuerzo último, humedad y densidad de cada probeta.

Al realizar el ensayo de flexión sobre las probetas de guadua se obtuvo los resultados de esfuerzos últimos a flexión como: esfuerzos último máximo (102,17MPa), esfuerzo último mínimo (37,85MPa) y esfuerzo último promedio (63,4MPa). (Ver grafica 5).

El análisis estadístico realizado por el método del primer y tercer cuartil da los siguientes datos de aceptación descartando los números atípicos:

**Límite superior:** 153,74 MPa  
**Límite Inferior:** 21,72 MPa  
**Promedio:** 63,4 MPa  
**Desviación Estándar:** 23,39  
**Coefficiente de variación:** 37,1%



**Gráfica 4. Resultados de esfuerzo último, densidad y humedad, por sección de culmo para el ensayo de flexión.**

En la gráfica N. 5, muestra resultados de esfuerzo último sometido a flexión, humedad y densidad. Observando los resultados obtenidos, los valores varían de acuerdo a la longitud del culmo tomado; donde las probetas de mayor longitud presentan esfuerzos más altos, ya que hay menor separación de nudos, donde la resistencia es más alta debido al confinamiento de fibras.

**4.1.5 Humedad.** A continuación, se presenta la tabla que contienen los resultados del contenido de humedad, a las probetas utilizadas para el ensayo de compresión, corte paralelo a las fibras, tracción, flexión. (Ver anexo 6) (Ver tabla 11).

**Tabla 9. Resultados contenido de humedad.**

<b>CONTENIDO DE HUMEDAD (CH)</b>			
<b>ENSAYO</b>	<b>CH Máximo %</b>	<b>CH Mínimo %</b>	<b>CH Promedio %</b>
Compresión	60,77	20,81	40,79
Corte Paralelo a las fibras	54,54	42,38	48,46
Tracción paralelo a las fibras	42,60	30,35	36,46
Flexión	61,23	42,40	51,82

**4.1.6 Densidad.** A continuación, se presenta la tabla que contienen los resultados de densidad, para los ensayos de compresión, corte paralelo a las fibras. (Ver tabla 12-14).

**Tabla 10. Resultados finales del contenido de densidad.**

<b>Probeta</b>	<b>Datos iniciales</b>							<b>Cálculos y expresión de resultados</b>			<b><math>\rho</math></b>
	<b>H</b>	<b>D</b>	<b>r1</b>	<b>d</b>	<b>r2</b>	<b>m (Húmedo)</b>	<b>ms</b>	<b>V1</b>	<b>V2</b>	<b>VT</b>	
	<b>(cm)</b>	<b>(cm)</b>	<b>(cm)</b>	<b>(cm)</b>	<b>(cm)</b>	<b>(gr)</b>	<b>(gr)</b>	<b>cm3</b>	<b>cm3</b>	<b>cm3</b>	
<b><math>\rho_{49 S}</math></b>	10,02	5,67	2,84	4,78	2,39	142,10	66,10	252,81	179,49	73,32	901
<b><math>\rho_{50 S}</math></b>	10,07	6,27	3,14	5,30	2,65	163,20	74,30	310,77	221,84	88,93	836
<b><math>\rho_{51 S}</math></b>	10,05	5,83	2,91	5,01	2,50	132,50	64,30	267,78	197,53	70,26	915
<b><math>\rho_{52 S}</math></b>	10,02	6,18	3,09	5,33	2,66	145,30	72,20	300,09	223,19	76,90	939

**Tabla 11. Resultados finales del contenido de densidad**

<b>Probeta</b>	<b>Datos iniciales</b>							<b>Cálculos y expresión de resultados</b>			<b><math>\rho</math></b>
	<b>H</b>	<b>D</b>	<b>r1</b>	<b>d</b>	<b>r2</b>	<b>m (Húmedo)</b>	<b>ms</b>	<b>V1</b>	<b>V2</b>	<b>VT</b>	
	<b>(cm)</b>	<b>(cm)</b>	<b>(cm)</b>	<b>(cm)</b>	<b>(cm)</b>	<b>(gr)</b>	<b>(gr)</b>	<b>cm3</b>	<b>cm3</b>	<b>cm3</b>	
<b><math>\rho_{53 M}</math></b>	10,02	9,59	4,80	8,42	4,21	329,30	114,10	723,57	557,79	165,79	688
<b><math>\rho_{54 M}</math></b>	10,15	9,93	4,97	8,66	4,33	389,90	122,70	785,66	596,86	188,80	650
<b><math>\rho_{55 M}</math></b>	9,99	7,46	3,73	6,50	3,25	194,60	97,30	436,24	331,41	104,83	928
<b><math>\rho_{56 M}</math></b>	9,90	8,88	4,44	7,89	3,95	231,00	83,20	612,54	483,79	128,75	646

**Tabla 12. Resultados finales del contenido de densidad**

Probeta	Datos iniciales							Cálculos y expresión de resultados			$\rho$ kg/m <sup>3</sup>
	H	D	r1	d	r2	m (Húmedo)	mo	V1	V2	VT	
	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(gr)	(gr)	cm <sup>3</sup>	cm <sup>3</sup>	cm <sup>3</sup>	
<b>p57 I</b>	9,93	11,24	5,62	9,65	4,83	525,20	167,40	984,31	725,53	258,78	647
<b>p58 I</b>	10,05	12,33	6,16	10,21	5,11	597,50	253,40	1198,42	822,81	375,61	675
<b>p59 I</b>	9,95	11,43	5,72	10,72	5,36	424,70	117,20	1020,43	897,18	123,25	951
<b>p60 I</b>	10,10	9,94	4,97	8,14	4,07	524,20	198,00	783,36	525,02	258,35	766

**4.1.7 Contracción.** A continuación, se presenta la tabla que contienen los resultados promedios de contracción, para los ensayos de compresión, corte paralelo a las fibras, tracción, flexión. (Ver anexo 7).

**Tabla 13. Resultados finales del ensayo de contracción.**

Probeta	LECTURA INICIAL				LECTURA FINAL				CALCULO Y EXPRESIÓN DE RESULTADOS			
	H (I)	D (I)	d (I)	t (I)	H (F)	D (F)	d (F)	t (F)	H	D	D	t
	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	%	%	%	%
<b>I61</b>	10,18	12,10	10,46	1,64	10,16	11,10	9,84	1,26	0,22	8,24	5,93	23,05
<b>M62</b>	9,83	12,45	10,70	1,75	9,81	11,60	10,22	1,38	0,18	6,83	4,49	21,14
<b>S63</b>	9,83	6,45	5,53	0,93	9,76	5,89	5,10	0,80	0,64	8,68	7,78	14,05
<b>I64</b>	10,17	11,91	9,79	2,12	10,05	11,29	9,29	2,00	1,23	5,21	5,13	5,55
<b>M65</b>	9,96	8,71	7,60	1,11	9,88	7,70	6,95	0,75	0,78	11,57	8,46	32,81
<b>S66</b>	10,15	6,70	5,85	0,85	10,00	6,01	5,23	0,79	1,48	10,30	10,68	7,65
<b>I67</b>	9,89	12,43	10,80	1,64	9,81	11,31	9,91	1,41	0,76	9,01	8,24	14,07
<b>M68</b>	10,18	10,31	8,99	1,32	10,05	9,30	8,24	1,06	1,23	9,80	8,37	19,54
<b>S69</b>	9,80	6,78	5,53	1,25	9,73	6,24	5,14	1,10	0,71	7,86	6,92	12,00
<b>I70</b>	10,28	12,35	10,75	1,60	10,18	11,35	10,03	1,33	0,97	8,06	6,70	17,19
<b>M71</b>	10,22	8,70	7,63	1,08	10,16	7,98	7,23	0,75	0,56	8,33	5,18	30,70
<b>S72</b>	10,03	6,60	5,30	1,30	9,89	5,79	4,98	0,80	1,32	12,35	5,99	38,27

## 4.2 RESULTADOS DE ENSAYOS DE LABORATORIO (GUADUA ANGUSTIFOLIA VARIEDAD BICOLOR)

**4.2.1 Compresión.** A continuación, se presentan la tabla que contienen los datos promedios iniciales de los resultados de los ensayos. (Ver anexo 8).

**Tabla 14. Datos promedios de las muestras para ensayo de compresión.**

Probeta	H (cm)	D (cm)	t (cm)	d (cm)	W (gr)	A (cm <sup>2</sup> )	$\sigma_{ult.}$ (MPa)
I73	9,64	9,56	0,94	8,63	239	25,39	27,0
M74	9,29	9,48	0,75	8,73	146,7	20,55	14,5
S75	4,36	4,39	0,55	3,84	28,6	6,63	26,6
I76	9,53	9,48	0,86	8,62	138,9	23,33	40,0
M77	9,33	9,36	0,75	8,61	146,8	20,28	15,6
S78	5,27	5,27	0,54	4,74	57,4	7,99	23,6
I79	9,64	9,56	0,81	8,76	179,2	22,14	37,8
M80	8,90	8,84	0,76	8,07	174,7	19,33	18,2
S81	4,18	4,18	0,56	3,62	30,2	6,39	41,3
I82	9,78	9,72	1,00	8,72	226,5	27,37	36,3
M83	9,15	9,06	0,80	8,26	161,3	20,81	18,5
S84	5,29	5,28	0,63	4,66	59,3	9,14	32,3

**Tabla 15. Resultados finales, ensayo de compresión.**

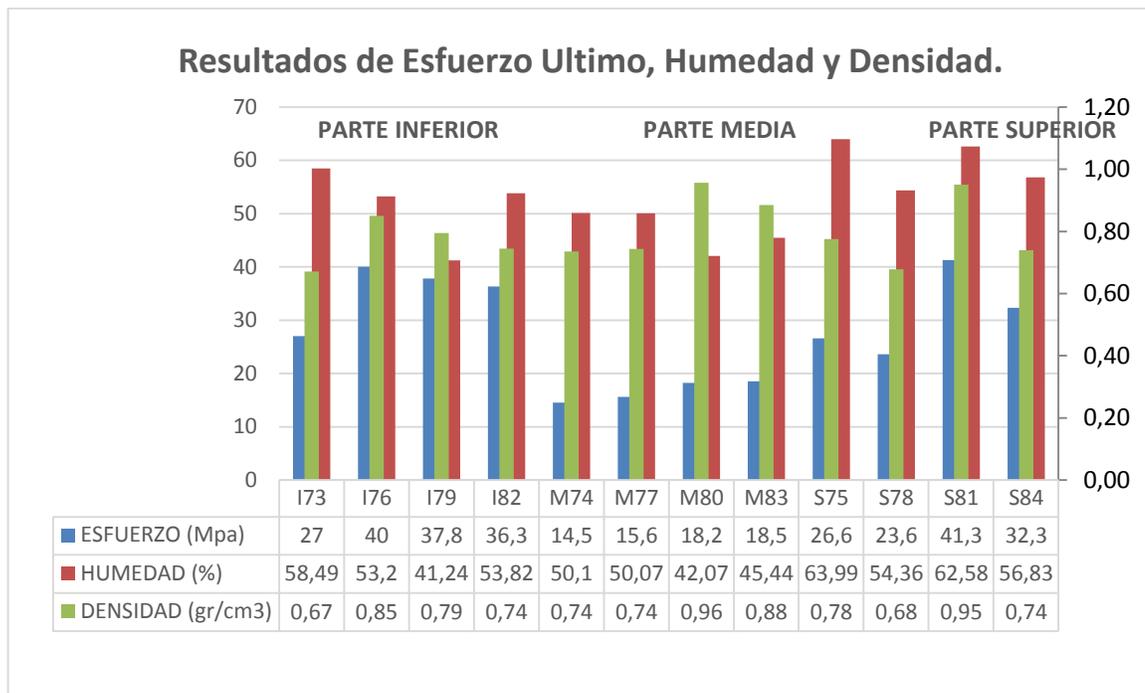
Probeta	$\sigma_{ult.}$ (MPa)	C. Humedad C.H (%)	Densidad (Kg/m <sup>3</sup> )
I73	27,0	58,49	670,96
I76	40,0	53,20	850,16
I79	37,8	41,24	794,98
I82	36,3	53,82	744,93
M74	14,5	50,10	735,58
M77	15,6	50,07	743,22
M80	18,2	42,07	955,88
M83	18,5	45,44	884,76
S75	26,6	63,99	775,29
S78	23,6	54,36	678,06
S81	41,3	62,58	949,86
S84	32,3	56,83	739,19

La tabla N°17, muestra los resultados finales por cada sección del culmo del ensayo a compresión, donde contiene el esfuerzo último, humedad y densidad de cada probeta.

Al realizar el ensayo de compresión sobre las probetas de guadua se obtuvo los resultados de esfuerzos últimos a compresión como: esfuerzo último máximo (41,3MPa), esfuerzo último mínimo (14,5MPa) y esfuerzo último promedio (27,64MPa).

El análisis estadístico realizado por el método del primer y tercer cuartil da los siguientes datos de aceptación descartando los números atípicos:

**Límite superior:** 66,15 MPa  
**Límite Inferior:** 10,45 MPa  
**Promedio:** 27,64 MPa  
**Desviación Estándar:** 9,76  
**Coefficiente de variación:** 35,30%



**Gráfica 5. Resultados de esfuerzo último, densidad y humedad, por sección de culmo para el ensayo de compresión.**

En la gráfica N. 6, muestra resultados de esfuerzo último sometidos a compresión, humedad y densidad. Observando los resultados obtenidos, los valores varían a lo largo de la longitud de la guadua, siendo menor en la porción media y mayor en la superior; Además, los resultados evidencian que la humedad y la densidad no tienen una gran variación en cada una de las probetas ensayadas.

**4.2.2 Corte paralelo a las fibras.** A continuación, se presenta la tabla que contienen los datos promedios iniciales de los resultados de corte paralelo a las fibras. (Ver anexo 9).

**Tabla 16. Datos promedios de las muestras para ensayo de corte paralelo a la fibra.**

Probeta	H (cm)	D (cm)	t (cm)	d (cm)	W (gr)	$\Sigma(t*L)$ mm <sup>2</sup>	$\sigma_{ult.}$ (MPa)
I85 SN	10,050	6,75	0,725	6,125	109,60	29,14	6,9
M86 CN	10,025	6,825	1,000	5,800	228,80	40,09	9,2
S87 SN	9,98	3,85	0,725	3,225	136,50	28,95	8,6
I88 SN	9,975	7,600	0,675	7,025	324,90	26,93	7,4
M89 CN	10,23	7,08	0,950	6,25	249,80	38,88	9,5
S90 SN	9,93	4,8	0,725	4,100	160,50	28,80	5,9
I91 CN	9,900	8,050	0,85	7,3	358,60	33,64	9,5
M92 SN	9,98	7,10	0,950	6,000	109,60	37,94	8,2
S93 CN	10,05	3,95	0,625	3,350	124,40	25,15	9,5
I94 CN	10,05	7,825	0,825	7,125	384,20	33,14	9,7
M95 SN	9,975	8,8	1,05	7,875	151,00	41,84	8,7
S96 CN	9,85	3,9	0,675	3,275	135,40	26,59	9,0

**Tabla 17. Resultados finales ensayo de corte paralelo a la fibra.**

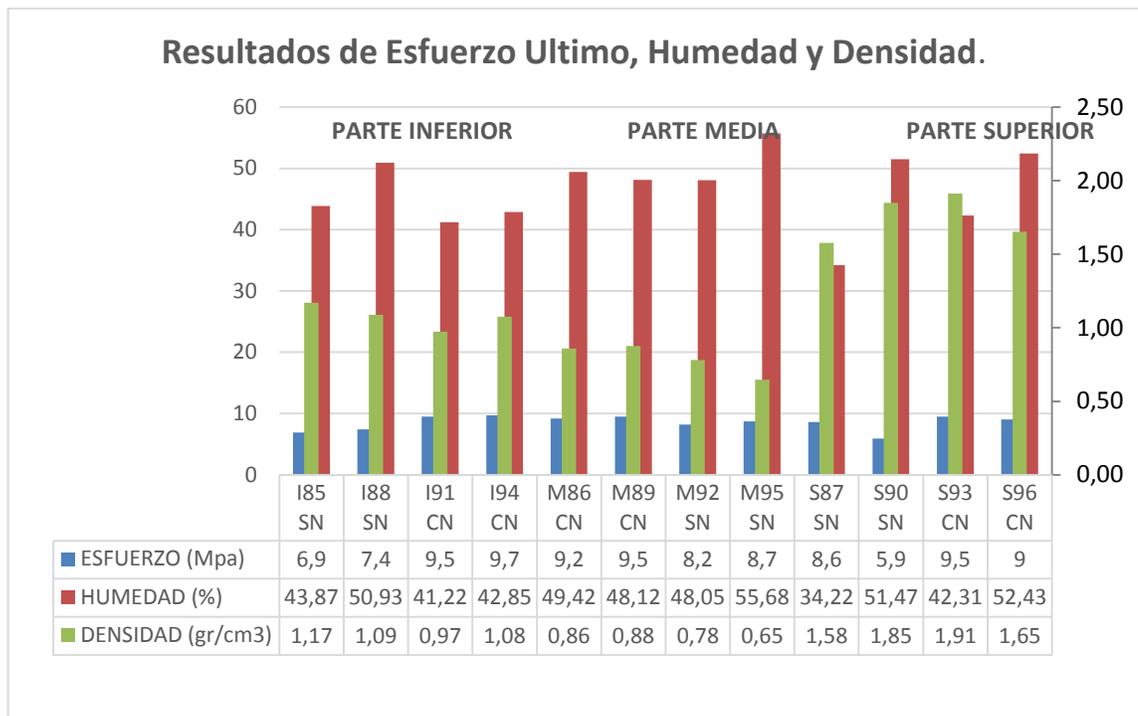
Probeta	$\sigma_{ult.}$ (MPa)	C. Humedad C.H (%)	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )
I85 SN	6,9	43,87	1169,78
I88 SN	7,4	50,93	1088,31
I91 CN	9,5	41,22	971,91
I94 CN	9,7	42,85	1075,02
M86 CN	9,2	49,42	858,77
M89 CN	9,5	48,12	875,2
M92 SN	8,2	48,05	780,88
M95 SN	8,7	55,68	646,31
S87 SN	8,6	34,22	1576,9
S90 SN	5,9	51,47	1847,79
S93 CN	9,5	42,31	1911,93
S96 CN	9,0	52,43	1651,39

La tabla N°19, muestra los resultados finales por cada sección del culmo del ensayo a corte paralelo a las fibras, donde contiene el esfuerzo último, humedad y densidad de cada probeta.

Al realizar el ensayo de corte paralelo a las fibras sobre las probetas de guadua se obtuvo los resultados de esfuerzos últimos a corte paralelo a las fibras como: esfuerzo último máximo (9,7MPa), esfuerzo último mínimo (5,9MPa) y esfuerzo último promedio (8,76MPa).

El análisis estadístico realizado por el método del primer y tercer cuartil da los siguientes datos de aceptación descartando los números atípicos:

**Límite superior:** 12,35 MPa  
**Límite Inferior:** 4,75 MPa  
**Promedio:** 8,74 MPa  
**Desviación Estándar:** 1,48  
**Coefficiente de variación:** 16,94%



**Gráfica 6. Resultados de esfuerzo último, densidad y humedad, por sección de culmo para el ensayo de corte paralelo a las fibras.**

En la gráfica N. 7, muestra resultados de esfuerzo último sometidos a corte paralelo a las fibras, humedad y densidad. Observando los resultados obtenidos, los valores varían a lo largo de la longitud de la guadua, las probetas con nudo presentan mayor esfuerzo último; la humedad y densidad no tiene gran variación en cada una de las probetas ensayadas. (Ver tabla 20-21)

**4.2.3 Tracción.** A continuación, se presenta la tabla que contienen los datos promedios iniciales de los resultados de tracción. (Ver Anexo 10.)

**Tabla 18. Datos promedios de las muestras para ensayo de tracción.**

Probeta	L (cm)	b (mm)	t (mm)	W (gr)	A (mm <sup>2</sup> )	$\sigma_{ult.}$ (MPa)
I97	10,00	20,10	11,67	48,60	234,50	64
M98	10,00	20,23	10,67	51,40	215,82	56
S99	10,00	20,07	9,00	26,40	180,60	55
I100	10,00	20,07	12,33	44,70	247,49	44
M101	10,00	20,10	8,67	32,20	174,20	75
S102	10,00	20,13	9,67	23,70	194,62	62
I103	10,00	20,07	12,33	43,40	267,56	49
M104	10,00	20,03	9,00	31,20	180,30	72
S105	10,00	20,13	8,33	26,90	167,78	60
I106	10,00	20,02	13,67	64,60	273,56	44
M107	10,00	20,17	10,33	31,20	208,39	67
S108	10,00	20,03	8,33	25,20	166,94	66

**Tabla 19. Resultados finales, ensayo de tracción.**

Probeta	$\sigma_{ult.}$ (MPa)	C. Humedad C.H (%)	Densidad (Kg/m <sup>3</sup> )
I97	64	44,44	1155,32
I100	44	42,95	1034,50
I103	49	43,55	994,09
I106	44	44,89	1304,47
M98	56	39,30	1450,05
M101	75	34,78	1210,79
M104	72	41,67	1015,14
M107	67	41,67	976,86
S99	55	58,71	604,00
S102	62	57,43	518,86
S105	60	57,14	688,20
S108	66	60,87	590,95

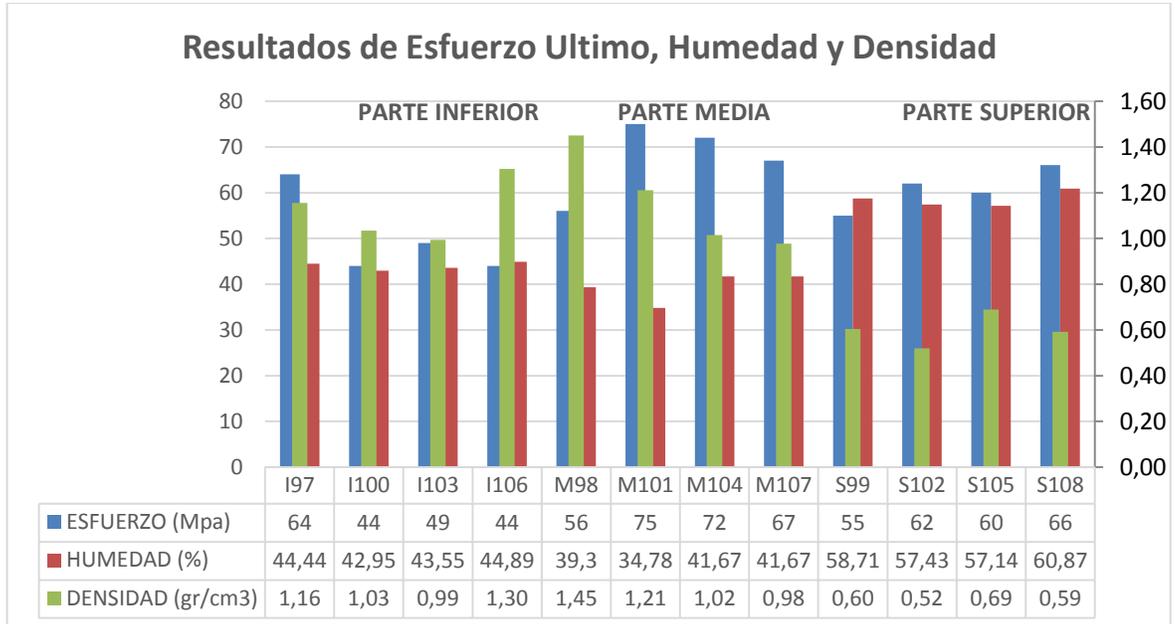
La tabla N°21, muestra los resultados finales por cada sección del culmo del ensayo a tracción, donde contiene el esfuerzo último, humedad y densidad de cada probeta.

Al realizar el ensayo de tracción sobre las probetas de guadua se obtuvo los resultados de esfuerzos últimos a tracción como: esfuerzo último máximo (75MPa), esfuerzo último mínimo (44MPa) y esfuerzo último promedio (59,5MPa).

El análisis estadístico realizado por el método del primer y tercer cuartil da los

siguientes datos de aceptación descartando los números atípicos: (Ver grafica 8)

**Límite superior:** 91,12 MPa  
**Límite Inferior:** 26,12 MPa  
**Promedio:** 59,5 MPa  
**Desviación Estándar:** 10,20  
**Coefficiente de variación:** 17,15%



**Gráfica 7. Resultados de esfuerzo último, densidad y humedad, por sección de culmos para el ensayo de tracción.**

En la gráfica N.8, muestra resultados de esfuerzo último sometido a tracción, humedad y densidad. Observando los resultados obtenidos tanto para esfuerzo ultimo como humedad y densidad, los valores varían a lo largo de la longitud de la guadua, no teniendo gran variación en cada sección del culmo.

**4.2.4 Flexión (guadua *angustifolia* variedad bicolor).** A continuación, se presentan la tabla que contienen los datos promedios iniciales de los resultados de flexión. (Ver anexo 11.) (Ver tabla 22-23).

**Tabla 20. . Datos promedios de las muestras para ensayo de flexión.**

Probeta	L	D	t	$\delta$	F	F	IB	$\sigma$ ult
	(mm)	(mm)	(mm)	mm	(Kg)	N	(mm <sup>4</sup> )	MPa
FI 109	3400	99,50	11,500	46	430	4214,0	3130119	37,95
FI 110	3300	98,50	11,50	38	390	3822,0	3025793	34,22
FI 111	3350	95,50	11,50	58	480	4704,0	2726850	45,99
FI 112	3200	96,50	12,50	62	600	5880,0	2973863	50,88
FI 113	2500	86,50	9,50	40	490	4802,0	1729090	50,05
FI 114	2450	92,50	8,50	29	410	4018,0	1998674	37,97
FI 115	2600	93,50	8,50	26	340	3332,0	2070418	32,60
FI 116	2450	88,50	10,50	30	460	4508,0	1992203	40,89
FI 117	1600	60,50	8,50	24	320	3136,0	481883	52,50
FI 118	1650	62,50	8,75	26	340	3332,0	547726	52,28
FI 119	1700	63,50	9,50	29	380	3724,0	605624	55,32
FI 120	1640	62,50	9,50	31	410	4018,0	573253	59,87

**Tabla 21. Resultados finales, ensayo de flexión.**

Probeta	$\sigma$ ult. (MPa)	C. Humedad C.H (%)	Densidad (gr/cm <sup>2</sup> )
FI 109	37,95	63,12	467,62
FI 110	34,22	51,58	472,93
FI 111	45,99	74,79	438,63
FI 112	50,88	60,96	388,25
FI 113	50,05	55,28	383,65
FI 114	37,97	56,12	560,05
FI 115	32,60	50,46	527,94
FI 116	40,89	64,15	292,05
FI 117	52,50	64,01	512,22
FI 118	52,28	62,74	446,15
FI 119	55,32	69,57	213,67
FI 120	59,87	66,62	208,99

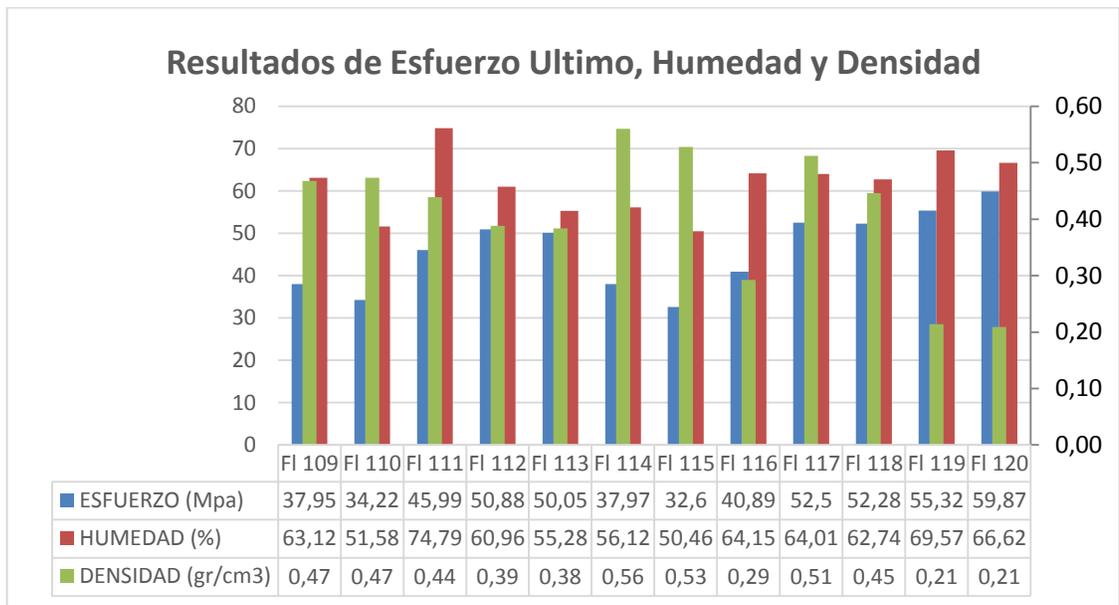
La tabla N°23, muestra los resultados finales por cada sección del culmo del ensayo a flexión, donde contiene el esfuerzo último, humedad y densidad de cada probeta.

Al realizar el ensayo de flexión sobre las probetas de guadua se obtuvo los resultados de esfuerzos últimos a flexión como: esfuerzo último máximo

(59,87MPa), esfuerzo último mínimo (32,60MPa) y esfuerzo último promedio (45,9MPa).

El análisis estadístico realizado por el método del primer y tercer cuartil da los siguientes datos de aceptación descartando los números atípicos: (Ver grafica 9)

**Límite superior:** 74,18 MPa  
**Límite Inferior:** 16,22 MPa  
**Promedio:** 45,88 MPa  
**Desviación Estándar:** 8,92  
**Coefficiente de variación:** 19,44%



**Gráfica 8. Resultados del esfuerzo último, densidad y humedad, por sección de culmo para el ensayo de flexión.**

En la gráfica N. 9, muestra resultados de esfuerzo último sometido a flexión, humedad y densidad. Observando los resultados obtenidos, los valores varían de acuerdo a la longitud del culmo tomado; donde las probetas de mayor longitud presentan esfuerzos más altos, debido a que hay menor separación de nudos.

**4.2.5 Humedad.** A continuación, se presentan las tablas que contienen los resultados del contenido de humedad, a las probetas utilizadas para el ensayo de compresión, corte paralelo a las fibras, tracción, flexión. (Ver Anexo 13.) (Ver tabla 24).

**Tabla 22. Resultados contenido de humedad.**

<b>CONTENIDO DE HUMEDAD (CH)</b>			
<b>ENSAYO</b>	<b>CH Máximo %</b>	<b>CH Mínimo %</b>	<b>CH Promedio %</b>
Compresión	63,99	41,24	52,62
Corte Paralelo a las fibras	55,68	34,22	44,95
Tracción paralelo a las fibras	60,87	34,78	47,83
Flexión	74,79	50,46	62,63

**4.2.6 Densidad.** A continuación, se presenta la tabla que contienen los resultados de densidad, para los ensayos de compresión, corte paralelo a las fibras.

**Tabla 23. Resultados finales del contenido de densidad.**

Probeta	Datos iniciales							Cálculos y expresión de resultados			ρ
	H	D	r1	D	r2	m (Húmedo)	mo	V1	V2	VT	
	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(gr)	(gr)	cm3	cm3	cm3	kg/m3
p121 S	9,90	4,47	2,24	3,58	1,79	118,60	42,60	155,28	99,46	55,82	763
p122 S	9,90	5,07	2,54	4,10	2,05	139,70	50,80	199,77	130,48	69,29	733
p123 S	9,95	4,63	2,31	3,81	1,90	109,00	40,80	167,26	113,08	54,17	753
p124 S	9,78	4,98	2,49	4,13	2,06	121,80	48,70	190,11	130,73	59,39	820

**Tabla 24. Resultados finales del contenido de densidad.**

Probeta	Datos iniciales							Cálculos y expresión de resultados			ρ
	H	D	r1	D	r2	m (Húmedo)	mo	V1	V2	VT	
	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(gr)	(gr)	cm3	cm3	cm3	Kg/m <sup>3</sup>
p125 M	10,13	8,67	4,34	7,22	3,61	224,30	148,30	597,80	414,32	183,47	808
p126 M	9,90	9,09	4,54	7,46	3,73	284,90	196,00	641,44	431,92	209,52	935
p127 M	9,88	6,26	3,13	5,30	2,65	139,00	70,80	303,53	217,75	85,78	825
p128 M	9,68	7,78	3,89	6,69	3,35	175,40	102,30	459,11	339,92	119,20	858

**Tabla 25. Resultados finales del contenido de densidad.**

Probeta	LECTURA INICIAL				LECTURA FINAL				CALCULO Y EXPRESIÓN DE RESULTADOS			
	H (I)	D (I)	d (I)	t (I)	H (F)	D (F)	d (F)	t (F)	H	D	d	t
	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	%	%	%	%
<b>I133</b>	9,82	7,85	7,12	0,72	9,77	7,75	7,10	0,64	0,51	1,27	0,28	11,03
<b>M134</b>	9,87	8,32	7,35	0,97	9,76	8,17	7,25	0,92	1,14	1,80	1,29	5,64
<b>S135</b>	9,90	4,62	3,92	0,70	9,85	4,60	3,92	0,68	0,43	0,49	0,06	2,86
<b>I136</b>	9,95	8,92	7,75	1,17	9,85	8,87	7,72	1,15	1,01	0,56	0,35	1,91
<b>M137</b>	9,92	8,70	7,68	1,02	9,82	8,52	7,61	0,91	1,01	2,10	0,88	11,22
<b>S138</b>	9,82	4,65	4,05	0,60	9,71	4,61	4,03	0,57	1,15	0,86	0,31	4,58
<b>I139</b>	9,95	8,90	7,85	1,05	9,85	8,80	7,80	1,00	1,01	1,12	0,64	4,76
<b>M140</b>	10,05	7,80	7,02	0,77	9,95	7,62	6,95	0,67	1,00	2,24	1,03	13,23
<b>S141</b>	9,80	4,20	3,50	0,70	9,76	4,10	3,50	0,60	0,38	2,38	0,00	14,29
<b>I142</b>	9,95	9,85	8,77	1,07	9,9	9,75	8,71	1,04	0,50	1,02	0,74	3,26
<b>M143</b>	9,92	6,65	5,92	0,72	9,7	6,47	5,85	0,62	2,02	2,63	1,27	13,79
<b>S144</b>	9,97	4,32	3,72	0,60	9,82	4,20	3,61	0,58	1,50	2,89	3,02	2,08

**4.2.7 Contracción.** A continuación, se presenta la tabla que contienen los resultados promedios de contracción, para los ensayos de compresión, corte paralelo a las fibras, tracción, flexión. (Ver Anexo 12.). (Ver tabla 28)

**Tabla 26. Resultados del ensayo de contracción.**

Probeta	Datos iniciales						Cálculos y expresión de resultados				ρ
	H	D	r1	D	r2	m (Húmedo)	mo	V1	V2	VT	
	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(gr)	(gr)	cm3	cm3	cm3	
<b>p129 I</b>	9,90	10,47	5,24	8,45	4,23	420,00	204,80	851,92	554,90	297,01	690
<b>p130 I</b>	9,83	11,13	5,56	9,01	4,51	492,50	225,30	954,56	626,46	328,10	687
<b>p131 I</b>	10,00	11,16	5,58	9,52	4,76	319,70	171,90	978,12	711,08	267,05	644
<b>p132 I</b>	10,18	8,74	4,37	6,94	3,47	419,20	152,00	610,14	384,42	225,71	673

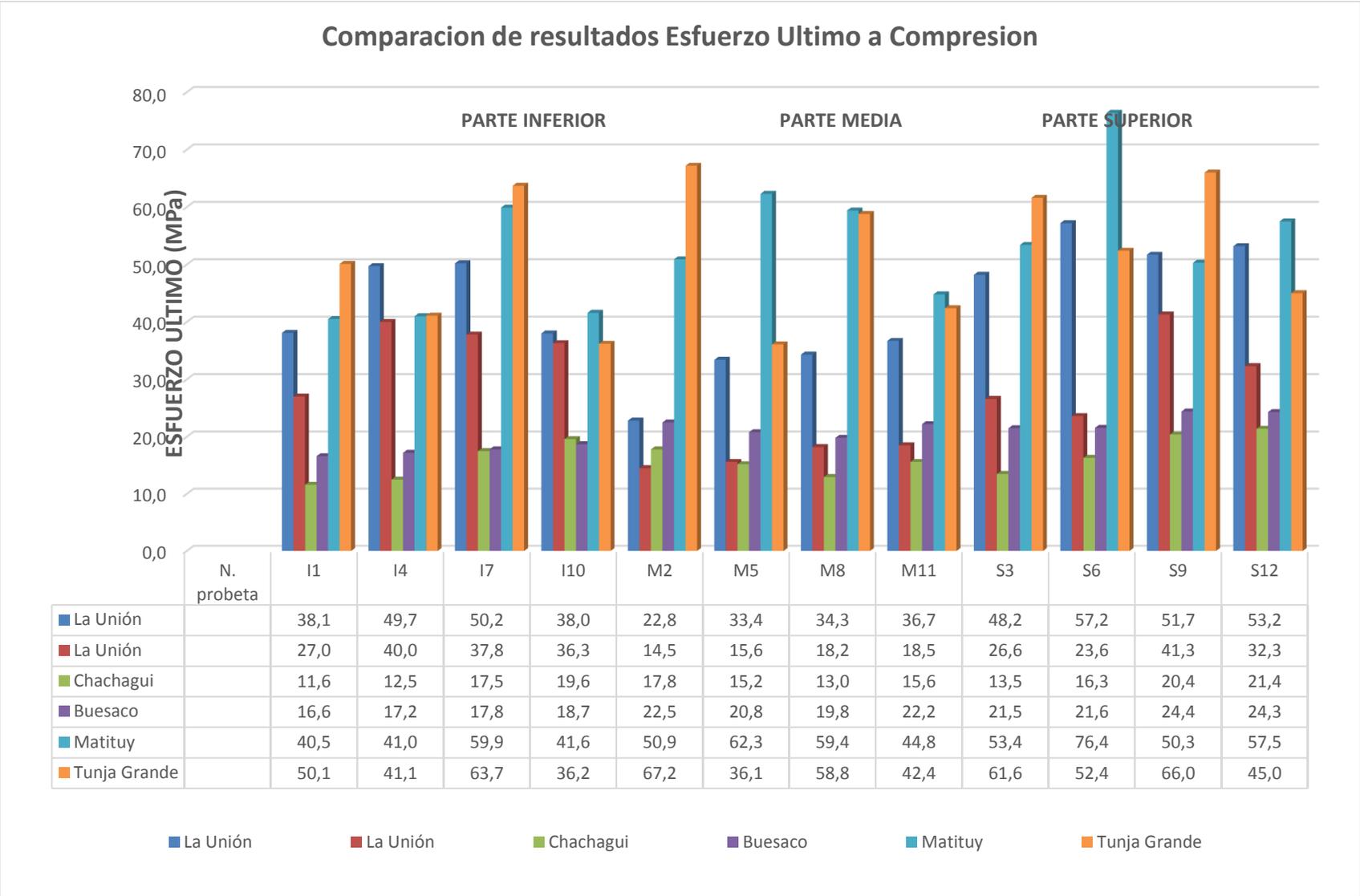
#### **4.3 COMPARACION DE RESULTADOS DE ESFUERZOS ULTIMOS, HUMEDAD Y DENSIDAD DE LOS DIFERENTES MUNICIPIOS DE NARIÑO.**

**4.3.1 Ensayo de compresion.** Según investigaciones realizadas por otras universidades en Nariño el esfuerzo último de probetas sometidas a compresión se consiguen en la siguiente tabla N. 29.

**Tabla 27. Comparación resultados del esfuerzo último a compresión de diferentes municipios de Nariño.**

Autores	Nataly Bolaños - Damaris Bastidas / 2016		Fernando Ayala – Jorge Luis Cadena / 2011		Gildardo Bolaños Bolaños / 2012	
Lugar	La Unión	La Unión	Chachagui	Buesaco	Matituy	Tunja Grande
Variedad	Angustifolia Kunth	Angustifolia variedad Bicolor	Angustifolia Kunth	Angustifolia Kunth	Angustifolia Kunth	Angustifolia Kunth
N. probeta						
I1	38,1	27,0	11,6	16,6	40,5	50,1
I4	49,7	40,0	12,5	17,2	41,0	41,1
I7	50,2	37,8	17,5	17,8	59,9	63,7
I10	38,0	36,3	19,6	18,7	41,6	36,2
M2	22,8	14,5	17,8	22,5	50,9	67,2
M5	33,4	15,6	15,2	20,8	62,3	36,1
M8	34,3	18,2	13,0	19,8	59,4	58,8
M11	36,7	18,5	15,6	22,2	44,8	42,4
S3	48,2	26,6	13,5	21,5	53,4	61,6
S6	57,2	23,6	16,3	21,6	76,4	52,4
S9	51,7	41,3	20,4	24,4	50,3	66,0
S12	53,2	32,3	21,4	24,3	57,5	45,0
<b>Promedio</b>	<b>42,79</b>	<b>27,64</b>	<b>16,20</b>	<b>20,62</b>	<b>53,17</b>	<b>51,72</b>

A continuación, se representa gráficamente los datos consignados en la Tabla N°30.

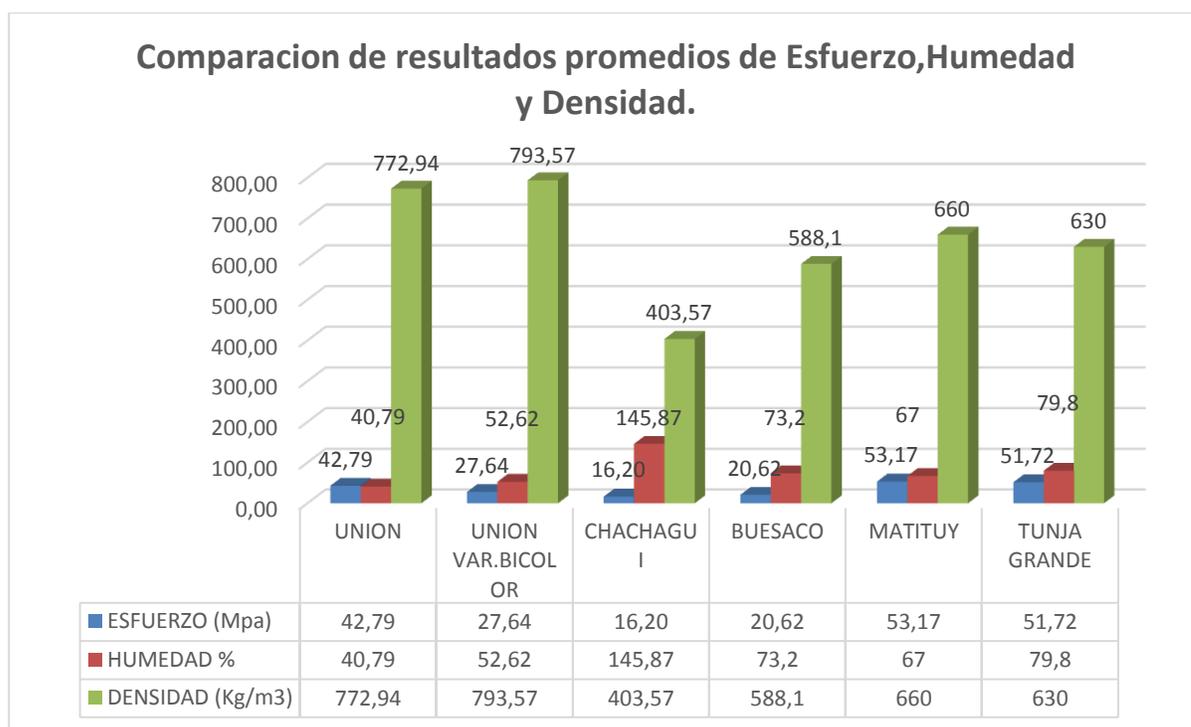


**Gráfica 9. Comparación resultados esfuerzo último sometida a compresión de diferentes municipios.**

**Tabla 28. Resultados promedios de esfuerzo, humedad y densidad, de diferentes investigaciones de Nariño.**

ENSAYO DE COMPRESIÓN						
LUGAR	UNION	UNION VAR.BICOLOR	CHACHAGUI	BUESACO	MATITU Y	TUNJA GRANDE
ESFUERZO (MPa)	42,79	27,64	16,20	20,62	53,17	51,72
HUMEDAD %	40,79	52,62	145,87	73,2	67	79,8
DENSIDAD (Kg/m3)	772,94	793,57	403,57	588,1	660	630

En la tabla N. 30, se observa los resultados promedios de esfuerzos últimos, humedad y densidad para cada municipio del departamento de Nariño. Donde la guadua del corregimiento de Matituy presenta un mayor comportamiento a la resistencia con un promedio de 53,17MPa y el municipio de Chachagui presenta un menor comportamiento con un promedio de 16,20MPa comparado con las demás investigaciones realizadas; La tabla evidencia los resultados de densidad donde el municipio de Chachagui con un promedio de 403,57 Kg/m3 y Buesaco 588,1 Kg/m3, la cual es un poco menor a la estipulada en la norma NSR-10 de 800 Kg/m3; nos muestra también los resultados del contenido de humedad especificando el promedio de este, se logra evidenciar que en general tienen una diferencias entre los resultados donde el municipio de Chachagui presenta un promedio mayor de 145,87% comparado con las demás investigaciones.



**Gráfica 10. Comparación de resultados promedios de esfuerzo, humedad y densidad, de diferentes investigaciones de Nariño.**

En la Gráfica N°11, se ilustra en forma de barras y se puede observar fácilmente las diferencias entre los resultados promedios esfuerzos últimos sometidos a compresión, humedad y densidad de las investigaciones hechas en el departamento.

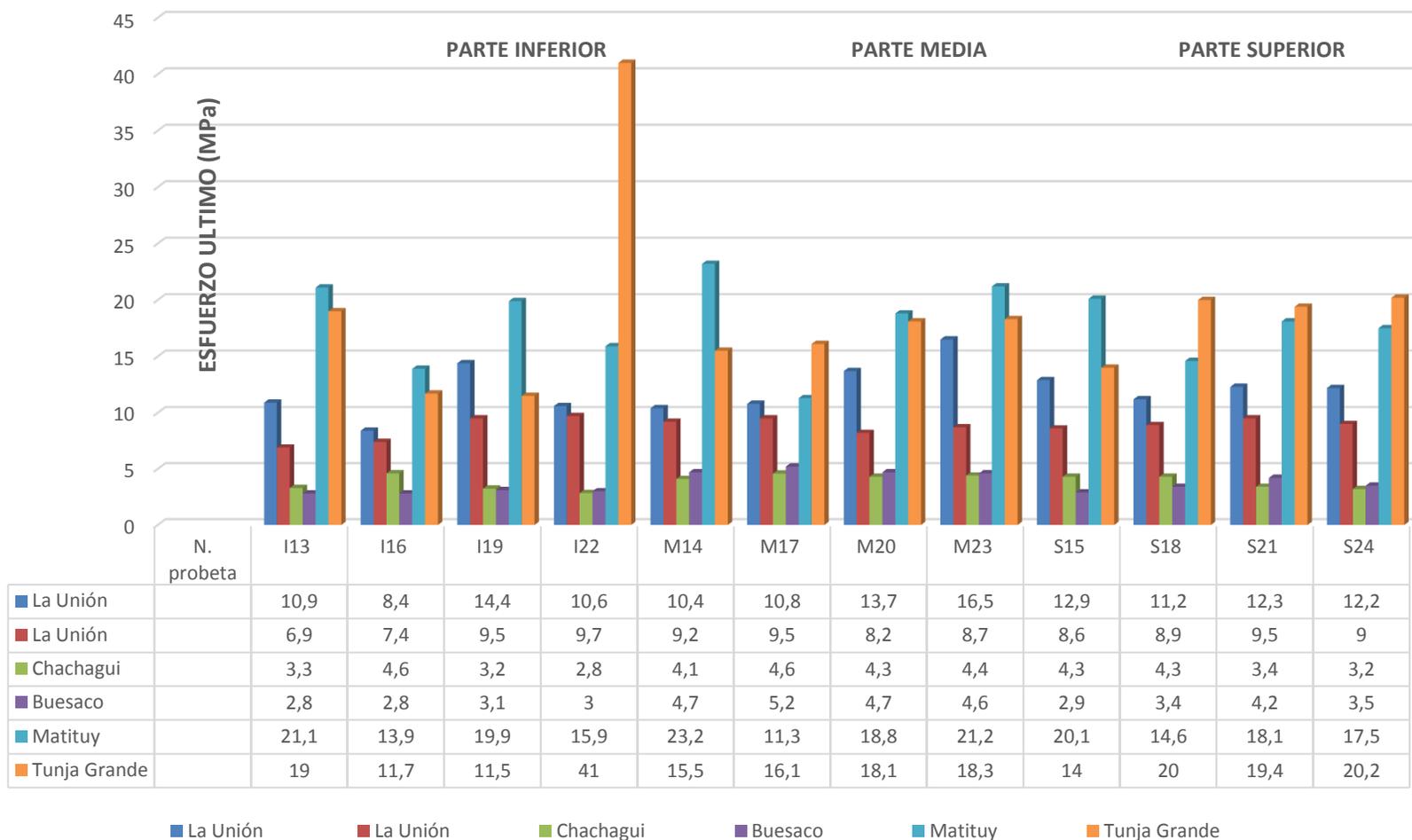
**4.3.2 Ensayo de corte paralelo a las fibras.** Según investigaciones realizadas por otras universidades en Nariño el esfuerzo último de probetas sometidas a compresión se consignan en la tabla N.31.

**Tabla 29. Comparación resultados del esfuerzo último a corte paralelo a las fibras de diferentes municipios de Nariño.**

Esfuerzo último de corte paralelo a las fibras (MPa).	Autores	Nataly Bolaños - Damaris Bastidas / 2016		Fernando Ayala – Jorge Luis Cadena / 2011		Gildardo Bolaños Bolaños / 2012	
	Lugar	La Unión	La Unión	Chachagui	Buesaco	Matituy	Tunja Grande
	Variedad N. probeta	Angustifolia Kunth	Angustifolia variedad Bicolor	Angustifolia Kunth	Angustifolia Kunth	Angustifolia Kunth	Angustifolia Kunth
I13	10,9	6,9	3,3	2,8	21,1	19	
I16	8,4	7,4	4,6	2,8	13,9	11,7	
I19	14,4	9,5	3,2	3,1	19,9	11,5	
I22	10,6	9,7	2,8	3	15,9	41	
M14	10,4	9,2	4,1	4,7	23,2	15,5	
M17	10,8	9,5	4,6	5,2	11,3	16,1	
M20	13,7	8,2	4,3	4,7	18,8	18,1	
M23	16,5	8,7	4,4	4,6	21,2	18,3	
S15	12,9	8,6	4,3	2,9	20,1	14	
S18	11,2	8,9	4,3	3,4	14,6	20	
S21	12,3	9,5	3,4	4,2	18,1	19,4	
S24	12,2	9	3,2	3,5	17,5	20,2	
<b>Promedio</b>	<b>12,03</b>	<b>8,76</b>	<b>3,87</b>	<b>3,73</b>	<b>15,65</b>	<b>17,97</b>	

A continuación, se representa gráficamente los datos consignados en la Tabla N° 32.

### Comparacion de resultados de Esfuerzo Ultimo a Corte Paralelo a las Fibras

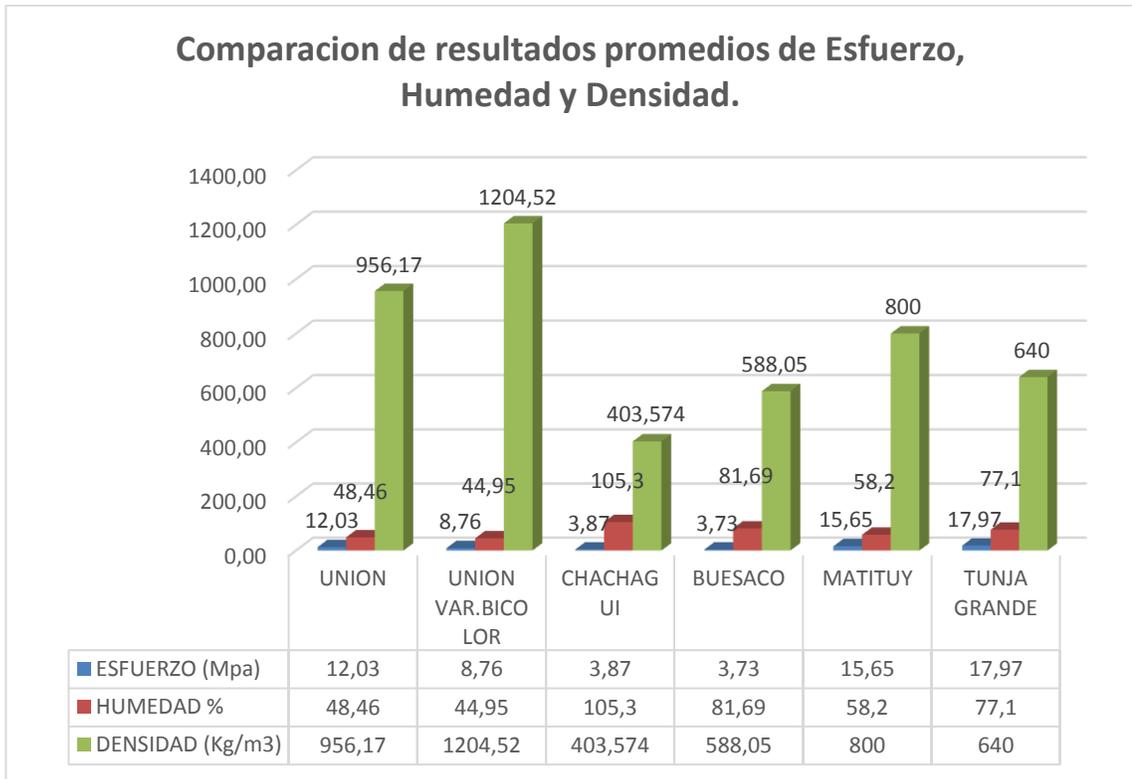


**Gráfica 11. Comparación resultados ensayo corte paralelo a las fibras de diferentes municipios.**

**Tabla 30. Resultados promedios de esfuerzo, humedad y densidad, de diferentes investigaciones de Nariño**

ENSAYO DE CORTE PARALELO A LAS FIBRAS						
LUGAR	UNION	UNION VAR.BICOLOR	CHACHAGUI	BUESACO	MATITUY	TUNJA GRANDE
ESFUERZO (Mpa)	12,03	8,76	3,87	3,73	15,65	17,97
HUMEDAD %	48,46	44,95	105,3	81,69	58,2	77,1
DENSIDAD (Kg/m <sup>3</sup> )	956,17	1204,52	403,574	588,05	800	640

En la tabla N.32, se observa los resultados promedios de esfuerzos últimos, humedad y densidad para cada municipio del departamento de Nariño. Donde la guadua del corregimiento de Tunja Grande presenta un mayor comportamiento a la resistencia con un promedio de 17,97MPa; y el municipio de Buesaco presenta un menor comportamiento con un promedio de 3,73MPa comparado con las demás investigaciones realizadas; La tabla evidencia los resultados de densidad donde el municipio de Chachagui con un promedio de 403,57 Kg/m<sup>3</sup>, Buesaco 588,1 Kg/m<sup>3</sup> y Tunja Grande 640 Kg/m<sup>3</sup>, presentan valores menores a lo estipulado en la norma NSR-10 de 800 Kg/m<sup>3</sup>; nos muestra también los resultados del contenido de humedad especificando el promedio de este, se logra evidenciar que en general tienen una diferencias entre los resultados donde el municipio de Chachagui presenta un promedio mayor de 105,3% comparado con las demás investigaciones.



**Gráfica 12. Comparación de resultados de promedios de esfuerzo, humedad y densidad de diferentes investigaciones de Nariño.**

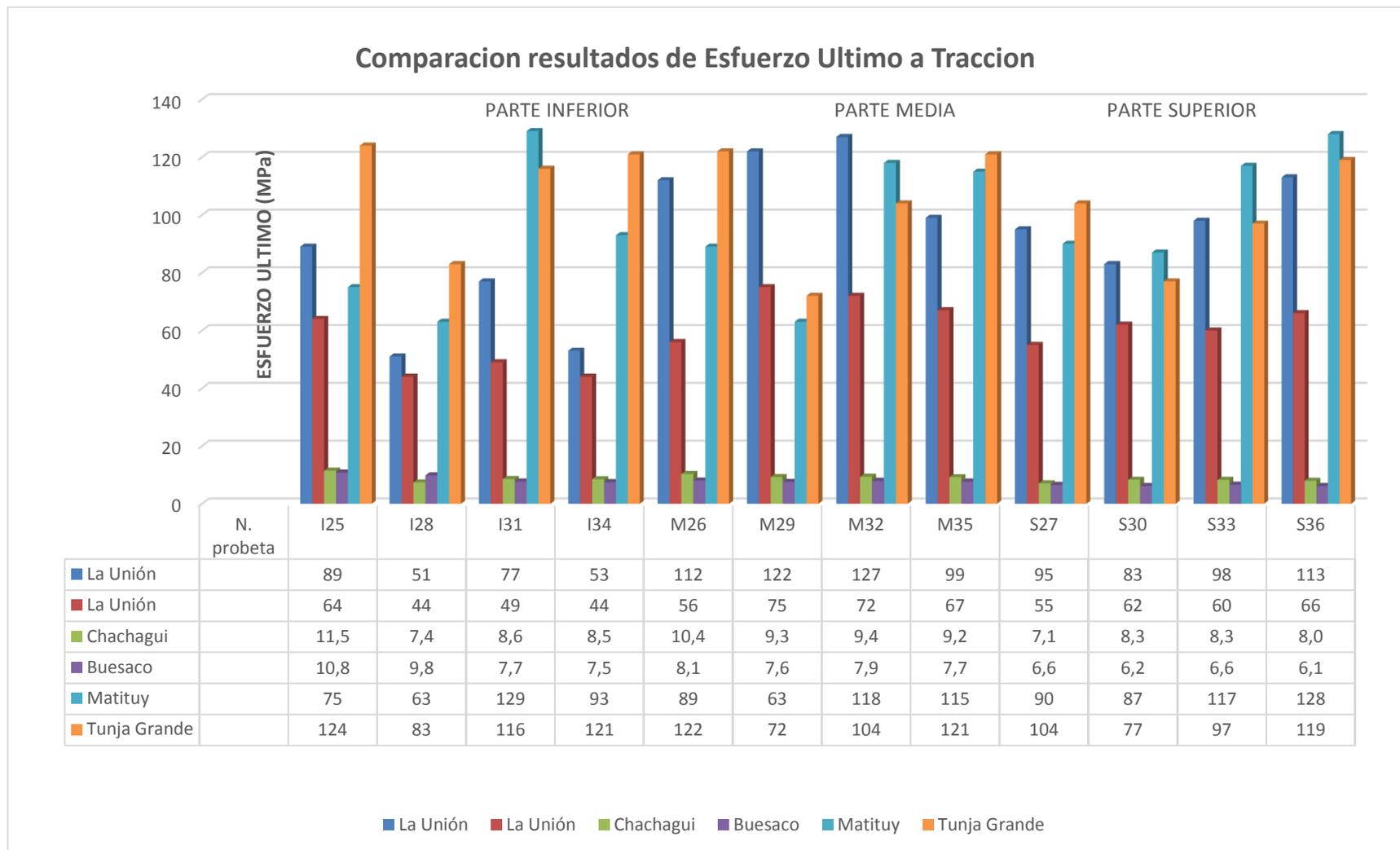
En la Grafica N°13, se ilustra en forma de barras donde y se observa fácilmente las diferencias entre los resultados promedios de esfuerzos últimos sometidos a corte paralelo a las fibras, humedad y densidad de las investigaciones hechas en el departamento.

**4.3.3 Ensayo de tracción.** Según investigaciones realizadas por otras universidades en Nariño el esfuerzo último de probetas sometidas a compresión se consigian en la siguiente tabla.

**Tabla 31. Comparación resultados del esfuerzo último a tracción de diferentes municipios de Nariño.**

Esfuerzo último a Tracción en MPa.	Autores	Nataly Bolaños - Damaris Bastidas / 2016		Fernando Ayala – Jorge Luis Cadena / 2011		Gildardo Bolaños Bolaños / 2012	
	Lugar	La Unión	La Unión	Chachagui	Buesaco	Matituy	Tunja Grande
	Variedad	Angustifolia Kunth	Angustifolia variedad Bicolor	Angustifolia Kunth	Angustifolia Kunth	Angustifolia Kunth	Angustifolia Kunth
	N. probeta						
	I25	89	64	11,5	10,8	75	124
	I28	51	44	7,4	9,8	63	83
	I31	77	49	8,6	7,7	129	116
	I34	53	44	8,5	7,5	93	121
	M26	112	56	10,4	8,1	89	122
	M29	122	75	9,3	7,6	63	72
	M32	127	72	9,4	7,9	118	104
	M35	99	67	9,2	7,7	115	121
	S27	95	55	7,1	6,6	90	104
	S30	83	62	8,3	6,2	87	77
	S33	98	60	8,3	6,6	117	97
	S36	113	66	8,0	6,1	128	119
	<b>Promedio</b>	<b>93,3</b>	<b>59,5</b>	<b>8,8</b>	<b>7,7</b>	<b>97,3</b>	<b>105</b>

A continuación, se representa gráficamente los datos consignados en la Tabla N°34

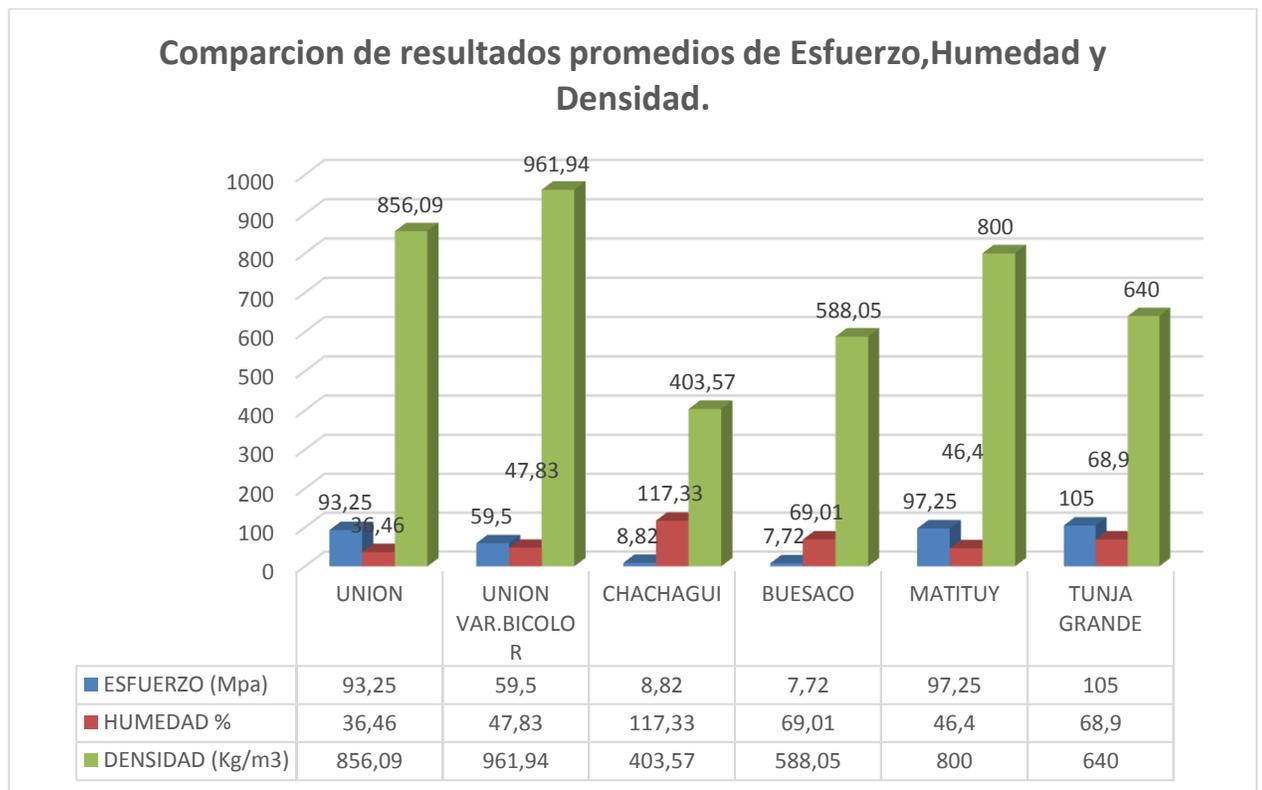


**Gráfica 13. Comparación resultados ensayo de tracción de diferentes municipios**

En la Gráfica N°14, se ilustra en forma de barras donde se evidencian los resultados de esfuerzo respecto al área de contacto de todas las probetas ensayadas, especificando la zona del culmo. Se observa que el factor predominante para las resistencias a tensión es el área de cada espécimen, ya que a medida que disminuye el área de contacto incrementa el esfuerzo de tensión.

**Tabla 32. Resultados promedios de esfuerzo, humedad y densidad de diferentes investigaciones de Nariño.**

ENSAYO DE TRACCION						
LUGAR	UNION	UNION VAR.BICOLOR	CHACHAGUI	BUESACO	MATITUY	TUNJA GRANDE
ESFUERZO (Mpa)	93,25	59,5	8,82	7,72	97,25	105
HUMEDAD %	36,46	47,83	117,33	69,01	46,4	68,9
DENSIDAD (Kg/m3)	856,09	961,94	403,57	588,05	800	640



**Gráfica 14. Comparación de resultados promedios de esfuerzo, humedad y densidad, de diferentes investigaciones de Nariño.**

En la Gráfica N°13, se ilustra en forma de barras donde y se observa fácilmente las diferencias entre los resultados promedios de esfuerzos últimos sometidos a corte paralelo a las fibras, humedad y densidad de las investigaciones hechas en el departamento.

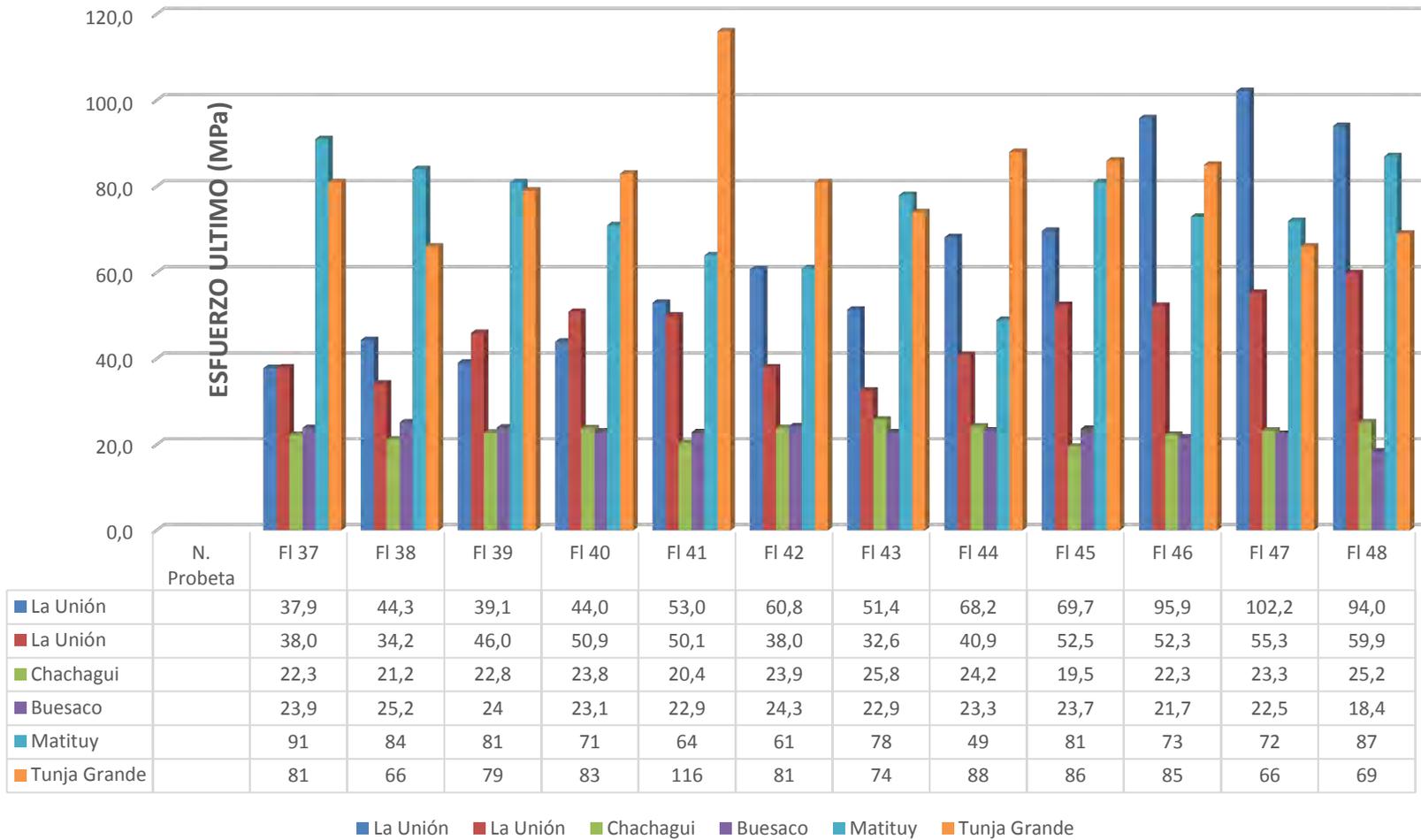
**4.3.4 Ensayo de flexión.** Según investigaciones realizadas por otras universidades en Nariño el esfuerzo último de probetas sometidas a compresión se consiguen en la siguiente tabla:

**Tabla 33. Comparación resultados del esfuerzo último a flexión de diferentes municipios de Nariño.**

Resistencia última a flexión en MPa.	Autores	Nataly Bolaños - Damaris Bastidas / 2016		Fernando Ayala – Jorge Luis Cadena / 2011		Gildardo Bolaños Bolaños / 2012	
	Lugar	La Unión	La Unión	Chachagui	Buesaco	Matituy	Tunja Grande
	Variedad	Angustifolia Kunth	Angustifolia variedad Bicolor	Angustifolia Kunth	Angustifolia Kunth	Angustifolia Kunth	Angustifolia Kunth
	N. Probeta						
	FI 37	37,9	38,0	22,3	23,9	91	81
	FI 38	44,3	34,2	21,2	25,2	84	66
	FI 39	39,1	46,0	22,8	24	81	79
	FI 40	44,0	50,9	23,8	23,1	71	83
	FI 41	53,0	50,1	20,4	22,9	64	116
	FI 42	60,8	38,0	23,9	24,3	61	81
	FI 43	51,4	32,6	25,8	22,9	78	74
	FI 44	68,2	40,9	24,2	23,3	49	88
	FI 45	69,7	52,5	19,5	23,7	81	86
	FI 46	95,9	52,3	22,3	21,7	73	85
	FI 47	102,2	55,3	23,3	22,5	72	66
	FI 48	94,0	59,9	25,2	18,4	87	69
	<b>Promedio</b>	<b>63,4</b>	<b>45,9</b>	<b>22,89</b>	<b>22,99</b>	<b>74,3</b>	<b>81,2</b>

A continuación, se representa gráficamente los datos consignados en la Tabla N° 36.

Comparacion de resultados Esfuerzo Ultimo a Flexion



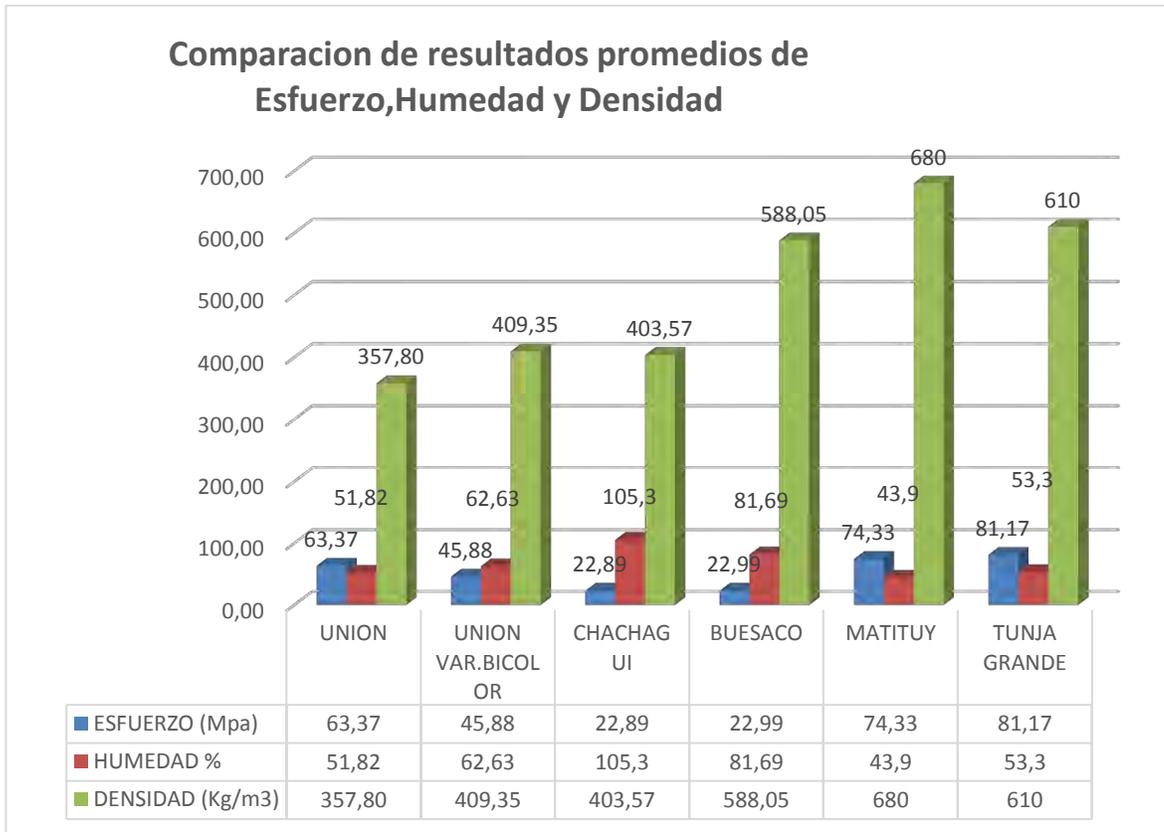
Gráfica 15. Comparación resultados ensayo de flexión de diferentes municipios.

En la Gráfica N°15, se ilustra en forma de barras el resumen de resultados de esfuerzos últimos, donde se observa la tendencia que tiene la resistencia de los culmo de guadua a flexión a medida que disminuye el área, se muestra además que al igual que en los anteriores ensayos.

**Tabla 34. Resultados promedios de esfuerzo, humedad y densidad de diferentes investigaciones de Nariño.**

ENSAYO DE FLEXIÓN						
LUGAR	UNION	UNION VAR.BICOLOR	CHACHAGUI	BUESACO	MATITUY	TUNJA GRANDE
ESFUERZO (Mpa)	63,37	45,88	22,89	22,99	74,33	81,17
HUMEDAD %	51,82	62,63	105,3	81,69	43,9	53,3
DENSIDAD (Kg/m3)	357,80	409,35	403,57	588,05	680	610

En la tabla N. 36 se observa los resultados promedios de esfuerzos últimos, humedad y densidad para cada municipio del departamento de Nariño. Donde la guadua del corregimiento de Tunja Grande presenta un mayor comportamiento a la resistencia con un promedio de 81,17MPa; y el municipio de Chachagui presenta un menor comportamiento con un promedio de 22,89MPa comparado con las demás investigaciones realizadas; La tabla evidencia los resultados de densidad, donde los municipios del departamento de Nariño presentan valores menores a la estipulada en la norma NSR-10 de 800 Kg/m<sup>3</sup>; nos muestra también los resultados del contenido de humedad especificando el promedio de este, se logra evidenciar que en general tienen una diferencias entre los resultados donde el municipio de Chachagui presenta un promedio mayor de 105,3% comparado con las demás investigaciones.



**Gráfica 16. Comparación de resultados promedios de Esfuerzo, Humedad y densidad, de diferentes investigaciones de Nariño.**

En la Grafica N°13, se ilustra en forma de barras donde y se observa fácilmente las diferencias entre los resultados promedios de esfuerzos últimos sometidos a corte paralelo a las fibras, humedad y densidad de las investigaciones hechas en nuestro departamento.

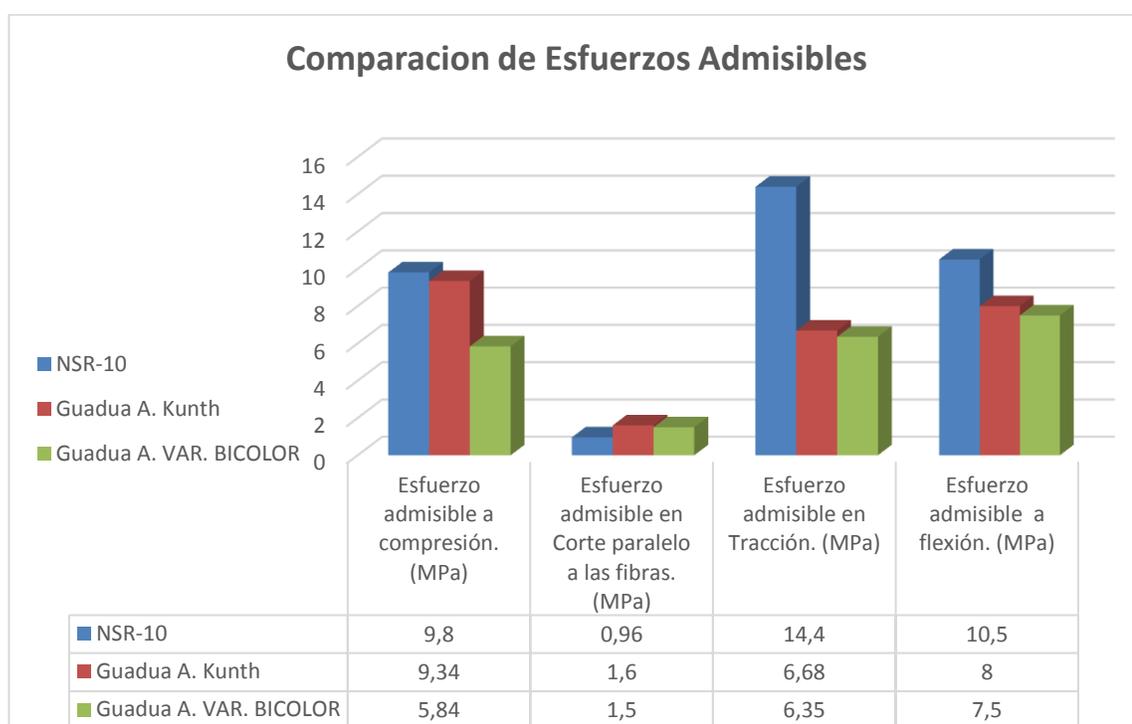
#### 4.4 CALCULO ESFUERZOS ADMISIBLES

El cálculo de los valores de los factores de reducción puede consultarse en el numeral 2.4.5 de la presente investigación. (Ver Tabla N° 1).

La Tabla N° 39, contiene una comparación entre los valores de esfuerzos admisibles recomendados por la NSR-10 y los obtenidos por esta investigación. Es importante anotar que para obtener los valores de esfuerzo admisible con los datos de la investigación, se siguieron los mismos criterios que utiliza la NSR-10 para obtener los suyos. (Ver numeral 2.4.5) (Ver Anexo 15).

**Tabla 35. Comparación de resultados de esfuerzos admisibles.**

Tipo de Guadua		Guadua A. Kunth	Guadua A. var. Bicolor
Esfuerzo admisible a compresión. (MPa)	<b>NSR-10</b>	9,8	9,8
	<b>INVESTIGACIÓN</b>	9,34	5,84
Esfuerzo admisible en Corte paralelo a las fibras. (MPa)	<b>NSR-10</b>	0,96	0,96
	<b>INVESTIGACIÓN</b>	1,6	1,5
Esfuerzo admisible en Tracción (MPa)	<b>NSR-10</b>	14,4	14,4
	<b>INVESTIGACIÓN</b>	6,68	6,35
Esfuerzo admisible a flexión. (MPa)	<b>NSR-10</b>	10,5	10,5
	<b>INVESTIGACIÓN</b>	8,0	7,5



**Gráfica 17. Comparación de resultados de esfuerzos admisibles**

## 5. CONCLUSIONES

Los resultados de este trabajo representan una base para futuras investigaciones para generar mayor información sobre las características de los bambúes, especialmente para su uso en la construcción.

Al comparar los resultados obtenidos en los ensayos mecánicos de cada una de las probetas de los dos tipos de guadua con los resultados obtenidos en otras investigaciones, se concluye que sus resultados no son superiores a los encontrados en el departamento, sin embargo, no se puede menos preciar este material como elemento constructivo.

El esfuerzo admisible en los ensayos de Tracción para la Guadua Angustifolia Kunth es de 6,68 MPa y para la angustifolia variedad bicolor es de 6,35 MPa. A partir de estos datos, se concluye que estos dos tipos de guadua al ser comparados con los de la Norma sismo-resistente NSR-10 la cual contempla un valor de 14,4 MPa, NO pueden ser utilizados en la construcción de cerchas.

El esfuerzo admisible en los ensayos de corte paralelo a las fibras de la guadua angustifolia kunth es de 1,6 MPa y para la angustifolia variedad bicolor es de 1,5 MPa. Estos resultados permiten concluir, que los valores obtenidos en las diferentes probetas del ensayo de corte, son casi similares, se encuentran sobre el rango contemplado en la Norma NSR-10 el cual es de 0,96 MPa, lo que demuestra que este material SI puede ser utilizado como elemento de construcción. Los resultados del esfuerzo admisible para el ensayo de flexión de la Guadua Angustifolia Kunth es de 8,0 MPa y para la Guadua Angustifolia variedad bicolor es de 7,5 MPa; A partir de esto se concluye que los valores de los dos tipos de Guadua NO se encuentran sobre el rango contemplado en la Norma NSR-10 el cual es de 10,5 MPa, estableciendo así, que la guadua no se puede utilizar como elemento de construcción, en este caso como viga.

Los resultados del esfuerzo admisible para el ensayo de compresión de Guadua Angustifolia Kunth, es: 9,34 MPa y para la Guadua Angustifolia variedad bicolor es de 5,84 MPa; De esta manera, se concluye, que los dos tipos de guadua NO cumplen con la norma sismo-resistente NSR-10 para elementos solicitados a compresión la cual contempla un valor de 9,34 Mpa. En el análisis estadístico ANOVA (Analysis of variance), se compararon las medias, la desviación estándar, coeficiente de variación y se obtuvo como resultado final que el Valor de "P" siempre fue menor de 0,05, lo que indica que existe una diferencia significativa entre las medias de cada uno de los ensayos con un nivel de confianza del 95%. El análisis se realizó con ayuda del software STATGRAPHICS CENTURIÓN XVI.

## **6. RECOMENDACIONES**

Realizar los ensayos a cada probeta obtenida de las muestras de guadua en el tiempo establecido para así obtener mejores resultados.

Realizar el ensayo de contenido de humedad Inmediatamente después de cada ensayo mecánico, debido a que las muestras pierden contenido de agua con el transcurrir del tiempo.

Trazar programas orientados hacia la educación en la construcción de viviendas en zonas vulnerables usando la guadua debido a que ha sido catalogada por la ONU como el material para la construcción del milenio.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CELY Moreno, Luis Alfredo; HERNÁNDEZ Rojas, Wilmar Geovany; GUTIÉRREZ Junco, Oscar Javier. Caracterización de la Guadua Angustifolia Kunth cultivada en Miraflores (Boyacá) de acuerdo con la NSR-10 Facultad de Ingeniería, vol. 21, núm. 33, julio-diciembre, 2012, pp. 53-71 Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia Tunja, Colombia. Disponible en: <http://www.redalyc.org/pdf/4139/413940772006.pdf>

CIRO Velásquez, Héctor José; OSORIO Saraz, Jairo Alexander y VÉLEZ Restrepo, Juan Manuel. DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA MECÁNICA A TENSIÓN Y CIZALLADURA DE LA Guadua angustifolia KUNTH. 2005, p, 2710. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/rfnam/v58n1/a10v58n1.pdf>

GILDARDO BOLAÑOS. Evaluación de las propiedades físico – mecánicas para el manejo en la construcción de la guadua (angustifolia kunth) de los corregimientos de Matituy y Tunja grande municipio de la Florida (Nariño).

GONZÁLEZ, Ávila Juan Carlos. Determinación de la Resistencia a Compresión Paralela a la Fibra de la Guadua (Angustifolia Kunth) en Función del Contenido de Humedad, 2012, p, 15. Disponible en: [http://www.usmp.edu.pe/centro\\_bambu\\_peru/pdf/DETERMINACION\\_RESISTENCIA\\_COMPRESION\\_PARALELA\\_FIBRA\\_GUADUA\\_ANGUSTIFOLIA\\_KUNTH.pdf](http://www.usmp.edu.pe/centro_bambu_peru/pdf/DETERMINACION_RESISTENCIA_COMPRESION_PARALELA_FIBRA_GUADUA_ANGUSTIFOLIA_KUNTH.pdf)

NORMA SISMORESISTENTE. Estructuras de madera y estructuras de guadua. NSR-10. Capítulo G.

NORMA TÉCNICA COLOMBIANA. Métodos de ensayo para determinar las propiedades físicas y mecánicas de la Guadua Angustifolia Kunth. NTC 5525. 2007. 80 p.

NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 5300. Cosecha y postcosecha de culmo de guadua angustifolia Kunth, Bogotá 2010.

PANTOJA Trujillo, Nelson Hernando; ACUÑA Jiménez, Diego Fernando. Resistencia al Corte Paralelo A la Fibra de la Guadua Angustifolia. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ingeniería. Departamento de Ingeniería Civil y agrícola unidad de estructuras Bogotá D.C. 2005. Disponible en: [http://www.usmp.edu.pe/centro\\_bambu\\_peru/pdf/Resistencia\\_corte\\_paralelo\\_fibra.pdf](http://www.usmp.edu.pe/centro_bambu_peru/pdf/Resistencia_corte_paralelo_fibra.pdf)