

**UNIVERSIDAD PRIVADA ANTENOR ORREGO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y MECÁNICAS DEL BAMBÚ  
PARA FINES ESTRUCTURALES.**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL.**

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:** Estructuras.

**AUTORES** : Br. CARPIO GALVEZ, Pablo André.  
Br. VÁSQUEZ SALAS, Juan André.

**ASESOR** : Ms. DURAND ORELLANA, Rocío Del Pilar.

**TRUJILLO – PERÚ**

**2016**

# **CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y MECÁNICAS DEL BAMBÚ PARA FINES ESTRUCTURALES**

Autores:

Br. CARPIO GALVEZ, Pablo André.

Br. VÁSQUEZ SALAS, Juan André

Jurado Evaluador:

-----  
Ing. ROLANDO OCHOA ZEVALLOS  
PRESIDENTE

-----  
Ing. VICTOR MORAN GUERRERO  
SECRETARIO

-----  
Ing. WILLIAM CONRAD GALICIA GUARNIZ  
VOCAL

## ÍNDICE

ÍNDICE .....	ii
ÍNDICE DE TABLAS.....	v
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	vii
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES .....	ix
DEDICATORIA.....	1
AGRADECIMIENTO.....	3
RESUMEN .....	5
ABSTRACT .....	6
INTRODUCCIÓN .....	7
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	8
ENUNCIADO DEL PROBLEMA .....	9
JUSTIFICACIÓN .....	10
MARCO TEÓRICO.....	13
Antecedentes de la investigación.....	13
Fundamentación Teórica .....	16
OBJETIVOS .....	18
Objetivo General .....	18
Objetivos Específicos.....	18
MATERIALES Y MÉTODO.....	19
Métodos, técnicas e instrumentos utilizados.....	19
Material y proceso.....	19
CAPÍTULO I: EL BAMBÚ .....	22
1.1. CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA.....	23
1.2. CULTIVO Y MANEJO DEL BAMBU .....	25
1.2.1. Propagación y siembra .....	25
1.2.2. Limpieza .....	26
1.2.3. Fertilización.....	26
1.2.4. Recolección del bambú .....	26
1.2.5. Etapas de desarrollo del bambú .....	26

1.2.6.	Corte del bambú .....	27
1.2.7.	Curado y protección del bambú .....	28
1.2.8.	Plagas y enfermedades .....	30
1.3.	Ventajas y desventajas de usar el bambú .....	30
1.3.1.	Ventajas.....	30
1.3.2.	Desventajas .....	31
1.4.	Normativas existentes a nivel nacional e internacional .....	32
1.4.1.	Normativa en el Perú .....	32
1.4.2.	Norma Técnica Colombiana (NTC).....	32
1.4.3.	Norma Ecuatoriana.....	32
1.5.	Productos derivados del bambú .....	33
1.5.1	Esterilla .....	33
1.5.2	Latas o latillas .....	33
1.5.3	Laminados .....	33
1.6.	Recolección de muestras .....	34
1.6.1	Proceso de codificación .....	34
<b>CAPÍTULO II: ENSAYOS PARA DETERMINAR LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DEL BAMBÚ.</b> .....		40
2.1.	Ensayos para determinar las propiedades físicas.....	41
2.1.1.	Contenido de Humedad. (NTP 251.010:2004 - NTC 5525) .....	41
2.1.2.	Contracción (NTP 251.012:2004 - NTC 5525).....	43
2.2.	Ensayos para determinar las propiedades mecánicas.....	48
2.2.1.	Compresión paralela a la fibra. (NTP 251.014:2004 - NTC 5525) ...	49
2.2.2.	Corte. (NTP 251.013:2004 - NTC 5525) .....	51
2.2.3	Flexión estática. (NTP 251.017:2004 - NTC 5525) .....	54
2.2.4	Tracción. (NTP 251.018:2004 - NTC 5525) .....	57
<b>CAPÍTULO III: CÁLCULO Y EXPRESIÓN DE LOS RESULTADOS</b> .....		61
3.1	Cálculo de resultados .....	62
3.2	Expresión de resultados.....	63
3.2.1.	Contenido de humedad y Retraimiento:.....	63
3.2.2.	Densidad Básica.....	64
3.2.3.	Compresión paralela a la fibra .....	65

3.2.4. Corte.....	66
3.2.5. Flexión.....	67
3.2.6. Tracción.....	68
CAPITULO IV: ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	69
4.1. ENSAYO DE CONTENIDO DE HUMEDAD.....	70
4.2 ENSAYO DE CONTRACCIÓN.....	71
4.3 ENSAYO DE DENSIDAD BASICA.....	72
4.4 ENSAYO DE COMPRESIÓN PARALELA A LA FIBRA.....	74
4.5 ENSAYO DE CORTE.....	76
4.6 ENSAYO DE TRACCIÓN.....	78
4.7 ENSAYO DE FLEXIÓN ESTÁTICA.....	80
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES.....	82
CAPÍTULO VI: RECOMENDACIONES.....	85
BIBLIOGRAFÍA.....	87
ANEXOS.....	89

## ÍNDICE DE TABLAS

TABLA N° 1. (INRENA: Zonas evaluadas por la presencia de Bambú). 9	
TABLA I-2 Taxonomía del bambú. ....	23
TABLA I-3. Codificación ensayo de contenido de humedad.....	35
TABLA I-4. Codificación ensayo de retraimiento. ....	35
TABLA I-5. Codificación ensayo de densidad básica. ....	35
TABLA I-6. Codificación ensayo de compresión paralela a la fibra. ....	36
TABLA I-7. Codificación ensayo de corte. ....	37
TABLA I-8. Codificación ensayo de tracción. ....	38
TABLA I-9. Codificación ensayo de flexión estática. ....	39
TABLA III-10. Esfuerzos admisibles RNE E.100 (Fuente: RNE - E100 Bambú - Tabla 8.4.1) .....	62
TABLA III-11. Datos y resultados obtenidos del contenido de humedad y retraimiento. ....	63
TABLA III-12. Datos y resultados obtenidos de la densidad básica. ....	64
TABLA III-13. Datos y resultados obtenidos de la compresión paralela a la fibra. ....	65
TABLA III-14. Datos y resultados obtenidos del ensayo de corte.....	66
TABLA III-15. Datos y resultados obtenidos de la flexión.....	67
TABLA III-16. Datos y resultados obtenidos de la tracción.....	68
TABLA IV-17. Resumen de resultados - Contenido de humedad. ....	70
TABLA IV-18. Resumen de resultados - Densidad básica. ....	72
TABLA IV-19. Resumen de resultados - Compresión paralela a la fibra.....	74
TABLA IV-20. Resumen de resultados - Corte.....	76
TABLA IV-21. Resumen de resultados - Tracción.....	78
TABLA IV-22. Resumen de resultados – Flexión estática.....	80
TABLA V-23. Resultados del bambú ensayado. ....	83
TABLA V-24. Resultados del bambú por edades. ....	84
TABLA N°25. Datos de muestras – Ensayo: Densidad Básica. ....	90
TABLA N°26. Datos de muestras – Ensayo: Compresión Paralela a la fibra.....	91

TABLA N°27. Datos de muestras – Ensayo: Corte. ....	92
TABLA N°28 Datos de muestras – Ensayo: Tracción. ....	93
TABLA N°29-1. Datos de muestras – Ensayo: Flexión. ....	94
TABLA N°29-2. Datos de muestras – Ensayo: Flexión. ....	95
TABLA N°29-3. Datos de muestras – Ensayo: Flexión. ....	96
TABLA N°30. Datos de muestras – Ensayo: Flexión.....	97

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

GRAFICO N° 1. Viviendas particulares con ocupantes presentes, por material predominante en las paredes exteriores. Departamento de San Martín Provincia: Moyobamba. ....	11
GRAFICO N° 2. Resultados de contenido de humedad por muestra. ...	70
GRAFICO N° 3. Resultados de contracción por muestra. ....	71
GRAFICO N° 4. Resultados de densidad por muestra. ....	72
GRAFICO N° 5. Comparación de los promedios obtenidos de densidad básica. ....	73
GRAFICO N° 6. Valores de esfuerzos obtenidos de las muestras en el ensayo de compresión paralela a la fibra. ....	74
GRAFICO N° 7. Valor promedio del ensayo de compresión de las muestras de 4 años comparado con el valor mínimo según RNE. ....	75
GRAFICO N° 8. Valor promedio del ensayo de compresión de las muestras de 5 años comparado con el valor mínimo según RNE. ....	75
GRAFICO N° 9. Valores de esfuerzos obtenidos de las muestras en el ensayo de corte. ....	76
GRAFICO N° 10. Valor promedio del ensayo de corte de las muestras de 4 años comparado con el valor mínimo según RNE. ....	77
GRAFICO N° 11. Valor promedio del ensayo de corte de las muestras de 5 años comparado con el valor mínimo según RNE. ....	77
GRAFICO N° 12. Valores de esfuerzos obtenidos de las muestras en el ensayo de tracción. ....	78
GRAFICO N° 13. Valor promedio del ensayo de tracción comparado con el valor mínimo según RNE. ....	79
GRAFICO N° 14. Valores de esfuerzos obtenidos de las muestras en el	

ensayo de flexión. ....	80
GRAFICO N° 15. Carga aplicada vs deflexión. ....	81
GRAFICO N° 16. Valor promedio del ensayo de tracción comparado con el valor mínimo según RNE. ....	81

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

IMAGEN N° 1. Ubicación distrito de Marona – Provincia de Moyobamba – Departamento de San Martín.....	10
IMAGEN N° 2. Autoconstrucción con bambú en Moyobamba.....	12
IMAGEN N° 3. Partes del bambú. ....	16
IMAGEN N° 4. Secado natural de bambú. ....	20
IMAGEN N° 5. Curado por inmersión.....	20
IMAGEN N° 6. Muestras codificadas.....	21
IMAGEN N° 7. Pesaje de muestras.....	42
IMAGEN N° 8. Colocación de muestras al horno. ....	42
IMAGEN N° 9. Toma de datos post-secado al horno. ....	44
IMAGEN N° 10. Probetas para ensayo de densidad.....	46
IMAGEN N° 11. Inmersión de probeta. ....	48
IMAGEN N° 12. Ensayo de compresión.....	50
IMAGEN N° 13. Fallas típicas por compresión.....	50
IMAGEN N° 14. Ensayo de corte. ....	53
IMAGEN N° 15. Falla típica por corte.....	53
IMAGEN N° 16. Ensayo de flexión. ....	55
IMAGEN N° 17. Falla por flexión. ....	56
IMAGEN N° 18. Ensayo de tracción.....	59
IMAGEN N° 19. Falla por tracción en probeta sin corte. ....	59
IMAGEN N° 20. Falla por tracción en probeta con corte. ....	59
IMAGEN N° 21. Presentación de Asesora y Tesistas en UNI – Lima. .	98
IMAGEN N° 22. Codificación de muestras para ensayo de compresión. ....	98
IMAGEN N° 23. Codificación de Muestras para ensayo de flexión. ....	98
IMAGEN N° 24. Medición de muestras para ensayo de tracción. ....	99
IMAGEN N° 25. Muestras codificadas para ensayo de tracción.....	99
IMAGEN N° 26. Toma de datos para ensayo de flexión. ....	99
IMAGEN N° 27. Muestras codificadas con corte para ensayo de tracción. .....	100

IMAGEN N° 28. Muestras codificadas. ....	100
IMAGEN N° 29. Comparación de resultados obtenidos en los ensayos.....	100
IMAGEN N° 30. Máquina empleada en el ensayo de tracción. UNI-Lima. ....	101
IMAGEN N° 31. Falla típica en ensayo de tracción (muestra con corte).....	101
IMAGEN N° 32. Falla típica en el nudo - ensayo de tracción (muestra con corte).....	101
IMAGEN N° 33. Falla típica en el nudo - ensayo de tracción (muestra sin corte).....	102
IMAGEN N° 34. Muestra que falló en el ensayo de compresión. ....	102
IMAGEN N° 35. Ensayo de compresión paralela a la fibra.....	102
IMAGEN N° 36. Colocación de accesorios para el desarrollo del ensayo de corte.....	103
IMAGEN N° 37. Máquina empleada en ensayos de compresión y corte.....	103
IMAGEN N° 38. Muestras empleadas en el ensayo de corte.....	103
IMAGEN N° 39. Falla típica por corte.....	104
IMAGEN N° 40. Colocación de muestra en la máquina para realizar el ensayo de flexión. ....	104
IMAGEN N° 41. Deformímetro empleado en el ensayo de flexión. ....	104
IMAGEN N° 42. Desarrollo del ensayo de flexión. ....	105
IMAGEN N° 43. Ensayo de densidad básica. Muestra sumergida. ....	105
IMAGEN N° 44. Bosques de bambú reconocidos por PERU-BAMBU en San Martín. ....	106
IMAGEN N° 45. Bosque de bambú de cual proceden las muestras ensayadas.....	107

## **DEDICATORIA**

Dedico esta tesis a DIOS, a mis ángeles Gino y Alex, quienes inspiraron mi espíritu para la conclusión de esta tesis. A mis padres Lola y Orlando, quienes me dieron vida, educación, apoyo, consejos y a quienes les debo todo. A mis amigos, que estuvieron en cada aventura, en las buenas y en las malas. Para todos ellos hago esta dedicatoria.

Pablo Carpio.

Dedico esta Tesis a mis padres Winston y Delisia, por ser el principal cimiento para la construcción de mi vida profesional, quienes inculcaron en mí la responsabilidad y el deseo de superación.

Con mucho amor a mis hermanas, Angie y Sally el motor y motivo de mi vida, por crear en mí ese afán por seguir adelante y dar cada paso de forma correcta para inculcar en ellas lo aprendido por mis padre.

A mi familia y amigos, que son parte fundamental de mi desarrollo, se lo dedico a ellos que influenciaron mucho en mi vida.

Juan Vásquez.

## AGRADECIMIENTO

Me gustaría que estas líneas sirvieran para expresar mi más profundo y sincero agradecimiento a todas aquellas personas que con su ayuda han colaborado en la realización de la presente tesis, este proyecto es el resultado del esfuerzo en conjunto de todos.

En primer lugar agradecer a Dios y mis hermanos que desde el cielo me han cuidado y guiado por el camino de la felicidad hasta ahora.

A mis seres queridos, mi padre Orlando y mi madre Lola, quienes a lo largo de toda mi vida han apoyado y motivado mi formación académica, creyeron en mí en todo momento y no dudaron de mis habilidades.

A cada uno de los que son parte de mi familia, por siempre haberme dado su fuerza y apoyo incondicional que me han ayudado y llevado hasta donde estoy ahora.

Al Ingeniero Eduardo Rojas, por la ayuda brindada durante el desarrollo de la tesis.

A nuestra asesora, ingeniera Roció Durand por el ánimo infundido, los conocimientos compartidos y la confianza en nosotros depositada.

A mis profesores a quienes les debo gran parte de mis conocimientos, gracias a su paciencia y enseñanza y finalmente un eterno agradecimiento a esta prestigiosa universidad la cual abrió y abre sus puertas a jóvenes como nosotros, preparándonos para un futuro competitivo y formándonos como personas de bien.

Pablo Carpio

Agradezco a Dios, ser maravilloso que me dio fuera y fe para lograr este tan anhelado objetivo. A mi universidad por haberme aceptado ser parte de ella y abierto las puertas para poder estudiar esta carrera.

Doy gracias a mi papá Winston por apoyarme incondicionalmente, por haberme proporcionado la mejor educación y lecciones de vida.

Gracias mamá Delisia por haberme enseñado que con esfuerzo, dedicación y constancia todo se consigue y que en la vida nadie te regala nada.

A mis hermanas, por el apoyo y motivación que me brindaron en cada ciclo de mi carrera universitaria.

Al Ingeniero Eduardo Rojas, porque con su apoyo esta investigación se pudo concretar.

Gracias Ingeniera Rocío Durand, nuestra asesora de tesis por habernos brindado la oportunidad de recurrir a su capacidad y conocimientos, así como también por habernos tenido tanta paciencia para guiarnos con el desarrollo del trabajo.

Quiero agradecer a mis compañeros de clase, ya que gracias a la amistad y apoyo moral pudimos continuar motivados cada ciclo. Por ultimo quiero agradecer a mis amigos, por estar junto a mí en estos últimos años y ser parte de las mil y un hazañas.

Juan Vásquez

## RESUMEN

La guadua angustifolia, conocida como bambú es una material renovable, con características físicas, químicas y mecánicas extraordinarias. El bosque de Marona alberga una gran cantidad de bambú, las muestras extraídas de dicho bosque, fueron extraídas siguiendo un proceso, donde se toman parámetros como la forma de cortar, curar, almacenar y elegir que muestras se usaran en los ensayos. Para nuestra investigación usamos bambús con edades de 4 y 5 años.

Los ensayos realizados al bambú siguieron los lineamientos establecidos en norma peruana E.100, la Norma Técnica Colombiana 5525 y el manual de laboratorio sobre métodos y ensayos propuesto por el INEN (Instituto Nacional Ecuatoriano de Normalización). Dentro de los ensayos realizados fueron contenido de humedad, retraimiento, densidad y mecánica, compresión, tracción, corte y flexión.

Según los resultados obtenidos se determinó que el bambú proveniente del distrito de Marona, Provincia de Moyobamba, Departamento de San Martín es apto para utilizarlo como material de construcción, debido a que obtuvo una resistencia a la compresión de 35.9Mpa y 18.5Mpa como resistencia a la tracción. Parámetros que nos indican que cumplen satisfactoriamente lo establecido en la normativa vigente.

**PALABRAS CLAVES:** Bambú, guadua, recursos renovables, características físicas y mecánicas

## ABSTRACT

The *guadua angustifolia*, known as bamboo is a renewable material, physical, chemical and mechanical extraordinary. Marona forest hosts a lot of bamboo, wood samples from said were extracted using a process where parameters such as how to cut, treat, store and choose which samples were used in the tests are taken. For our research we use bamboos aged 4 and 5 years.

Tests performed on the bamboo followed the guidelines established in standard E.100 Peruvian, Colombian Technical Standard 5525 and manual laboratory methods and tests proposed by the INEN (Ecuadorian National Standards Institute). Among the tests conducted were moisture content, withdrawal, density and mechanical compression, tension, shear and bending.

According to the results it was determined that bamboo from Marona district, Moyobamba Province, Department of San Martin is suitable for use as building material because it obtained a compressive strength of 35.9Mpa and 18.5Mpa as resistance traction. Parameters that indicate that satisfactorily meet the provisions of the regulations.

**KEYWORDS:** bamboo, renewable resources, physical characteristics and mechanical.

## INTRODUCCIÓN

El interés por utilizar el bambú en el campo la construcción nace frente a la necesidad de implementar técnicas para edificar, tratando de reducir el impacto negativo a nuestro medio ambiente a través del empleo de recursos renovables que son accesibles a las personas que se encuentran cerca a sus bosques.

El bambú es una planta que no solo ha estado ligada a la naturaleza, sino que también ha representado un papel importante en el desarrollo sociocultural de muchas partes del mundo debido a los beneficios que este ha ido generando al hombre desde hace aproximadamente 6 mil años, hoy en día se sabe que existe una gran variedad de especies pertenecientes a esta planta, entre ellas tenemos a la *Guadua Angustifolia*, muy conocida por los pobladores de Moyobamba como bambú.

En el Departamento de San Martín, existen zonas en donde se han llevado a cabo proyectos de reforestación con distintas plantas según las características del suelo, por ende encontramos bosques de bambú cerca a los pueblos de Marona y Yantaló, ambos pertenecientes a la provincia y distrito de Moyobamba. Aprovechando la disponibilidad del bambú procedente del rodal ubicado en el distrito de Marona, provincia de Moyobamba, es que surge este trabajo de investigación, con la intención de determinar y comparar las características físicas y mecánicas de la *Guadua Angustifolia*.

Se llevaron a cabo los ensayos en el laboratorio de materiales de la UPAO y la UNI: contenido de humedad y retraimiento, densidad básica, compresión, corte, flexión y tracción; la muestra seleccionada comprendió cañas del tipo *Guadua* de cuatro y cinco años que conseguimos, las cuales previamente fueron curadas a través del método de inmersión en una poza que contenía agua, ácido bórico, bórax y dicromato de sodio. Posterior a ello, las cañas fueron cortadas y codificadas según las dimensiones que se requirieron para cada ensayo, actividad que facilitó el traslado de estas muestras a los distintos laboratorios.

Se ha Estructurado el presente estudio en seis capítulos que comprenden desde conocer el bambú hasta determinar sus características físicas y mecánicas y compararlas con la normativa existente.

## PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Todos tenemos derecho a una vivienda de calidad, que cumpla con los parámetros establecidos para ser una vivienda segura y habitable. Una vivienda que los proteja de los fenómenos naturales. Y el ingeniero civil tiene como una de sus funciones mejorar la calidad de vida de su sociedad.

La vivienda representa un valor importante y básico en el desarrollo del ser humano. Por lo tanto debe ser una vivienda de calidad. Sin embargo, para que esta cumpla este último requisito, tiene alto costo y evidentemente no todos los sectores con menores recursos no pueden acceder a este aun habiendo los programas sociales.

La ciudad de Moyobamba, zona donde se extrajo el material de estudio, si bien tiene una economía en general estable, existen zonas rurales donde viven personas de escasos recursos quienes no cuentan con una vivienda de calidad, y son afectados por los fenómenos naturales que son comunes en la zona.

El modelo actual de la construcción privilegia el uso de materiales como el concreto, acero, ladrillos; sin saber que si estos productos no se fabrican con un sistema de calidad adecuada, están perjudicando a la naturaleza.

El Perú es un país que cuenta con una gran biodiversidad y dentro de este conjunto encontramos recursos renovables que pueden ser aprovechados en la construcción y que al mismo tiempo son amigables con el medio ambiente. Ahí entra a tallar el bambú, una de las familias botánicas más extensas e importantes para el hombre debido a la gran cantidad de opciones que tenemos para utilizar este recurso así contribuir a la mitigación del cambio climático

El bambú, en especial del género *Guadua Angustifolia* por sus propiedades físico mecánicas puede ser ideal para construcciones sismo resistentes y en nuestro país es un recurso abundante, según INRENA el 3.11% del territorio nacional está ocupado por asociaciones naturales de bambú.

Nuestro territorio nacional cuenta con una extensión de aproximadamente 3,6 millones de hectáreas de bosques de bambú y se distribuye como se muestra en la TABLA N°1 a continuación.

ZONAS EVALUADAS		DEPARTAMENTOS
I	Zona Noroeste	Tumbes y Piura.
II	Zona Nororiental	Cajamarca, Amazonas y San Martín.
III	Zona Norte	Lambayeque y La Libertad.
IV	Zona Centro	Ancash y Lima.
V	Zona Centro Oriental	Huánuco, Pasco y Junín.
VI	Zona Oriental	Loreto y Ucayali.
VII	Zona Sur	Ica, Huancavelica y Ayacucho.
VIII	Zona Suroriental	Madre de Dios, Cusco, Apurímac y Puno.
IX	Zona Sureste	Arequipa, Moquegua y Tacna.

**TABLA N° 1.** (INRENA: Zonas evaluadas por la presencia de Bambú).

Tradicionalmente la guadua se ha relegado a un segundo plano, pues normalmente es usada por la población que vive en la miseria y se le menosprecia porque se aduce que es atacada por hongos e insectos, que es combustible, que tiende a degradarse, pero éstos aspectos han estudiado y se ha concluido que principalmente se deben a un diseño por protección inadecuado.

El presente trabajo, si bien se enfoca en las propiedades físicas y mecánicas del bambú oriundo del bosque de Marona, distrito de Moyobamba. Busca complementar nuestra norma E100 e informar a través de nuestros resultados que existe otra alternativa de elemento de construcción que sea segura, de calidad y sobre todo de fácil acceso a los pobladores de la zona.

### **ENUNCIADO DEL PROBLEMA**

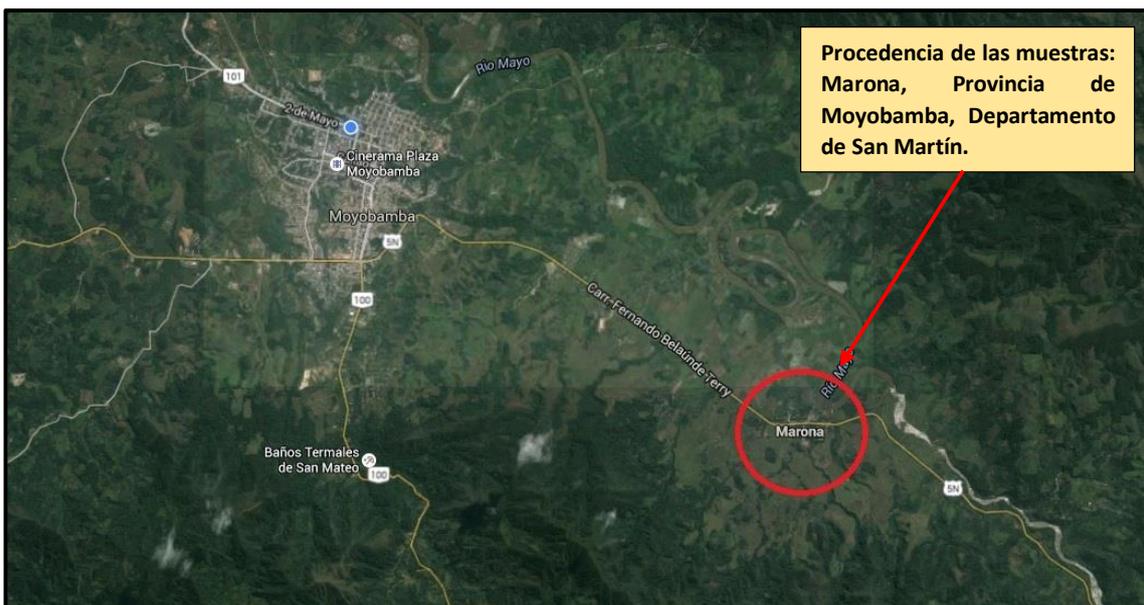
¿Las características físicas y mecánicas del bambú del tipo *Guadua Angustifolia* proveniente del departamento de San Martín, la provincia de Moyobamba cumplirán con la norma E.100 del Reglamento Nacional de Edificaciones para fines estructurales?

## JUSTIFICACIÓN

El estudio de las propiedades físicas y mecánicas del bambú surge como una posible alternativa de construcción sostenible mediante el empleo de materiales naturales, renovables a corto plazo.

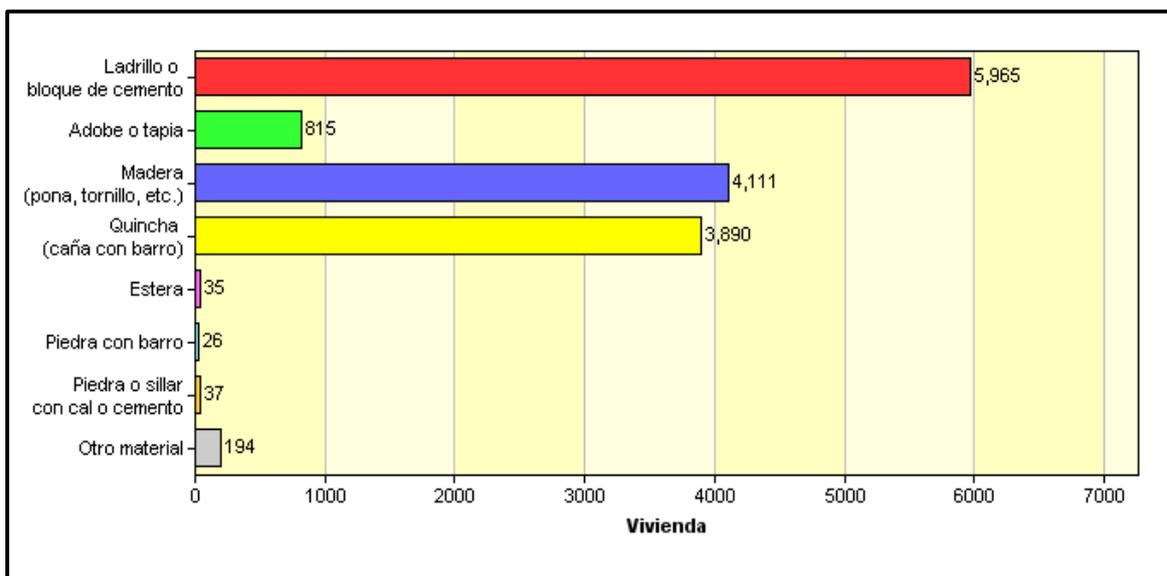
El bambú es un recurso que viene siendo usado en muchas partes del mundo desde la antigüedad y que se adapta sin problemas; países vecinos tienen reglamentos basados en la construcción con este material y se vienen desarrollando diversos proyectos, que a diferencia del nuestro, aun teniendo una norma técnica no optamos por utilizarlo y preferimos los materiales convencionales que aumentan los costos de producción y afectan al medio ambiente.

La ciudad de Moyobamba es la capital del departamento de San Martín y se encuentra ubicada al norte de esta. Moyobamba es considerada una zona altamente sísmica, cerca de la ciudad existen bosques de Guadua de donde se extrajeron las cañas que sirvieron para realizar los ensayos que requeríamos.



**IMAGEN N° 1.** Ubicación distrito de Marona – Provincia de Moyobamba – Departamento de San Martín

Podemos observar que la ciudad se va desarrollando con el paso de los días; encontramos construcciones que van a la vanguardia con los avances tecnológicos, aquellas a partir de materiales convencionales, otras que aún conservan parte de la costumbre de los pobladores de antaño, pero también podemos observar las familias que cuentan con recursos económicos escasos y tienen una baja calidad de vida prefieren construir con materiales precarios, ignorando las bondades del bambú como material de construcción.



**GRAFICO N° 1.** Viviendas particulares con ocupantes presentes, por material predominante en las paredes exteriores. Departamento de San Martín Provincia: Moyobamba.  
Fuente: INEI - **Censos de Población y Vivienda 2007 / Vivienda**

Por ser la guadua un material fácilmente manipulable, no requiere personal de construcción ni herramientas especializadas, de este modo es posible hacer partícipes de la construcción a personas de la comunidad, orientadas por un maestro de obra. La participación de la comunidad permite que se integren mejor las necesidades y gustos propios, que se valore y aprecie el trabajo comunitario y artesanal; y que se estimule el sentido de pertenencia y la ética participativa.



**IMAGEN N° 2.** Autoconstrucción con bambú en Moyobamba.

Así el futuro habitante contribuye activamente en el diseño y la calidad de su propia vivienda.

Como recurso natural, permite además de sus múltiples usos la reforestación para ayudar a la preservación del equilibrio ecológico mundial. El guadual como un sistema dinámico adecuado a un rendimiento sostenible debe tener equilibrio entre sus salidas (guaduas cortadas y secas) y las entradas (renuevos o brotes de guadua). Gracias a que se auto multiplica, no necesita de semillas ni época de sembrado, es posible tener una explotación racional y tener el recurso permanentemente.

El estudio se traduce en que si se demuestra que el comportamiento del bambú extraído de distrito de Marona es bueno ante las cargas sometidas y obteniendo los esfuerzos últimos de cada ensayo mayores a los admisibles estipulados en la Norma E.100 del RNE se podría estimular e incrementar su uso.

## MARCO TEÓRICO

### Antecedentes de la investigación

*El bambú: Recurso renovable y sostenible para el Diseño y Construcción.* Es una investigación de los arquitectos Irina Valera Reyes y Daniel Chaviano, que se desarrolló en la ciudad de Santa Clara, Villa Clara en Cuba, en el año 2013. Esta tesis se resume en:

El bambú, también conocido como Guadua Angustifolia, es uno de los materiales más usados desde la más remota antigüedad por el hombre para aumentar su comodidad y bienestar.

En el mundo del plástico y el acero de hoy, el bambú continúa aportando su centenaria contribución y aun crece en importancia.

Los programas internacionales de cooperación técnica han reconocido las cualidades excepcionales del bambú y están realizando un amplio intercambio de variedades de esa planta y de los conocimientos relativos a su empleo. En seis países latinoamericanos se adelantan hoy proyectos destinados a ensayar y seleccionar variedades sobresalientes de bambú recoleccionadas en todo el mundo y también a determinar el lugar potencial de ese material en las economías locales.

Aunque los múltiples usos del bambú o Guadua tienen una larga tradición en América Latina y Asia, el mismo está todavía muy subestimado y poco conocido en el campo de la construcción actual. Los usos más comunes son en artesanías o muebles y solo pocos lo aplican para estructuras de viviendas u obras sociales.

Justamente hoy en día se necesita el desarrollo técnico de los recursos naturales y renovables para poder construir de una manera que nos permita una calidad de vida a largo tiempo.

Los autores: Wendell Martin Dill y Nicolás Rogriguez Gutierrez en la investigación titulada *Valorar la Utilización del Bambú “Guadua Angustifolia” en la Construcción de Viviendas en la Zona Atlántica de Costa Rica*. Desarrollada en el año 2010 la resumen en:

La región de Talamanca ubicada en la zona Atlántica de Costa Rica representa una de las zonas con mayor riqueza en biodiversidad, sin embargo el abandono institucional, el crecimiento demográfico y los constantes desastres naturales reflejan una precaria situación habitacional. Uno de los sectores más afectados son las comunidades indígenas ubicadas en las montañas de Talamanca, donde han tenido que desarrollar sus propias alternativas de construcción.

En este sentido el presente proyecto pretende desarrollar una alternativa de utilización del bambú como un material de bajo costo para solucionar los problemas de vivienda en la comunidad indígena de Yorkin, ubicada en la zona alta de Talamanca.

La estrategia de trabajo seguida por este proyecto estuvo orientada hacia una investigación de Acción Participativa, enfocándose principalmente en identificar las expectativas y necesidades del grupo meta mediante entrevistas y observaciones de campo. Como resultado se presentó un modelo de vivienda sostenible que cumple con las expectativas y necesidades de la población en estudio. Asimismo, se promovió la siembra del bambú en la ribera del río Scui para su futuro aprovechamiento como material de construcción. Ambas propuestas fueron ampliamente aceptadas por la comunidad. Finalmente, se pretende con esta nueva alternativa de construcción contribuir al desarrollo sostenible de las comunidades garantizando el bienestar del individuo.

Otra investigación sobre el tema es la titulada *Elementos estructurales de bambú (Guadua Angustifolia) – Tijeral y viga*. Que tiene como autor a Tania Quispe Pardavé que se desarrolló en la ciudad de Lima en el año 2010, se resume:

En la actualidad, en el país existen especificaciones y normas para la construcción de tijerales y vigas con diferentes materiales, tal es el caso de: acero, madera; pero en el caso del Bambú aún no existen normas técnicas respecto a las propiedades ni a la utilización, por lo cual se hace difícil la construcción masiva de estructuras con dicho material. Por otro lado, se han realizado trabajos de investigación previos para establecer las propiedades mecánicas de la Guadua por investigadores nacionales siguiendo metodologías diferentes para conseguir resultados; los mismos que necesitan ser homologados para ser utilizados en los procesos de construcción.

Se estudió el comportamiento de dos tijerales, dos viguetas y dos vigas construidas con Guadua Angustifolia (que fueron construidos en el Laboratorio de Ensayos de Materiales), cuya procedencia fue de tres bosques diferentes; además se determinaron resultados de cada ensayo que permitieron compararlos y relacionarlos para poder recomendar valores de resistencia y deformaciones que se puedan utilizar en el diseño.

Luego de los ensayos se determinó que los esfuerzos para los cuales fueron diseñados los elementos del tijeral no fueron sobrepasados durante el proceso de carga debido a que las fallas que se presentaron fueron por corte o fallas de pernos en los nudos, quedando algunos elementos del tijeral casi intactos. Además se comprobó que el Módulo de Rotura de las viguetas es mayor que el de las vigas debido a la presencia de conectares en estas últimas, que fueron necesarios para unir las cañas de la sección compuesta. Con estos y otros resultados del trabajo de investigación se espera aportar a la formalización de la nueva norma peruana de bambú.

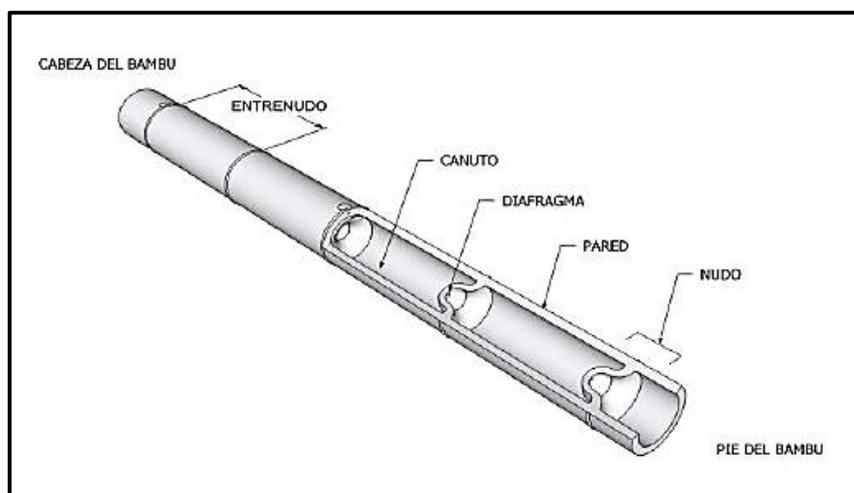
## Fundamentación Teórica

**Aserrado:** Proceso mediante el cual se corta longitudinalmente un tronco para obtener piezas de madera de sección transversal rectangular denominadas comúnmente bloques o tablonés.

**Bambú o planta de bambú:** Es un recurso natural renovable. Planta herbácea con tallos leñosos, perteneciente a la familia de las Poaceae (gramíneas), sub familia Bambúsoideae, tribu Bambúeseae.

**Caña de bambú:** Tallo de la planta de bambú que por lo general es hueco, nudoso y está conformado por las siguientes partes:

- a) Nudo: Parte o estructura del tallo que lo divide en secciones por medio de diafragmas.
- b) Entrenudo: Parte de la caña comprendida entre dos nudos.
- c) Diafragma: Membrana rígida que forma parte del nudo y divide el interior de la caña en secciones.
- d) Pared: Parte externa del tallo formada por tejido leñoso.



**IMAGEN N° 3.** Partes del bambú.

**Contracción:** Es la reducción de las dimensiones de una pieza de madera acusada por la disminución del contenido de la humedad a partir de la saturación de las fibras. Se expresa por porcentaje de la dimensión verde de la madera y puede ser lineal (radial, tangencial o longitudinal) y volumétrica.

**Elemento de bambú:** Cada una de las piezas que forma un componente del bambú.

**Guadua Angustifolia:** Especie de bambú leñoso, nativo de la región tropical de los países andinos, con propiedades físico mecánicas adecuadas para construcciones sismorresistentes.

**Rolliza:** Estado natural de los tallos de bambú.

**Secado:** Proceso natural o artificial mediante el cual se reduce el contenido de humedad de la madera o bambú.

## **OBJETIVOS**

### **Objetivo General**

- Determinar según las características de las muestras a ensayar si el bambú cosechado del distrito de Marona, en el departamento de San Martín cumple con las normas técnicas nacionales e internacionales.

### **Objetivos Específicos**

- Determinar las dimensiones de las muestras que se requieren para cada ensayo (espesor de paredes, diámetro externo, diámetro interno).
- Realizar pruebas de laboratorio para determinar: contenido de humedad, retraimiento, densidad básica, compresión paralela a la fibra, corte, flexión estática y torsión para determinar las características físico-mecánicas.
- Comparar las características físicas y mecánicas del bambú tipo Guadua Angustifolia con unidades de cuatro y cinco años.
- Establecer analogías de los resultados de las pruebas de campo para formular conclusiones en relación con el proyecto que busca determinar si el bambú cultivado en San Martín cumple con los requisitos para ser utilizado como material para elementos estructurales.

## **MATERIALES Y MÉTODO**

### **Métodos, técnicas e instrumentos utilizados**

El método utilizado es el método científico – experimental y dentro de las técnicas o herramientas utilizadas se utilizó la observación y los formatos de laboratorio los cuales serían nuestros instrumentos.

### **Material y proceso.**

- Procedencia del material experimental.

Para nuestro caso, investigación científica, solicitamos cañas enteras de bambú del tipo Guadua Angustifolia proveniente del Guadual ubicado en el distrito de Marona.

- Selección de Cañas.

Los culmos seleccionados para los ensayo debían estar sanos y libres de todo defecto, aquellos quebrados, deteriorados o descoloridos se deben desechar.

Cuando llegaron al almacén, estas fueron perforadas por la parte central (nudos) de tal manera que cada fragmento de bambú estaba expuesto al aire y escurría su contenido. Las cañas perforadas fueron ubicadas de manera diagonal apoyado en una solera fabricada con el mismo material (ver IMAGEN N°4), con la intención de que la sustancia que viene dentro de cada fragmento sea destilado y dejamos secando por un periodo de cinco días.



**IMAGEN N° 4.** Secado natural de bambú.

- Proceso de curado.

Al terminar el secado natural, pasamos al proceso de curado; las cañas de



bambú fueron sumergidas en la solución que contenía la poza por aproximadamente 18 horas para que el bambú pueda absorber la sustancia mezclada de tal manera que quedó protegido contra agentes xilófagos (hongos, insectos, bacterias).

Para el curado de las cañas de bambú contamos con una poza con capacidad para 105000 litros en la que mezclamos 0.5 kg de dicromato de sodio, 1 kg de ácido bórico, 1 kg de bórax por cada 100 litros de agua.

**IMAGEN N° 5.** Curado por inmersión.

Al cumplir las 18 horas las cañas fueron retiradas de la poza y colocadas en la solera empleada para secado, de modo que la solución escurría, dejamos por un periodo de 10 días expuesto a la intemperie; al cumplir dicho plazo fueron almacenados bajo techo.

- Selección de muestras:

Según el requerimiento de las muestras para los ensayos en los laboratorios respectivos, cortaron las cañas a las dimensiones necesarias para cada prueba y fueron trasladadas a cada laboratorio según la ubicación de los tesisistas.

En el laboratorio de la Universidad Privada Antenor Orrego – Trujillo, se llevó a cabo el ensayo de contenido de humedad y retrainimiento mientras que los ensayos de densidad básica, compresión paralela a la fibra, corte, flexión estática y torsión fueron realizados en el laboratorio de materiales de la Universidad Nacional de Ingeniería – Lima.

Al recibir las muestras en cada laboratorio, procedimos a codificarlas para poder diferenciarlas; posteriormente determinamos las dimensiones tanto de longitud, diámetro interno, diámetro externo, espesores y en algunos casos las masas de las respectivas muestras.



**IMAGEN N° 6.** Muestras codificadas.

# **CAPÍTULO I: EL BAMBÚ**

## 1.1. CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA

La Guadua es un bambú perteneciente a la Familia Poaceae, a la subfamilia Bambusoideae y a la tribu Bambuseae. La Guadua reúne aproximadamente 30 especies que pueden distinguirse de los demás por sus diferentes tallos, los cuales varían en ser robustos y espinosos, por las paredes de pelos blancos en la zona del nudo y por las hojas caulinares en forma triangular.

Rango	Taxonomía
Reino	Vegetal
División	Espermatofita
Subdivisión	Angiospermae
Clase	Lilopsidas/Monocotiledónea
Subclase	Commelinidae
Orden	Cyperales/Glumiflorales
Familia	Gramineae o Poaceae
Subfamilia	Bambusoideae
Supertribu	Bambusodae
Tribu	Bambuseae
Subtribu	Guaduiinae
Género	Guadua
Especie	Angustifolia
Variedad	Bicolor
Forma	Cebolla, Macana, Rayada, etc.

**TABLA I-2** Taxonomía del bambú.

La especie *Guadua angustifolia* sobresale dentro del género por sus propiedades físicas, mecánicas y por el tamaño de sus culmos que llegan hasta 30 metros de altura y 25 centímetros de diámetro. Por esta característica la *Guadua Angustifolia* ha sido seleccionada entre las veinte especies de bambúes mejores del mundo ya que tiene una gran capacidad para absorber

energía y aceptar una fuerte flexión, la convierten en un material ideal para construcciones sismorresistentes. Esta especie crece naturalmente en Colombia, Ecuador, Perú y Venezuela, pero también puede encontrar en algunas partes de centro y el norte de América.

En el Perú existen aproximadamente 50 especies nativas y exóticas de bambúes leñosos (entre otras sin identificar), pertenecientes a las Subtribus y Géneros siguientes:

Especies Nativas: 38

- Sub Tribu Anthrostylidiinae:
  - *Anthrostylidium* 02 especies.
  - *Alounemia* 07 especies.
  - *Elytrostachys* 01 especie.
  - *Merostachys* 01 especie.
  - *Riphidocladum* 02 especies.
  
- Sub Tribu Chusqueinae:
  - *Chusquea* 19 especies.
  - *Neurolepsis* 01 especie.
  
- Sub Tribu Guaduinae:
  - *Guadua* 05 especies.

Especies Exóticas o Introducidas: 12

- Sub Tribu Bambúesinae:
  - *Bambúesa* 07 especies.
  - *Dendrocalamus* 02 especies.
  - *Gigantochloa* 01 especie.

- Sub Tribu Shibataeinae:
  - *Phyllostachys* 02 especies.

Especies nativas de género *Guadua*:

- *Guadua angustifolia*.
- *Guadua sarcocarpa*.
- *Guadua superba*.
- *Guadua weberbaueri*.
- *Guadua paniculata*.

## **1.2. CULTIVO Y MANEJO DEL BAMBU**

### **1.2.1. Propagación y siembra**

Los métodos de propagación o reproducción de los bambúes pueden ser sexuales o asexuales, usando semillas, vástagos, siembra de rizomas, en algunos casos por acodos y masivamente por corte de secciones de tallos. Una planta originada de estacas a los dos o tres años ya tiene su altura total, en tanto que una planta de semillas puede requerir de 4 hasta 8 años para lograr su mayor altura.

El bambú requiere de ciertos factores ambientales tales como lluvias y humedad ya requiere que lluevan al menos 100 mm/mes durante 6 meses para garantizar el desarrollo del bambú.

Otro factor es la temperatura, la mayoría de los bambúes se desarrollan en temperaturas que varían entre los 9° C. y los 36° C.

El tipo de suelo tiene q ser aluvionales y bien drenados, no soporta suelos salinos.

### **1.2.2. Limpieza**

Durante los primeros meses de crecimiento del bambú es conveniente realizar una o dos limpiezas. Luego de esto, la actividad de limpieza se realiza para mantener una plantación buena y sana. Para ello:

- Se deben sacar o cortar todas las hojas en mal estado, caídas o secas.
- Cortar ramas que impidan el libre crecimiento del bambú.
- Eliminar tallos enfermos, secos o deformes, así como los tallos que ya han cumplido su ciclo de vida.

### **1.2.3. Fertilización**

En terrenos pocos fértiles se puede abonar las plantaciones de bambú para que estos se desarrollen vigorosos y resistentes; ya sea con estiércol o con otros abonos comerciales.

### **1.2.4. Recolección del bambú**

El bambú debido a su naturaleza especializada, son plantas poco y mal recolectadas. Para realizar una buena recolección, se debe saber qué zonas del bambú son más significativas taxonómicamente, qué información se debe recopilar, y cómo y qué partes se deben recolectar.

### **1.2.5. Etapas de desarrollo del bambú**

El uso del bambú depende del desarrollo fisiológico del tallo. El bambú puede desarrollar y alcanzar todas sus propiedades en menos de un año. Pero no se podrán usar en la construcción con esta edad, ya que tiene que alcanzar toda su madurez y dureza, este periodo termina entre los dos y seis años.

**1° Fase de renuevo o brotación:** es aquella en la que los culmos están emergiendo, los entrenudos no se han estirado y están presentes las hojas caulinares. Temporalmente corresponde a edades menores de 180 días.

**2° Fase juvenil:** también llamada biche. En ella las hojas caulinares están parcialmente caídas, las ramas empiezan a desarrollarse, el color de los brotes es de un verde intenso. La mayoría de los entrenudos se han desarrollado en tanto que los nudos comienzan a presentar una coloración blancuzca. Este período va de 6 a 12 meses.

**3° Fase madura, adulta o comercial:** los tallos se tornan a verde pálidos, las ramas están totalmente desarrolladas, la madera se torna resistente y si la zona es relativamente húmeda los tallos presentan algunos líquenes. Ya se puede hacer el aprovechamiento. Este período va desde 1 a 4 años.

**4° Fase de sazónamiento:** La madera empieza a perder resistencia y se va llenando de líquenes. El follaje es poco denso y el color de los tallos es verde-pálido y amarillento. Va de 4 a 6 años.

**5° Fase sobremadura o vieja:** Se empiezan a notar signos de degradación en los culmos (quebraduras o rajaduras en los tallos). Hay poco follaje en las ramas y todo de la apariencia y sensación de estar seco.

#### **1.2.6. Corte del bambú**

Las varas de bambú deben cortarse por encima del primer nudo del tallo, a nivel del suelo; se recomienda hacerlo anualmente después de los tres a cinco años de plantados (según la especie) con el fin de mantener la actividad de la planta. Se conoce cuando el bambú empieza a madurar porque tiende a perder brillo y su coloración normal. Al momento de cortarse éste no debe tener rizomas nuevos ni tallos en crecimiento.

Una tradición entre los campesinos y habitantes de la zona es que recomiendan hacer el corte durante la fase de la luna “cuarto menguante”. Esto tiene como explicación que durante esta época el culmo tiene menor cantidad de líquidos y por lo tanto reduce la probabilidad de que el tallo sufra de pudrición y/o que sea atacado por hongos y microorganismos

Con el fin de obtener el máximo rendimiento posible, en cantidad y en calidad de los tallos, en un cultivo o bosque de bambú. Se sugiere tomar en cuenta los siguientes factores:

**Ciclo de corte:** Este es el tiempo que transcurre entre un aprovechamiento o corte y otro. Está determinado por varios factores siendo los más importantes:

- a) La madurez del tallo es cuando está listo para ser cortado.
- b) La máxima madurez es el período por el cual el tallo comienza a deteriorarse hasta morir.
- c) La extensión del área que se va a explotar, la demanda del material y la disponibilidad de trabajadores y supervisores.

**Intensidad de corte:** Esto se refiere a la cantidad de tallos que deben ser cortados. En condiciones apropiadas, el corte será de tallos maduros y juveniles. No es recomendable cortar tallos secos con fines de venta. Se deben cortar los tallos de la fase madura, los débiles y los enfermos.

**Métodos para hacer el corte:** Cuando se va a cortar el bambú y de forma independiente a la finalidad del corte, el equipo a utilizar para hacerlo, debe estar muy bien afilado para evitar daños y desgarraduras a la caña o culmo.

El corte debe hacerse considerando que:

- Se deben cortar las varas que han alcanzado su madurez por encima del primer nudo.
- Se tienen que eliminar las ramas laterales de las varas.
- Colocarlas en la posición deseada para que se sequen.

### 1.2.7. Curado y protección del bambú

El curado y la preservación tiene por finalidad objetivo disminuir el contenido de humedad o modificar la constitución química de los tallos, protegiéndolos así de agentes externos como plagas y enfermedades. Existen dos métodos, uno es el método químico que usa agentes químicos como preservantes para darle esta protección al bambú y otro son el método no químico que son empleados normalmente por los campesinos.

### 1.2.7.1. Métodos no químicos

Este método no es muy eficiente a comparación del otro método pero son los más utilizados por los campesinos debido a su bajo costo

- Método de curado en la mata

Después de cortado el bambú se deja reposar lo más vertical posible y separado del suelo por algún objeto como piedras. Tiene que estar así por 4 semanas y en lugar cubierto y ventilado. Este método es recomendado porque e bambú no sufre deterioro como aplastamiento ni manchas.

- Método de curado por inmersión en agua

La inmersión en agua por 3 a 4 semanas del bambú es uno de os métodos más usados en el continente americano. Al ser sumergidos los almidones son sometidos a lixiviado y disminuye los almidones, esto cuando llegan al lugar donde se utilizaran, reduce la posibilidad de que sean atacados por insectos.

- Método de curado al humo

El humo que es provocado ya sea por la quema o de cocina, actúa en los elementos orgánicos como un recubrimiento con partículas de carbón llamado "hollín".

El hollín tiene la característica de ser un agente insoluble, resistente al calor y a la luz, produce la eliminación o reducción de almidones quienes atraen los agentes externos.

- Método de curado al calor

Este método consiste en llevar al bambú a fogatas hechas especialmente para poder calentar la parte del culmo del bambú.

### **1.2.7.2. Métodos químicos**

- Preservación química

Estos métodos son más efectivos que los métodos no químicos pero son más caros debido a que se necesita equipos especiales mano de obra calificada y los químicos a utilizar.

Consiste en sumergir las cañas de bambú en piscinas con ácido bórico y bórax y luego secarlos al aire

### **1.2.8. Plagas y enfermedades**

En el Perú no hay o hay poca información sobre las enfermedades y plagas que atacan al bambú. Las enfermedades que se han encontrado aparecen en los tallos recién brotados, al inicio de la plantación, manifestándose por la pudrición y olor desagradable. Entre las plagas se ha observado ataque de insectos (polillas entre otros) que atacan los tallos vivos; pero no se ha notado que interfieran en su desarrollo.

La protección vegetal del bambú (según sea que se aplique) se puede dividir en dos formas: Protección de planta en cultivo y protección al bambú como producto.

## **1.3. Ventajas y desventajas de usar el bambú**

### **1.3.1. Ventajas**

- El bambú como material es liviano y resistente, las estructuras construidas con bambú son ligeras, flexibles y resistentes, lo que le dan a la estructura una característica sismo resistente.
- Por ser un material de poco peso es fácil de transportar, almacenar y esto da la posibilidad de construir estructuras rápidas, temporales o permanentes.

- Los bambúes se utilizan en su totalidad, es una planta que no posee corteza o alguna parte q pueda considerarse desperdicio.
- Una ventaja muy importante del bambú, es que puede utilizarse con algún otro material de construcción como por ejemplo el concreto, como elemento de concreto.
- Es un recurso renovable.

### **1.3.2. Desventajas**

- El bambú es vulnerable a los rayos ultravioleta y al agua, a la humedad, por lo tanto requiere de alguna protección durante el manejo, la ejecución y mantenimiento de este material. Si el bambú está en contacto directo con el suelo y humedades perderá algunas características de resistencia.
- El bambú como toda planta esta vulnerable al ataque de insectos y hongos. Por esto debe ser curado durante su corte.
- Su comportamiento estructural puede variar mucho dependiendo de la especie y esta a su vez del lugar donde crece, la edad, contenido de humedad, sección del culmo a ser utilizada.
- El diámetro del bambú y el espesor de su varia a lo largo de toda la caña, lo que causa algunas veces dificultades en la construcción.
- El bambú al secarse se contrae y su diámetro se reduce. Se debe prever que las piezas estén secas y/o tomar en cuenta este cambio.
- Disponibilidad de pocas herramientas dedicadas al bambú

## **1.4. Normativas existentes a nivel nacional e internacional**

### **1.4.1. Normativa en el Perú**

Mediante el decreto supremo N° 011-2012-VIVIENDA y con informe N° 002-2012- VIVIENDA-VMVU-CPARNE, se eleva la propuesta de incorporación de la Norma Técnica “BAMBU” con código E100 dentro del Título III.2

El objetivo de la Norma E.100 del RNE es establecer los lineamientos técnicos que se deben seguir para el diseño y construcción de edificaciones sismorresistentes con bambú: *Guadua angustifolia* y otras especies de características físico mecánicas similares.

### **1.4.2. Norma Técnica Colombiana (NTC)**

La NTC 5525 especifica los métodos de ensayo para evaluar las propiedades físicas y mecánicas características de la *Guadua angustifolia* Kunth.

La norma comprende los ensayos que se van a realizar sobre segmentos de *Guadua angustifolia* Kunth, para obtener resultados de laboratorio, los cuales se pueden utilizar para establecer valores y resistencias. Los resultados de laboratorio, los cuales se pueden utilizar para establecer valores y resistencias. Los resultados también se pueden usar para establecer relación de propiedades físicas y factores mecánicos , como contenido de humedad, densidad, sitio de cultivo, posición a lo largo del culmo, presencia de nudo y entrenudo, contracción, compresión, flexión, corte y tensión etc, para la funciones de control de calidad.

### **1.4.3. Norma Ecuatoriana**

La INEN tiene una guía de práctica para el uso del bambú en la construcción, la cual comprende temas desde aspectos arquitectónicos, aspectos físicos de la caña *Guadua*, preservación hasta propiedades sismo-resistentes de la misma.

A la norma Ecuatoriana le conciernen todos los campos de la técnica,

relacionados con el desarrollo económico del país, siendo uno de los puntos a fijar las viviendas de interés Social, en la cual hay un déficit muy alto con relación a la calidad y cantidad. Para ello se desarrollaron manuales los cuales facilitan el uso del bambú en la construcción y de cierto modo INEN tiene como objeto difundir, lo mejor posible, los aspectos útiles de este material para el Ecuador.

## **1.5. Productos derivados del bambú**

Hay diversas formas de usar el bambú para la construcción, una es en su forma rolliza, otra es utilizando secciones de su tallo que derivan en elementos para la construcción, desde la manera artesanal hasta la industrial, como lo vienen trabajando desde hace años en China.

### **1.5.1 Esterilla**

Las esterillas o “caña chancada” como se le denomina localmente en el Perú, se han venido utilizando a lo largo de la historia de manera popular en viviendas rurales y urbanas, obras monumentales, en pisos, revestimiento de paredes y techos, a manera de cielos rasos, paredes de bahareque, quincha. Hoy en día también se utiliza en construcciones de concreto, encofrados, en las mismas losas para aligerarlas y disminuir costos.

### **1.5.2 Latas o latillas**

Las latas o latillas son segmentos longitudinales de los bambúes, que se obtienen dividiendo radial longitudinalmente la sección del bambú en 4 o más partes. Se emplean en la construcción de paredes de barro embutido, paredes de quincha, pisos, muebles y otros.

### **1.5.3 Laminados**

Se pueden obtener diferentes productos como tablas, columnas, vigas, paneles, pisos.

Según Jörg Stam, el componente básico para los laminados, son las latas, que se obtienen de la parte gruesa del tallo, principalmente de la “cepa”, “basa” y “sobrebasa” es decir, los primeros 8 a 12 m de un tallo de bambú - guadua. La

cual se raja longitudinalmente y deja 6 a 10 “latas” por tallo, sección rectangular que se obtiene cortando la cáscara exterior y el tejido blanco del interior. Estas latas rústicas se procesan para luego convertirlas en tablillas totalmente secas, para su posterior ensamble, pegante y prensado.

## **1.6. Recolección de muestras**

Para realizar los ensayos de laboratorio, las muestras fueron seleccionadas de un lote de cañas de 4 y 5 años de cultivo que teníamos guardadas en un almacén de la ciudad de Moyobamba pero fueron extraídas del bosque ubicado a 30 min del distrito de Marona las cuales ya estaban previamente curadas mediante inmersión en la poza que contenía ácido bórico, bórax y dicromato de sodio, listas para el uso que se requiera.

### **1.6.1 Proceso de codificación**

Para el proceso de codificación, al tener el bambú en los laboratorios, seleccionamos las muestras que cumplían las características necesarias para cada muestra, entre ellas las dimensiones de las muestras, el corte de cada una y si contenían nudos en su tramo.

En el laboratorio de materiales de la Universidad Privada Antenor Orrego llevamos a cabo los ensayos de contenido de humedad y retraimiento para los cuales, las muestras fueron identificadas con letras del alfabeto para poder facilitar el manejo de datos.

En el laboratorio de materiales de la Universidad Nacional de Ingeniería, se llevaron a cabo los ensayos de densidad básica, y los ensayos para determinar las propiedades mecánicas de las muestras; en aquella oportunidad, las letras fueron empleadas para identificar los ensayos, usamos los números cuatro (4) y cinco (5) para identificar las edades de las muestras, posterior a ello, asignamos el número uno (1) para las muestras que contenían nudos en su tramo y el número dos (2) para aquellas que era solo entrenudos. Luego el ultimo dígito que varía entre el número uno (1) y el diez (10) hace referencia al número de muestra por ensayo.

ENSAYO	N° DE MUESTRAS	CODIGO DE MUESTRA	EDAD DE LAS MUESTRAS (Años)	LONGITUD DE MUESTRAS (mm)	ESPEJOR DE MUESTRAS (mm)
CONTENIDO DE HUMEDAD	4	A	5	1083	107
		B	4	1073	110
		C	5	1075	96
		D	4	1075	94

**TABLA I-3.** Codificación ensayo de contenido de humedad.

ENSAYO	N° DE MUESTRAS	CODIGO DE MUESTRA	EDAD DE LAS MUESTRAS (Años)	LONGITUD DE MUESTRAS (mm)	ESPEJOR DE MUESTRAS (mm)
RETRAIMIENTO	4	A	5	1083	107
		B	4	1073	110
		C	5	1075	96
		D	4	1075	94

**TABLA I-4.** Codificación ensayo de retraimiento.

ENSAYO	N° DE MUESTRAS	CODIGO DE MUESTRA	EDAD DE LAS MUESTRAS (Años)	LONGITUD DE MUESTRAS (mm)	ESPEJOR DE MUESTRAS (mm)
DENSIDAD BASICA	6	C41	4	100	100.0
		C42			99.9
		C43			100.0
		C51	5		99.5
		C52			103.4
		C53			104.5

**TABLA I-5.** Codificación ensayo de densidad básica.

ENSAYO	Nº DE MUESTRAS	CODIGO DE MUESTRA	EDAD DE LAS MUESTRAS (Años)	LONGITUD DE MUESTRAS (mm)	ESPEJOR DE MUESTRAS (mm)
COMPRESION PARALELA A LA FIBRA	20	A411	4	100	107.3
		A412			106.1
		A413			100.2
		A414			102.3
		A415			105.7
		A421			98.9
		A422			100.5
		A423			99.3
		A424			100.7
		A425			100.5
		A511	5		106.6
		A512			109.4
		A513			106.1
		A514			109.3
		A515			105.5
		A521			106.3
		A522			116.9
		A523			105.4
		A524			119.0
		A525			104.4

**TABLA I-6.** Codificación ensayo de compresión paralela a la fibra.

ENSAYO	N° DE MUESTRAS	CODIGO DE MUESTRA	EDAD DE LAS MUESTRAS (Años)	LONGITUD DE MUESTRAS (mm)	ESPESOR DE MUESTRAS (mm)
CORTE	20	B411	4	100	116.3
		B412			96.5
		B413			101.0
		B414			98.9
		B415			103.3
		B421			103.3
		B422			98.8
		B423			115.9
		B424			100.3
		B425			99.9
		B511	5		107.0
		B512			107.8
		B513			107.3
		B514			105.0
		B515			104.7
		B521			105.9
		B522			106.1
		B523			106.5
		B524			106.3
		B525			109.8

**TABLA I-7.** Codificación ensayo de corte.

ENSAYO	N° DE MUESTRAS	CODIGO DE MUESTRA	EDAD DE LAS MUESTRAS (Años)	LONGITUD DE MUESTRAS (mm)	ESPESOR DE MUESTRAS (mm)
TRACCIÓN	20	E41	4	500	47.0
		E42			27.5
		E43			48.0
		E44			25.7
		E45			27.0
		E46			47.7
		E47			48.3
		E48			42.1
		E49			45.6
		E410			27.2
		E51	5		46.8
		E52			46.5
		E53			25.8
		E54			24.8
		E55			27.5
		E56			29.0
		E57			45.4
		E58			48.7
		E59			47.1
		E510			25.5

**TABLA I-8.** Codificación ensayo de tracción.

ENSAYO	N° DE MUESTRAS	CODIGO DE MUESTRA	EDAD DE LAS MUESTRAS (Años)	LONGITUD DE MUESTRAS (mm)	ESPEJOR DE MUESTRAS (mm)
FLEXIÓN ESTÁTICA	8	D41	4	700	101.0
		D42			94.0
		D43			109.0
		D44			109.0
		D51	5		101.5
		D52			111.0
		D53			108.4
		D54			109.0

**TABLA I-9.** Codificación ensayo de flexión estática.

## **CAPÍTULO II: ENSAYOS PARA DETERMINAR LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DEL BAMBÚ.**

## **2.1. Ensayos para determinar las propiedades físicas.**

Los ensayos se realizaron de acuerdo a lo planteado en la *Norma Técnica de Colombia NTC 5525*, el *Reglamento Nacional de Edificaciones* en la norma E.100 y el *Manual Técnico Ecuatoriano INEN 2: 2004* que nos sirvieron de guía mediante el desarrollo de las pruebas.

### **2.1.1. Contenido de Humedad. (NTP 251.010:2004 - NTC 5525)**

#### Objetivos:

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.

#### Equipo:

- Balanza digital, con exactitud 0.1g
- Horno eléctrico.

#### Preparación de las probetas:

Las probetas para la determinación del contenido de humedad fueron preparadas después de los 10 días que la caña estuvo a la intemperie mientras escurría la solución química del curado. La cantidad de probetas fueron 4. La forma de la probeta debe ser prismática, con anchura aproximada de 100 mm y altura de 1070 mm y con espesor igual al espesor de la pared. Las muestras se deben almacenar en condiciones que garanticen que el contenido de humedad no cambie.

#### Procedimiento:

Las probetas se deben pesar con una exactitud de 0,1 g y luego se deben secar en un horno a temperatura de  $103\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Después de 24 h, se debe registrar la masa a intervalos regulares no inferiores a 2 h. Se debe tener mucho cuidado para evitar todo cambio en el contenido de humedad durante el periodo entre el retiro del horno y las

determinaciones posteriores de la masa.

El secado se debe considerar terminado cuando la diferencia entre las determinaciones sucesivas de la masa no excede 0,1 g.



**IMAGEN N° 7.** Pesaje de muestras.



**IMAGEN N° 8.** Colocación de muestras al horno.

Cálculo y expresión de resultados:

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

$$CH = \frac{m - m_o}{m_o} * 100$$

Donde:

m, es la masa de la probeta antes del secado.

m<sub>o</sub>, es la masa de la probeta después del secado.

Cada una con una exactitud de 0,1 g.

El CH se debe calcular con una exactitud de un décimo de porcentaje. Este CH se debe tomar como representativo del CH de la probeta ensayada como un todo. La media aritmética de los resultados obtenidos a partir de probetas individuales se debe registrar como el valor medio del contenido de humedad de las probetas ensayadas.

### **2.1.2. Contracción (NTP 251.012:2004 - NTC 5525)**

Objetivos:

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.

Equipo:

- Wincha, con exactitud 1mm
- Vernier, con exactitud 0.1mm
- Horno eléctrico.

Preparación de las probetas:

Las probetas, con una altura de 1070 mm aproximadamente, se deben preparar a partir de secciones tomadas de culmos completos de guadua. En cada caso, deben estar libres de grietas iniciales. Si los ensayos de contracción se hacen independientemente de otros ensayos, las muestras

de ensayo se deben tomar de la sección más inferior del culmo.

**Procedimiento:**

La contracción se debe medir en el diámetro externo  $D$ , en el espesor de la pared  $t$  y en la longitud  $L$  de la probeta.

Se deben hacer marcas adecuadas en la probeta para facilitar que todas las observaciones se realicen cada vez del mismo lugar. En cada probeta, se deben medir 4 diámetros, 4 espesores de pared (dos en cada extremo) y 2 longitudes. Se debe permitir que la probeta se seque lentamente en condiciones de humedad gradualmente decreciente y temperatura creciente. Las masas y las dimensiones se deben registrar con regularidad hasta que las dimensiones sean constantes o se termine un ciclo completo de secado. Por último, las probetas se deben poner en un horno con temperatura aproximada de  $103\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ , de tal forma que se sequen completamente, después de lo cual, se deben tomar las dimensiones por última vez.



**IMAGEN N° 9.**Toma de datos post-secado al horno.

**Cálculo y expresión de resultados:**

La contracción desde la condición inicial húmeda hasta la condición final seca, expresada como porcentaje ajustado a una cifra decimal, se debe calcular con la siguiente fórmula:

$$\left(\frac{I - F}{I}\right) * 100$$

Donde:

I, Lectura inicial.

F, Lectura final.

Cada lectura es el valor promedio del diámetro (1mm), el espesor de la pared (0.1mm) o la longitud (10mm).

### **2.1.3. Densidad básica. (NTP 251.011:2004 - MTE INEN 2:2004)**

Objetivos:

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.

Equipo:

- Vernier, con exactitud de 0.05mm
- Balanza, con exactitud de 0.1g
- Equipo para la determinación del contenido de humedad.

Preparación de las probetas:

La cantidad de probetas fueron 6. La forma de la probeta debe ser prismática, con diámetro aproximado de 100 mm y altura promedio de 100 mm. Las muestras se deben almacenar en condiciones que garanticen que el contenido de humedad no cambie.

Para la determinación de la masa por unidad de volumen, también se permite preparar la muestra de ensayo a partir de una sección transversal total de las probetas, siempre y cuando el volumen se pueda medir con facilidad.



**IMAGEN N° 10.** Probetas para ensayo de densidad.

#### Procedimiento:

Mida las dimensiones de las probetas con exactitud de 0,05 mm y calcule el volumen o determínelo con un método adecuado (por ejemplo mediante inmersión), con una exactitud de 10 mm<sup>3</sup>. Realice este procedimiento en condición húmeda (verde) o con el contenido de humedad durante el ensayo mecánico, según se requiera. En el último caso, determine el contenido de humedad según el ensayo de contenido de humedad.

Seque las probetas hasta obtener una masa constante pero hágalo gradualmente para minimizar la deformación y el fisurado.

Realice las operaciones de pesaje inmediatamente después del secado.

Determine la masa de las probetas con una exactitud de 0,1 g.

#### Cálculo y expresión de resultados:

El volumen puede ser determinado por tres métodos.

- Si la pieza de ensayo es como un prisma, las dimensiones pueden ser medidas con un calibrador Vernier, o el volumen puede ser medido en un medidor de volumen de mercurio.
- Si la pieza de ensayo es como un cilindro (un anillo de un entrenudo), o el

volumen puede ser medido en un medidor de volumen de agua.

- Si la pieza de ensayo es de un nudo, el volumen puede ser medido solamente por inmersión en un medidor de volumen de agua.

No se recomienda cubrir los extremos con parafina u otra cubierta similar antes de la inmersión en agua; la inmersión dura solamente unos pocos segundos y la penetración del agua en el bambú durante tan corto tiempo puede ser despreciada.

Un procedimiento adecuado para la inmersión de un entrenudo es el siguiente:

- Determinar la masa,  $m$ .
- Colocar la balanza sobre un baño con 40 litros de agua a 25° C; no hay que preocuparse por esta temperatura; el error en la masa por volumen es solo el 3 por mil por diez grados de diferencia en temperatura.
- Determinar el peso  $W$  del equipo con el cual la pieza de ensayo es sumergida bajo el agua.
- Colocar la pieza de ensayo bajo el agua y leer en la balanza el peso bajo el agua,  $W_u$ . (equipo más bambú).
- Calcular el volumen de la pieza de ensayo con esta fórmula:

Volumen ( $\text{cm}^3$ ) = masa ( $m$ , en g) - peso bajo el agua ( $W_u$ , en g) + el peso del equipo ( $W$ , en g).



**IMAGEN N° 11.** Inmersión de probeta.

Expresar los resultados en  $\text{kg/m}^3$ .

La densidad  $\rho$  de cada probeta en la misma condición que durante el ensayo, está determinada por la misma fórmula, con  $m$  anhidra y  $V$  en la condición durante el ensayo.

Calcule, con una exactitud de  $10 \text{ kg/m}^3$ , la media aritmética de los resultados obtenidos para las probetas individuales y registre este valor como el promedio de la densidad de las probetas ensayadas.

## **2.2. Ensayos para determinar las propiedades mecánicas.**

Los ensayos se realizaron de acuerdo a lo planteado en la *Norma Técnica de Colombia NTC 5525*, el *Reglamento Nacional de Edificaciones* en la norma E.100 y el *Manual Técnico Ecuatoriano INEN 2: 2004* que nos sirvieron de guía mediante el desarrollo de las pruebas.

### **2.2.1. Compresión paralela a la fibra. (NTP 251.014:2004 - NTC 5525)**

#### Objetivos:

Determinación del esfuerzo último de compresión de las probetas provenientes de los culmos de *Guadua angustifolia*.

#### Equipo:

Los ensayos se deben realizar en una máquina adecuada para ellos. Al menos una pletina de la máquina debe tener un apoyo hemisférico para obtener una distribución uniforme de la carga en los extremos de la probeta. Entre las dos pletinas de acero de la máquina y los dos extremos de la muestra se debe colocar una capa intermedia para reducir a un mínimo la fricción.

#### Preparación de las probetas:

Las probetas fueron codificadas de tal manera que podíamos diferenciar las muestras de 4 y 5 años, las muestras que tenían nudo y las que no, respectivamente.

Los ensayos de compresión axial se deben llevar a cabo en probetas cuya longitud sea igual al diámetro externo. Estas limitaciones son válidas en el caso de ensayos con propósitos comerciales; en el caso de los ensayos para investigación científica, existe libertad para determinar algo diferente.

Las superficies de los extremos de la probeta deben estar en ángulo perfectamente recto con la longitud de ésta; deben ser planos, con una desviación máxima de 0,2 mm.

#### Procedimiento:

La probeta se debe colocar de tal forma que el centro del cabezal móvil esté verticalmente sobre el centro de la sección transversal de la probeta y se aplica inicialmente una carga pequeña, no mayor a 1 kN, para acomodar la probeta.

La carga se debe aplicar continuamente durante el ensayo para hacer que el cabezal móvil de la máquina de ensayo se desplace a una velocidad constante de 0,01 mm/s.

Cuando sea necesario se deben realizar lecturas de deformación la cantidad necesaria de veces para poder hacer un diagrama lo más exacto posible de la deformación frente a la carga, a partir de la cual se determina el valor de  $E$ .

Se debe registrar la lectura final de la carga máxima a la cual falla la probeta.



**IMAGEN N° 12.** Ensayo de compresión.



**IMAGEN N° 13.** Fallas típicas por compresión.

Cálculo y expresión de resultados:

El esfuerzo último de compresión se debe determinar con la siguiente fórmula:

$$\sigma_{ult} = F_{ult}/A$$

Donde:

$\sigma_{ult}$ , es el esfuerzo último de compresión, en MPa (o N / mm<sup>2</sup>), redondeado con aproximación de 0,5 MPa.

$F_{ult}$ , es la carga máxima a la cual falla la probeta, en N.

$A$ , es el área de la sección transversal, en mm<sup>2</sup>.

El esfuerzo último promedio de la muestra de ensayo se debe calcular con aproximación de 0,5 MPa como la media aritmética de los resultados de ensayo de las probetas.

### **2.2.2. Corte. (NTP 251.013:2004 - NTC 5525)**

Objetivos:

Determinación de la resistencia última al esfuerzo cortante, paralelo a las fibras, en probetas provenientes de culmos de *Guadua angustifolia*.

Equipo:

Los ensayos se deben realizar en una máquina de compresión sin las capas intermedias. En su lugar, la probeta se debe apoyar en el extremo inferior, sobre dos cuartas partes de su superficie, opuestas entre sí; y se debe aplicar la carga en el extremo superior, sobre las dos cuartas partes que no están apoyadas.

Esta forma de apoyar y aplicar la carga a la probeta produce cuatro áreas de corte.

#### Preparación de las probetas:

Los 50 % de las probetas para los ensayos de corte paralelos a la fibra deben tener nudo y el 50 % restante no deben tener nudo. La longitud de la probeta debe ser igual a su diámetro.

Estas limitaciones son válidas en caso de ensayos con propósitos comerciales; en caso de investigación científica, existe libertad para determinar algo diferente.

Las superficies de los extremos de la probeta deben estar en ángulo recto con la longitud de ésta. Las superficies deben ser planas.

El espesor de pared  $t$  y la altura  $L$  de la probeta se deben tomar en las cuatro áreas de corte.

#### Procedimiento:

La probeta se debe colocar de manera tal que el centro del cabezal móvil esté verticalmente sobre el centro de la sección transversal de la misma. La probeta también debe estar centrada con relación a los cuartos de soporte y de carga. Inicialmente se aplica una carga pequeña, no superior a 1 kN, para acomodar la probeta.

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 0,01 mm/s.

Se debe registrar la lectura final de la carga máxima en la cual falló la probeta, así como la cantidad de áreas que fallaron.



**IMAGEN N° 14.** Ensayo de corte.



**IMAGEN N° 15.** Falla típica por corte.

Cálculo y expresión de los resultados:

La resistencia última de corte se debe calcular con la siguiente fórmula:

$$\tau_{ult} = \frac{F_{ult}}{\sum(t * L)}$$

Donde:

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

$F_{ult}$ , es el valor máximo de la carga aplicada en la cual falla la probeta, expresada en N

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

### 2.2.3 Flexión estática. (NTP 251.017:2004 - NTC 5525)

Objetivos:

Determinación de:

- La capacidad de flexión de los culmos usando un ensayo de flexión.
- La curva de carga frente a la deflexión vertical.
- El módulo de elasticidad nominal del culmo.

Equipo:

- Máquina de ensayo, con capacidad para medir la carga con exactitud de 1 % de la escala utilizada y la deflexión con exactitud de mm.
- Montaje para flexionar el culmo, aplicando una carga en la distancia media entre los centros de las monturas del dispositivo de carga.

La carga se debe dividir en dos mitades mediante una viga apropiada. Para evitar el aplastamiento del culmo, las mitades de las cargas y las fuerzas de reacción en los soportes se deben aplicar en los nudos mediante los dispositivos apropiados.

En los soportes, se debe permitir que el culmo de guadua rote libremente.

- Deformímetro.

Preparación de los culmos de ensayo:

Los culmos de ensayo no deben tener defectos visibles.

Para lograr una falla en flexión, el espacio libre debe ser al menos  $30 \times D$ , donde  $D$  es el diámetro externo. Pero debido a la disponibilidad de la máquina para realizar los ensayos de flexión se tuvo que trabajar con muestras de 75 cm de longitud.

La longitud total del culmo debe ser la longitud entre apoyos más una longitud adicional que garantice al menos un entrenudo después del apoyo en cada extremo.

Procedimiento:

Determine el valor medio del diámetro externo  $D$  y del espesor de la pared  $t$   
Calcule el momento de inercia:

$$I_B = \frac{\pi}{64} * [D^4 - (D - 2t)^4]$$

NOTA Este valor de  $I_B$  se usa para predecir el comportamiento durante el ensayo.

Coloque el culmo en su lugar en la máquina de ensayo, apoyado sobre los dos soportes en los dos apoyos, permitiendo que la probeta encuentre su propia posición. Alinee visualmente el culmo, los soportes, la carga y los apoyos en un plano vertical.

La aplicación de la carga al culmo se debe hacer uniformemente a velocidad constante.

La velocidad de ensayo (preferiblemente con movimiento constante del cabezal de carga de la máquina o con incremento constante de carga) debe ser de 0,5 mm/s.



**IMAGEN N° 16.** Ensayo de flexión.



**IMAGEN N° 17.** Falla por flexión.

Cálculo y expresión de los resultados:

La resistencia última,  $\sigma_{ult}$ , en MPa (o N/mm<sup>2</sup>), en la flexión estática con el contenido de humedad en el momento del ensayo está determinado por la siguiente fórmula:

$$\sigma_{ult} = \frac{32 * M * D_{ext}}{\pi * (D_{ext}^4 - D_{int}^4)}$$

Donde:

M, es el momento máximo, en N-mm.

$D_{ext}$ , es el diámetro externo, en mm.

$D_{int}$ , es el diámetro interno, en mm.

Expresar los resultados con una exactitud de 1 MPa (o N/mm<sup>2</sup>).

El módulo de elasticidad (módulo de *Young*) está determinado por la pendiente de la parte lineal del diagrama de deformación frente a la carga.

El módulo de elasticidad  $E$ , en MPa, se calcula usando la siguiente fórmula:

$$E = \frac{23 * F * L^3}{1296 * \delta * I_B}$$

Donde:

F, es la fuerza máxima aplicada, en N.

L, es longitud del culmo, en mm.

$\delta$ , es la deflexión máxima, en mm.

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

La resistencia última media de la muestra y su desviación estándar se debe calcular, con una exactitud de 1 MPa, a partir de los resultados de los culmos individuales de la muestra.

#### **2.2.4 Tracción. (NTP 251.018:2004 - NTC 5525)**

Objetivos:

Determinación de la resistencia última a la tensión, paralela a las fibras, aplicando una carga gradualmente creciente sobre la probeta.

Equipo:

Los sujetadores de la máquina de ensayo deben asegurar que la carga se aplique a lo largo del eje longitudinal de la probeta y deben evitar la torsión longitudinal de ésta. Los sujetadores deben sostener la probeta perpendicular a las fibras y en dirección radial.

La carga se debe aplicar continuamente durante todo el ensayo a una velocidad de movimiento del cabezal móvil de 0,01 mm/s. La carga se debe medir con exactitud del 1 % de la escala utilizada.

Las dimensiones de la sección transversal de la porción de ensayo de la probeta se deben medir con una exactitud de 0,1 mm

Preparación de las probetas:

Los ensayos de tensión paralela a las fibras se deben hacer en probetas con un nudo, que debe estar en la porción de ensayo. Esta limitación es válida en caso de ensayos con propósitos comerciales; en caso de investigación científica, existe libertad para determinar algo diferente.

La dirección general de las fibras debe ser paralela al eje longitudinal de la

porción de ensayo de la probeta. La porción de ensayo debe tener una sección transversal rectangular cuyas dimensiones sean iguales al espesor de la pared o menor en la dirección radial; y de 10 mm a 20 mm en la dirección tangencial. La longitud de la porción de ensayo debe estar entre 50 mm y 100 mm.

Los extremos de las probetas deben tener una forma tal que garantice que la falla se produce en la porción de ensayo y que minimice la concentración del esfuerzo en el área de transición. Se permite usar probetas con extremos laminados.

Para determinar el módulo de elasticidad E, se debe usar alguno de los siguientes instrumentos de medición: deformímetros eléctricos, mecánicos, electromecánicos, de imagen digital, mínimo dos por probeta, cada uno de ellos en el lado opuesto de la probeta.

#### Procedimiento:

Mida las dimensiones de la sección transversal de la porción de ensayo de la probeta con una exactitud de 0,1 mm, en tres lugares de la porción de ensayo, y calcule el valor medio.

Asegure los extremos de la probeta entre los sujetadores de la máquina de ensayo, a una distancia segura desde la porción de ensayo. Aplique la carga a velocidad constante. Lea la carga máxima. Deseche los resultados obtenidos en probetas cuya falla se produzca fuera de la porción de ensayo.



**IMAGEN N° 18.** Ensayo de tracción.



**IMAGEN N° 19.** Falla por tracción en probeta sin corte.



**IMAGEN N° 20.** Falla por tracción en probeta con corte.

Cálculo y expresión de los resultados:

La resistencia máxima de tensión se debe determinar con la siguiente fórmula:

$$\sigma_{ult} = F_{ult}/A$$

Donde:

$\sigma_{ult}$ , es el esfuerzo último de compresión, en MPa (o N / mm<sup>2</sup>), redondeado con aproximación de 0,5 MPa.

$F_{ult}$ , es la carga máxima a la cual falla la probeta, en N.

$A$ , es el área de la sección transversal, en mm<sup>2</sup>.

## **CAPÍTULO III: CÁLCULO Y EXPRESIÓN DE LOS RESULTADOS**

### 3.1 Cálculo de resultados

Después de realizados los ensayos en los diferentes laboratorios, se tabularon los resultados obtenidos, y mediante la aplicación de herramientas estadísticas y las formulas respectivas se encontraron los valores promedios en las distintas pruebas a fin de ser comparadas con los valores de los esfuerzos admisibles estipulados en el Reglamento Nacional de Edificaciones en la norma E.100

<b>ESFUERZOS ADMISIBLES</b>				
<b>FLEXION (fm)</b>	<b>TRACCION PARALELA (ft)</b>	<b>COMPRESION PARALELA (fc)</b>	<b>CORTE (fv)</b>	<b>COMPRESION PERPENDICULAR (f'c)</b>
5 Mpa (50 kg/cm <sup>2</sup> )	16 Mpa (160 kg/cm <sup>2</sup> )	13 Mpa (130 kg/cm <sup>2</sup> )	1 Mpa (10 kg/cm <sup>2</sup> )	1.3 Mp (13 g/cm <sup>2</sup> )

**TABLA III-10.** Esfuerzos admisibles RNE E.100 (Fuente: RNE - E100 Bambú - Tabla 8.4.1)

### 3.2 Expresión de resultados

#### 3.2.1. Contenido de humedad y Retraimiento:

MUESTRA	Edad (Años)	MUESTRA CURADA				MUESTRA SECADA EN HORNO				RESULTADOS		
		Diámetro de Muestras (mm)	Ancho de Pared (mm)	Longitud de Muestras (mm)	Peso (g)	Diámetro de Muestras (mm)	Ancho de Pared (mm)	Longitud de Muestras (mm)	Peso (g)	Contenido de Humedad (%)	Retraimiento Longitudinal (%)	Retraimiento Transversal (%)
A	5	107.0	14.0	1083.0	3753.9	107.0	13.5	1081.0	3299.0	13.8	0.2	0.0
B	4	110.0	11.0	1073.0	3335.5	110.0	10.5	1072.0	2880.6	15.8	0.1	0.0
C	5	96.0	15.0	1075.0	2947.0	94.0	14.0	1073.0	2565.6	14.9	0.2	2.1
D	4	94.0	15.0	1075.0	2868.5	94.0	14.0	1075.0	2491.3	15.1	0.0	0.0

TABLA III-11. Datos y resultados obtenidos del contenido de humedad y retraimiento.

### 3.2.2. Densidad Básica

N°	MUESTRA	EDAD (Años)	CARACTERISTICAS DE LAS PROBETAS				
			Peso de Muestra (gr)	Peso Equipo (gr)	Peso Muestra + Equipo (gr)	Volumen (cm <sup>3</sup> )	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )
1	C41	4	216.0	1197.4	1126.9	286.5	753.9
2	C42	4	244.0	1197.4	1104.4	337.0	724.0
3	C43	4	243.0	1197.4	1104.4	336.0	723.2
4	C51	5	245.0	1197.4	1089.4	353.0	694.1
5	C52	5	250.4	1197.4	1063.9	383.9	652.3
6	C53	5	313.2	1197.4	1006.4	504.2	621.2

**TABLA III-12.** Datos y resultados obtenidos de la densidad básica.

### 3.2.3. Compresión paralela a la fibra

N°	MUESTRA	EDAD (Años)	Espesor de Pared (mm)	Diámetro de Muestra (mm)	Longitud (mm)	Masa de Muestra (Kg)	Carga Máxima (N)	Área de Sección Transversal (mm <sup>2</sup> )	Esfuerzo Ultimo de Compresión (Mpa)
1	A411	4	14.5	107.3	100.0	350.5	150041.75	4218.90	35.6
2	A412		14.6	106.1	100.0	332.3	134351.11	4182.48	32.1
3	A413		12.8	100.2	100.0	266.2	122583.13	3514.56	34.9
4	A414		12.0	102.3	100.0	293.9	119641.13	3410.38	35.1
5	A415		16.5	105.7	100.0	341.8	161809.73	4621.20	35.0
6	A421		9.8	98.9	100.0	215	112776.48	2729.18	41.3
7	A422		11.1	100.5	100.0	253.4	90221.18	3117.53	28.9
8	A423		10.1	99.3	100.0	221.5	116699.14	2816.31	41.4
9	A424		9.9	100.7	100.0	230.8	115718.47	2828.83	40.9
10	A425		9.7	100.5	100.0	240.3	150041.75	2760.62	54.4
11	A511	5	15.2	106.6	100.0	332.1	152983.74	4364.55	35.1
12	A512		17.8	109.4	100.0	334.4	120621.80	5107.91	23.6
13	A513		16.1	106.1	100.0	361.1	166713.05	4549.64	36.6
14	A514		16.9	109.3	100.0	377	158867.73	4891.27	32.5
15	A515		14.7	105.5	100.0	333.6	137293.10	4187.29	32.8
16	A521		17.8	106.3	100.0	293.3	147099.75	4951.70	29.7
17	A522		13.2	116.9	100.0	256.8	140235.10	4300.34	32.6
18	A523		14.9	105.4	100.0	284.2	161809.73	4222.06	38.3
19	A524		13.9	119.0	100.0	284.2	156906.40	4589.52	34.2
20	A525		13.1	104.4	100.0	395.2	158867.73	3763.58	42.2

**TABLA III-13.** Datos y resultados obtenidos de la compresión paralela a la fibra.

### 3.2.4. Corte

MUESTRA	EDAD (Años)	Espesor de Pared (mm)	Diámetro de Muestra (mm)	Longitud (mm)	Masa de Muestra (Kg)	Carga Máxima (N)	$\Sigma (L \cdot e)$	Resistencia Última al Corte (Mpa)
B411	4	12.4	116.3	100.0	442.9	40207.3	4970	8.1
B412		10.5	96.5	100.0	307.5	38245.9	4190	9.1
B413		10.7	101.0	100.0	264.0	32361.9	4280	7.6
B414		11.6	98.9	100.0	278.7	28439.3	4640	6.1
B415		11.7	103.3	100.0	289.7	33342.6	4680	7.1
B421		11.8	103.3	100.0	250.7	34519.4	4730	7.3
B422		10.0	98.8	100.0	238.3	34911.7	4000	8.7
B423		12.6	115.9	100.0	226.3	40795.7	5040	8.1
B424		9.8	100.3	100.0	226.3	24908.9	3920	6.4
B425		10.3	99.9	100.0	241.4	25889.6	4120	6.3
B511	5	15.3	107.0	100.0	390.8	65900.7	6120	10.8
B512		16.3	107.8	100.0	354.7	50210.0	6510	7.7
B513		18.2	107.3	100.0	369.5	54917.2	7280	7.5
B514		13.6	105.0	100.0	298.3	48052.6	5430	8.8
B515		13.2	104.7	100.0	310.4	41187.9	5280	7.8
B521		16.2	105.9	100.0	299.8	39226.6	6480	6.1
B522		14.2	106.1	100.0	273.1	32558.1	5670	5.7
B523		15.5	106.5	100.0	272.6	45110.6	6180	7.3
B524		13.6	106.3	100.0	267.0	42953.1	5420	7.9
B525		19.4	109.8	100.0	328.3	41972.5	7740	5.4

TABLA III-14. Datos y resultados obtenidos del ensayo de corte.

### 3.2.5. Flexión

N°	MUESTRA	EDAD (Años)	Espesor de Pared (mm)	Diámetro de Muestra (mm)	Longitud (mm)	Carga Máxima (Kg)	Carga Máxima (N)	Deflexión Máxima (mm)	Luz (mm)	Momento de Inercia (mm <sup>4</sup> )	Momento Máximo (N-mm)	Resistencia Última (Mpa)	Módulo de Elasticidad (Mpa)
1	D41	4	10.0	101.0	700.0	300	2942.00	4.30	650.0	2995001.39	318716.13	5	1113.4
2	D42		10.0	94.0	700.0	340	3334.26	4.77	650.0	2360529.40	361211.61	7	1443.2
3	D43		10.4	109.0	700.0	360	3530.39	4.60	650.0	3958483.77	382459.35	5	944.9
4	D44		13.8	109.0	700.0	450	4412.99	5.77	650.0	4773983.58	478074.19	5	780.8
5	D51	5	10.5	101.5	700.0	470	4609.13	4.26	650.0	3148597.50	499321.93	8	1674.8
6	D52		14.7	111.0	700.0	700	6864.66	8.90	650.0	5275450.61	743670.96	8	712.6
7	D53		13.0	108.4	700.0	880	8629.85	5.72	650.0	4514802.45	934900.64	11	1628.7
8	D54		13.5	109.0	700.0	800	7845.32	6.64	650.0	4709736.55	849909.67	10	1222.7

**TABLA III-15.** Datos y resultados obtenidos de la flexión.

### 3.2.6. Tracción

N°	MUESTRA	EDAD (Años)	Ancho de Muestra (mm)	Longitud Porción de Ensayo (mm)	Longitud Total de Muestra (mm)	Carga Máxima (N)	Área Sección Transversal (mm <sup>2</sup> )	Esfuerzo Ultimo de Tracción (Mpa)
1	E41	4	47.0	65.0	500.0	41800	3055.0	14
2	E42		27.5	65.0	500.0	37700	1787.5	21
3	E43		48.0	65.0	500.0	49600	3120.0	16
4	E44		25.7	65.0	500.0	35300	1670.5	21
5	E45		27.0	65.0	500.0	33200	1755.0	19
6	E46		47.7	65.0	500.0	65600	3100.5	21
7	E47		48.3	65.0	500.0	40100	3139.5	13
8	E48		42.1	65.0	500.0	37400	2736.5	14
9	E49		45.6	65.0	500.0	58800	2964.0	20
10	E410		27.2	65.0	500.0	40200	1768.0	23
11	E51	5	46.8	65.0	500.0	31600	3042.0	10
12	E52		46.5	65.0	500.0	43700	3022.5	14
13	E53		25.8	65.0	500.0	28900	1677.0	17
14	E54		24.8	65.0	500.0	36200	1612.0	22
15	E55		27.5	65.0	500.0	30800	1787.5	17
16	E56		29.0	65.0	500.0	41200	1885.0	22
17	E57		45.4	65.0	500.0	54400	2951.0	18
18	E58		48.7	65.0	500.0	62100	3165.5	20
19	E59		47.1	65.0	500.0	58500	3061.5	19
20	E510		25.5	65.0	500.0	40200	1657.5	24

**TABLA III-16.** Datos y resultados obtenidos de la tracción.

## **CAPITULO IV: ANÁLISIS DE RESULTADOS**

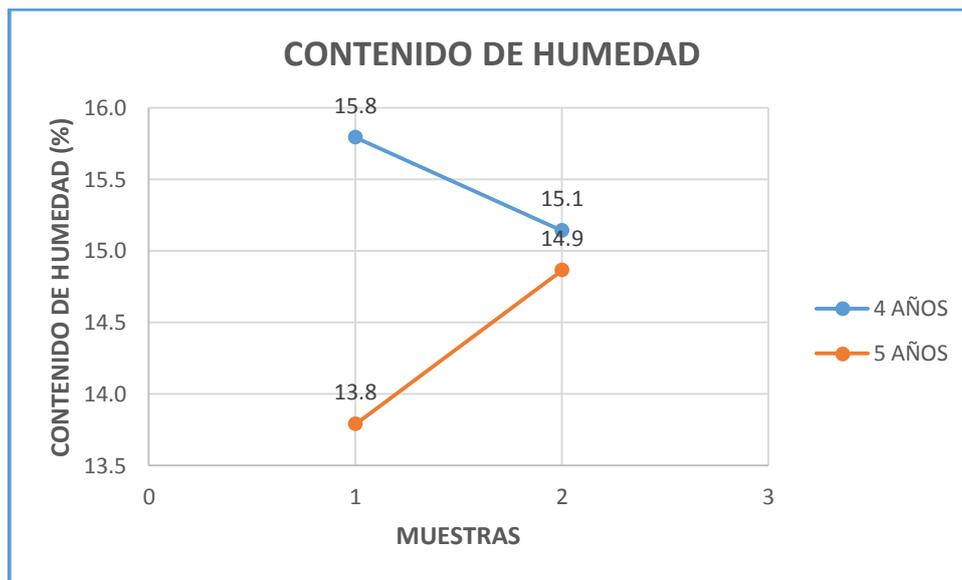
#### 4.1. ENSAYO DE CONTENIDO DE HUMEDAD

El resumen de los valores obtenidos para el contenido de humedad en las muestras de guadua estudiadas se observan en la tabla IV-17.

	MUESTRA 4 AÑOS	MUESTRA DE 5 AÑOS
Contenido de humedad mayor (%)	15.8	14.9
Contenido de humedad menor (%)	15.1	13.8
Contenido de humedad promedio	15.5	14.3

Para ser utilizada como material de construcción, y específicamente con fines estructurales, el contenido de humedad debe ser inferior a 15% (NTP 251.010)

**TABLA IV-17.** Resumen de resultados - Contenido de humedad.



**GRAFICO N° 2.** Resultados de contenido de humedad por muestra.

## 4.2 ENSAYO DE CONTRACCIÓN



**GRAFICO N° 3.** Resultados de contracción por muestra.

### 4.3 ENSAYO DE DENSIDAD BASICA

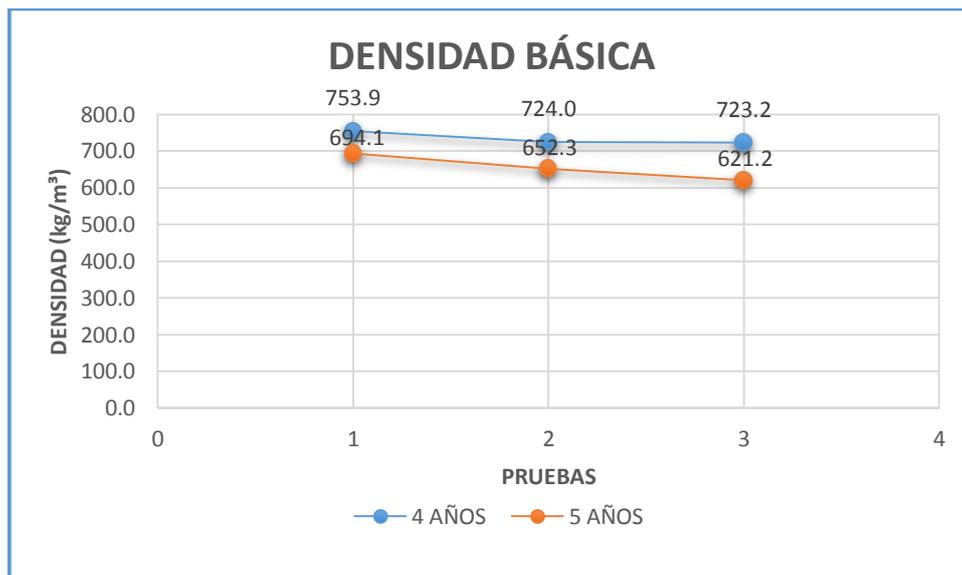
Los valores máximos, mínimo y promedio de las muestras (6) los podemos observar en la tabla

	4 AÑOS	5 AÑOS
Densidad Máxima (Kg/m <sup>3</sup> )	753.9	694.1
Densidad Promedio (Kg/m <sup>3</sup> )	733.7	655.8
Densidad Mínima (Kg/m <sup>3</sup> )	723.2	621.2

**TABLA IV-18.** Resumen de resultados - Densidad básica.

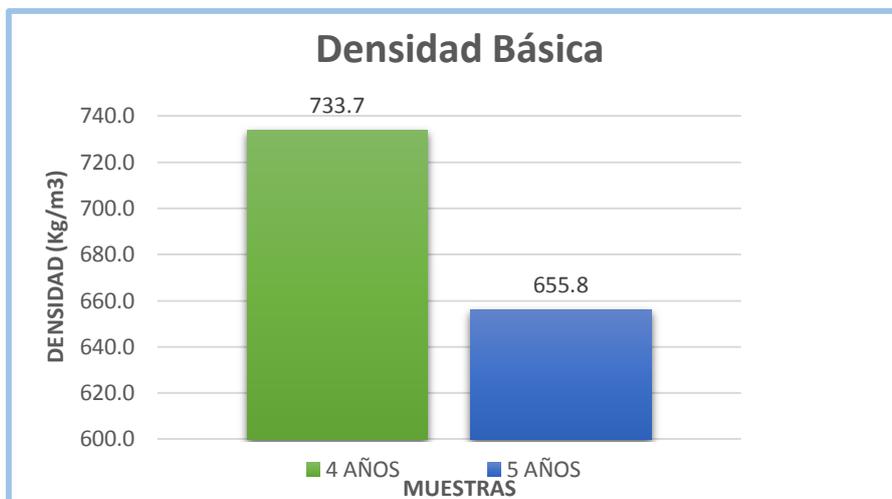
En el anexo, tabla N°25 .se muestra al detalle todo los valores requeridos para el ensayo de densidad básica.

Se puede observar que la guadua de 4 años presenta una densidad mayor a la de 5 años, variando en 11.87%



**GRAFICO N° 4.** Resultados de densidad por muestra.

El grafico N°5 muestra el promedio de la densidad básica de las muestras según la edad.



**GRAFICO N° 5.** Comparación de los promedios obtenidos de densidad básica.

#### 4.4 ENSAYO DE COMPRESIÓN PARALELA A LA FIBRA

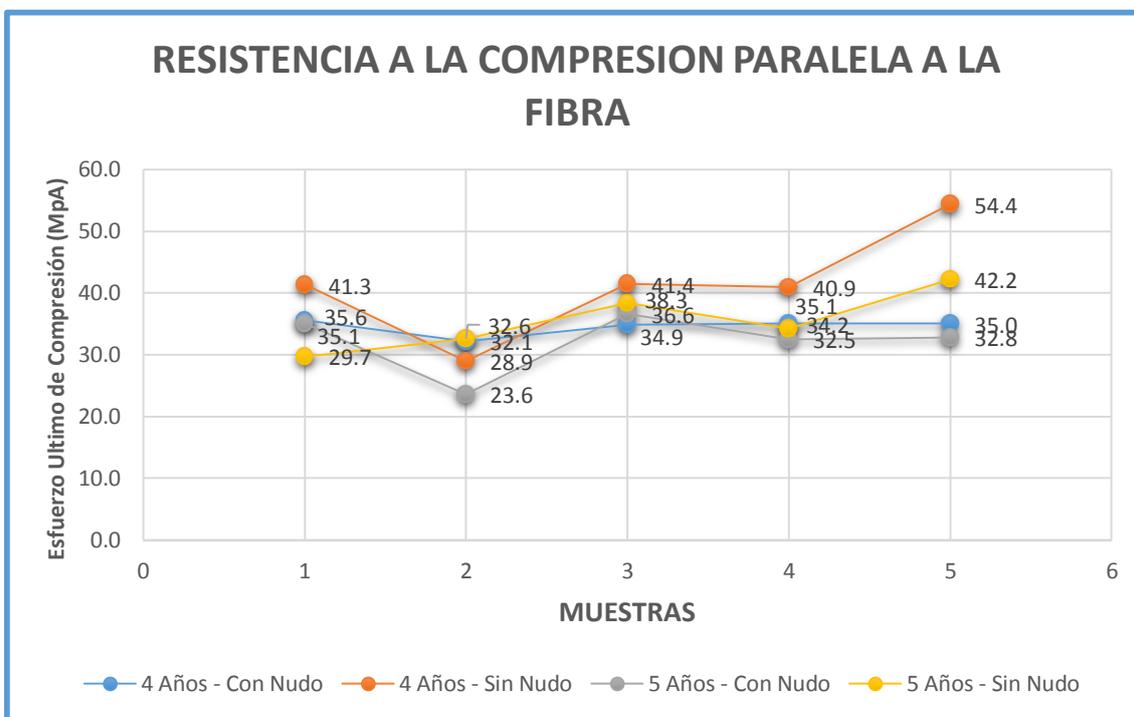
La tabla IV-19 nos permite observar los valores obtenidos de este ensayo.

	MUESTRA 4 AÑOS		MUESTRA 5 AÑOS	
	4 - Con nudo	4 - Sin nudo	5 - Con nudo	5 - Sin nudo
Esfuerzo Máximo a la compresión (Mpa)	35.6	54.4	36.6	42.2
Esfuerzo Promedio a la compresión (Mpa)	34.5	41.4	32.1	35.4
Esfuerzo Mínimo a la compresión (Mpa)	32.1	28.9	23.6	29.7
Esfuerzo Admisible RNE E100 (Mpa)	1.3		1.3	

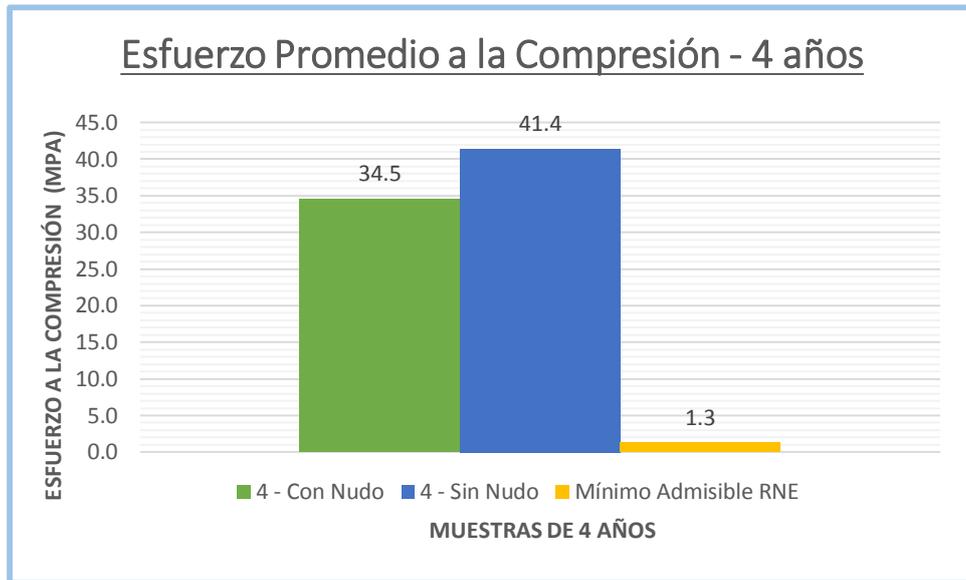
**TABLA IV-19.** Resumen de resultados - Compresión paralela a la fibra.

La diferencia que existe entre las muestras de 4 y 5 años respectivamente es baja, esto no es suficiente evidencia para decir con exactitud que una muestra de determinada edad soporta mayor carga que otra.

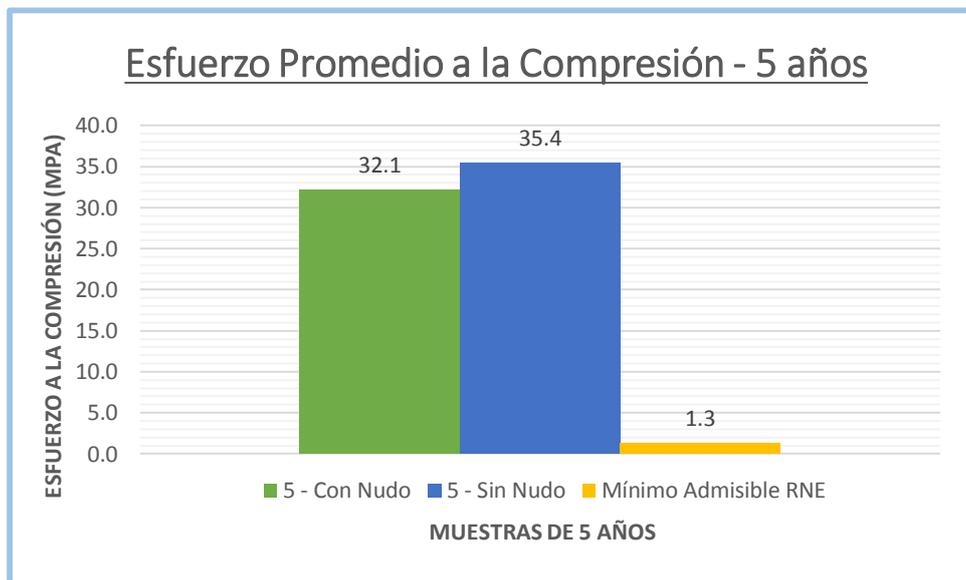
Este ensayo permitió realizar las gráficas N°6, 7 y 8 que muestran el valor del esfuerzo de compresión paralela a la fibra para cada una de las muestras.



**GRAFICO N° 6.** Valores de esfuerzos obtenidos de las muestras en el ensayo de compresión paralela a la fibra.



**GRAFICO N° 7.** Valor promedio del ensayo de compresión de las muestras de 4 años comparado con el valor mínimo según RNE.



**GRAFICO N° 8.** Valor promedio del ensayo de compresión de las muestras de 5 años comparado con el valor mínimo según RNE.

## 4.5 ENSAYO DE CORTE

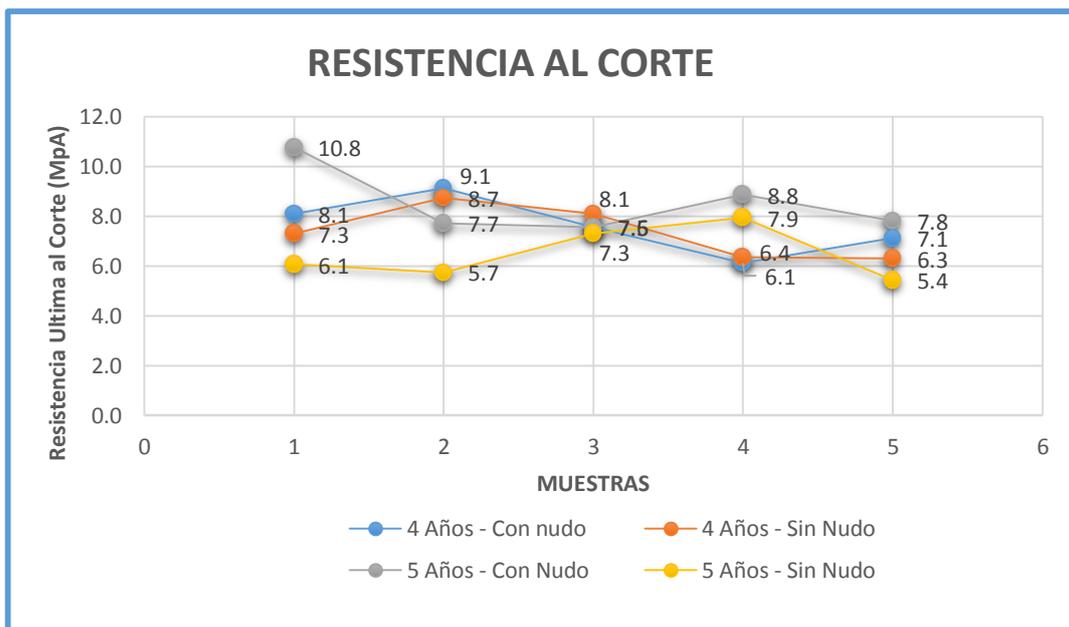
La tabla IV-20 representa los datos que resultaron al realizar el ensayo de corte.

	MUESTRA 4 AÑOS		MUESTRA 5 AÑOS	
	4 - Con nudo	4 - Sin nudo	5 - Con nudo	5 - Sin nudo
Esfuerzo Máximo al Corte (Mpa)	9.1	8.7	10.8	7.9
Esfuerzo Promedio al Corte (Mpa)	7.6	7.4	8.5	6.5
Esfuerzo Mínimo al Corte (Mpa)	6.1	6.3	7.5	5.4
Esfuerzo Admisible RNE E100 (Mpa)	1		1	

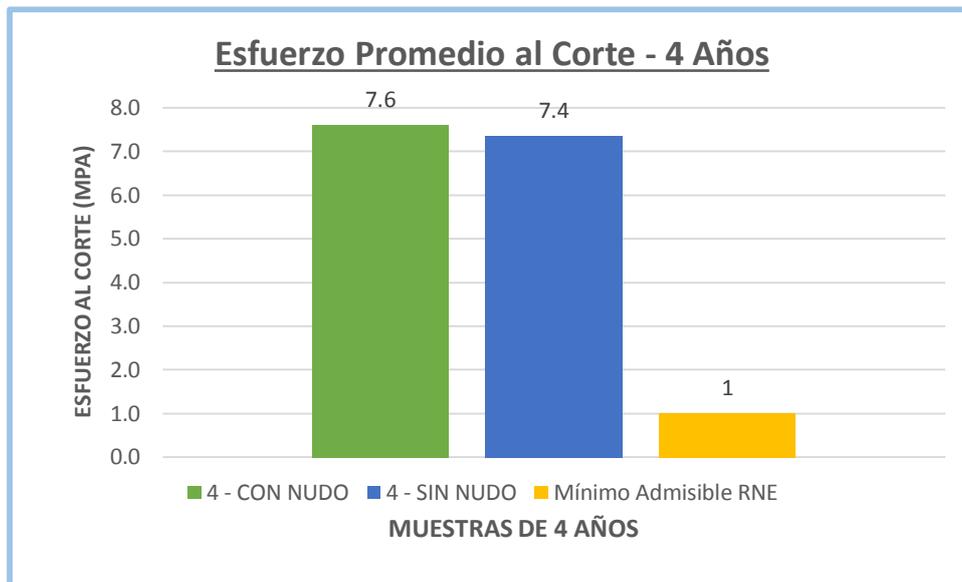
**TABLA IV-20.** Resumen de resultados - Corte.

Según los valores obtenidos en el ensayo de corte, podemos observar que un nudo en una muestra no influye en la resistencia de esta.

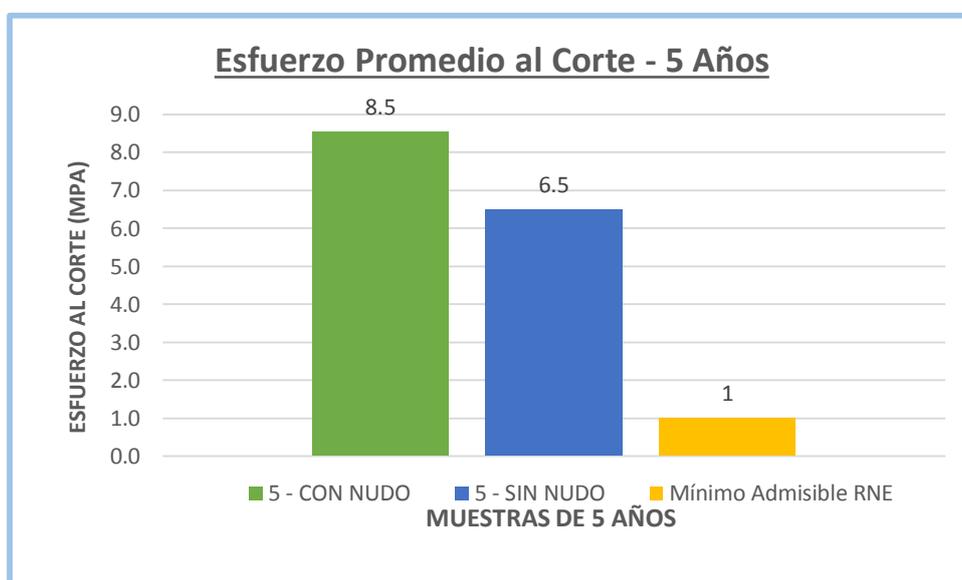
Los datos obtenidos nos muestran la gráfica N°9, 10 y 11.



**GRAFICO N° 9.** Valores de esfuerzos obtenidos de las muestras en el ensayo de corte.



**GRAFICO N° 10.** Valor promedio del ensayo de corte de las muestras de 4 años comparado con el valor mínimo según RNE.



**GRAFICO N° 11.** Valor promedio del ensayo de corte de las muestras de 5 años comparado con el valor mínimo según RNE.

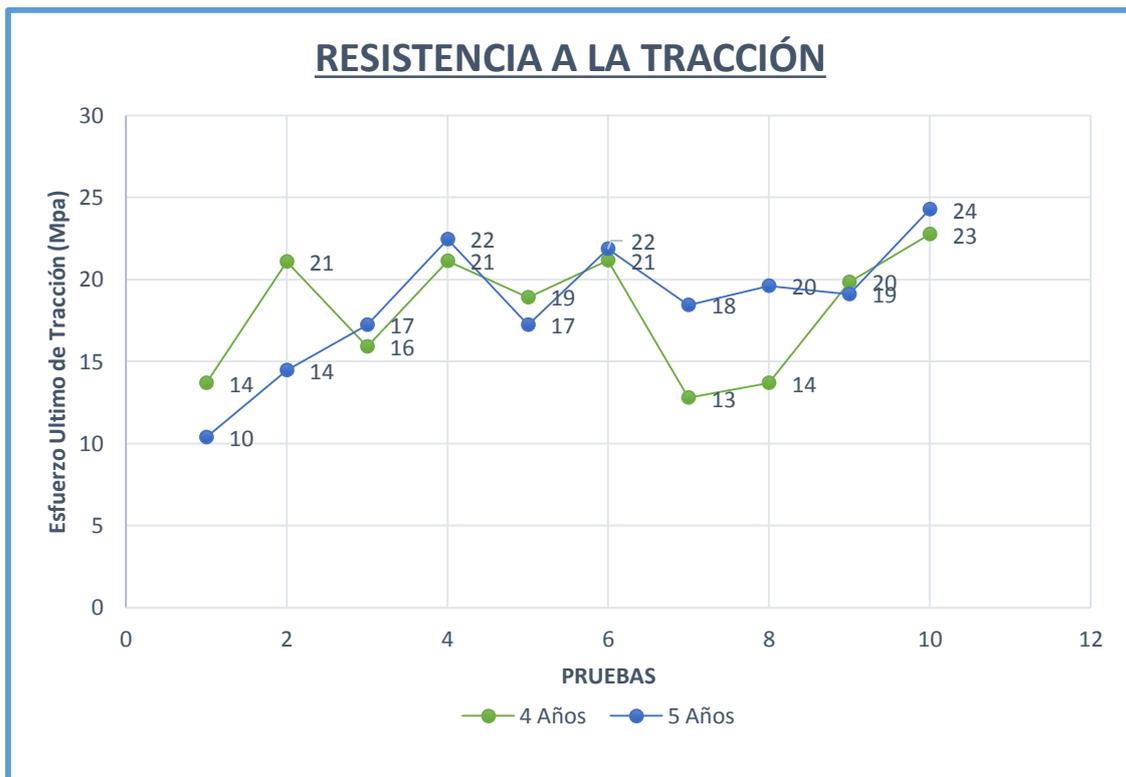
## 4.6 ENSAYO DE TRACCIÓN

En el ensayo a tracción se obtuvo los valores que se muestran en la tabla IV-21.

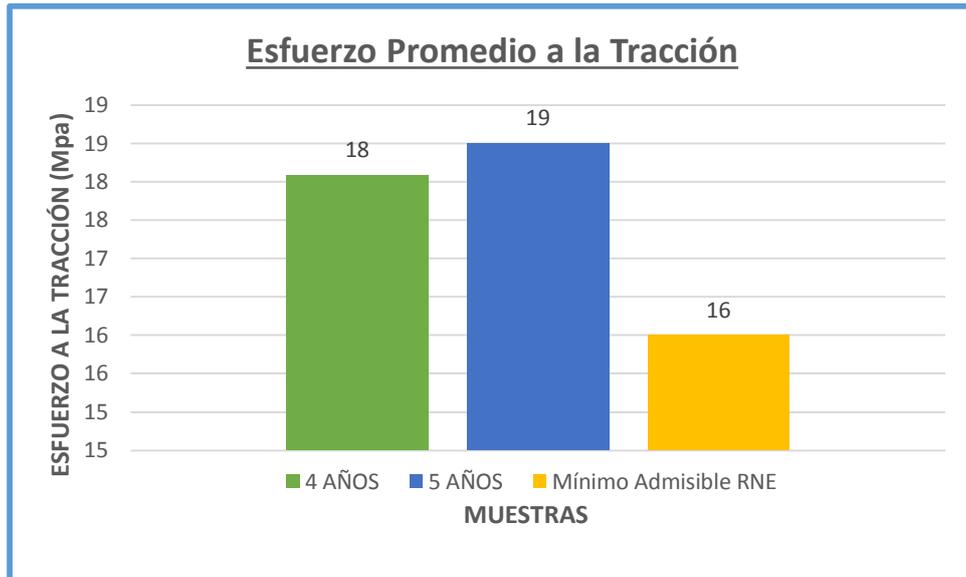
	4 AÑOS	5 AÑOS
Esfuerzo Máximo a la Tracción (Mpa)	23	24
Esfuerzo Promedio a la Tracción (Mpa)	18	19
Esfuerzo Mínimo a la Tracción (Mpa)	13	10
Esfuerzo Admisible RNE E100 (Mpa)	16	

**TABLA IV-21.** Resumen de resultados - Tracción.

Podemos apreciar que algunas muestras no cumplían con el esfuerzo admisible propuesto por la norma, las fallas observadas se presentaban en los nudos tal sin importar si la muestra tiene corte a la mitad de su estructura.



**GRAFICO N° 12.** Valores de esfuerzos obtenidos de las muestras en el ensayo de tracción.



**GRAFICO N° 13.** Valor promedio del ensayo de tracción comparado con el valor mínimo según RNE.

#### 4.7 ENSAYO DE FLEXIÓN ESTÁTICA

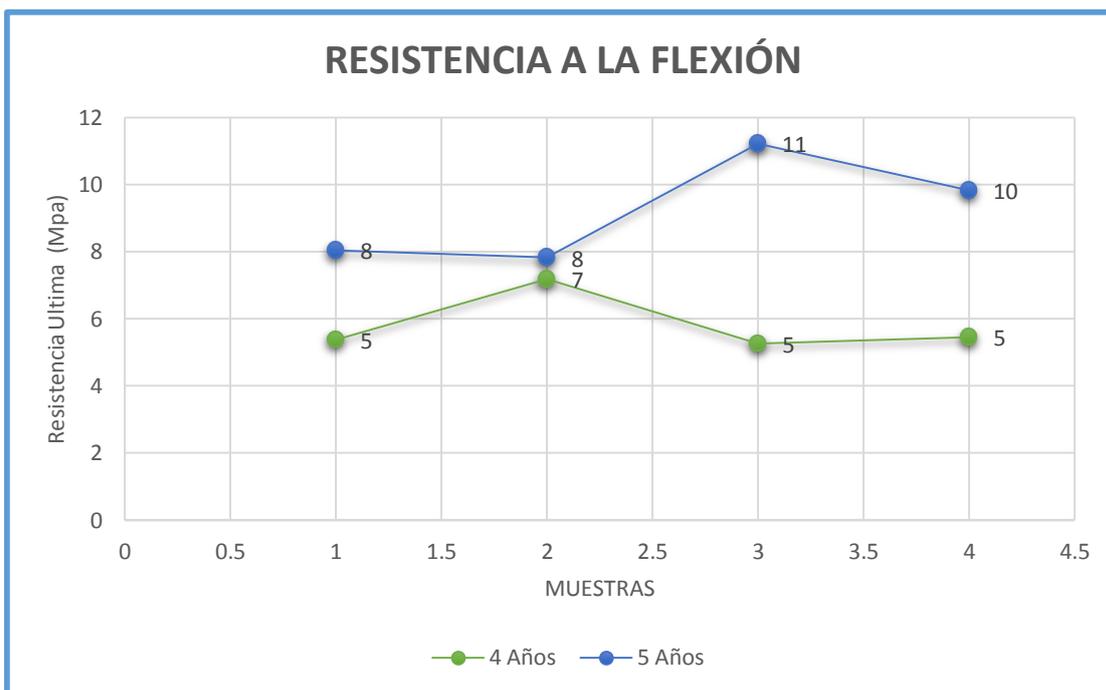
La tabla IV-22 muestra los valores obtenidos en el ensayo de flexión (el esfuerzo máximo, esfuerzo mínimo y esfuerzo promedio) para bambú de 4 y 5 años.

	4 AÑOS	5 AÑOS
Esfuerzo Máximo a la Flexión (Mpa)	7	11
Esfuerzo Promedio a la Flexión (Mpa)	6	9
Esfuerzo Mínimo a la Flexión (Mpa)	5	8
Esfuerzo Admisible RNE E100 (Mpa)	5	

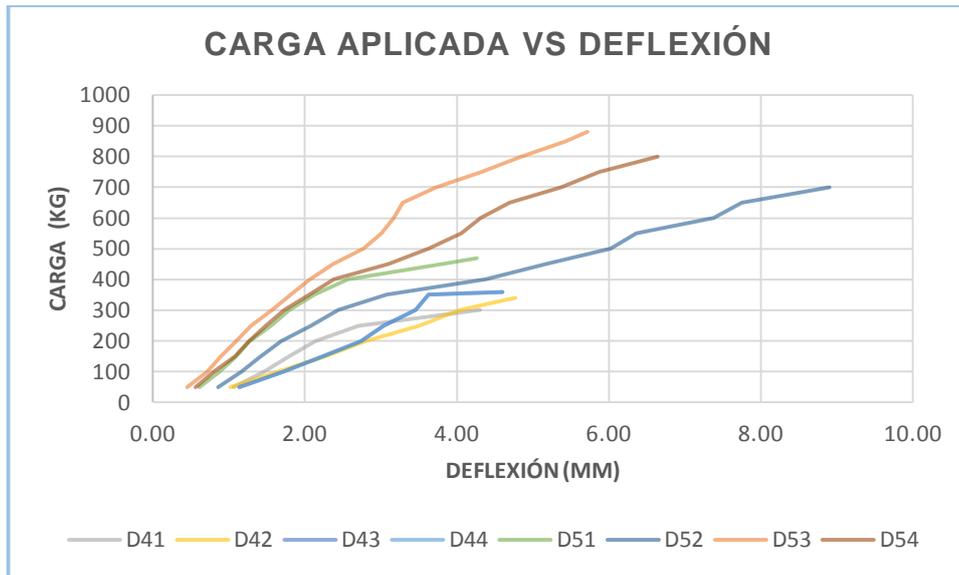
**TABLA IV-22.** Resumen de resultados – Flexión estática.

En las tablas N°29-1, 29-2 y 29-3 se puede observar que las cargas resistidas por las muestras de 5 años son mayores que las de 4 años.

El ensayo produjo las Gráfica N°14 y 15 que muestra el comportamiento de cada muestra frente a esta prueba de resistencia.



**GRAFICO N° 14.** Valores de esfuerzos obtenidos de las muestras en el ensayo de flexión.



**GRAFICO N° 15.** Carga aplicada vs deflexión.



**GRAFICO N° 16.** Valor promedio del ensayo de tracción comparado con el valor mínimo según RNE.

## **CAPÍTULO V: CONCLUSIONES**

- Según los resultados obtenidos y considerando los valores promedios de los distintos ensayos, podemos determinar que:

<b>ENSAYO</b>	<b>RESULTADO (PROMEDIO)</b>	<b>ESFUERZO ADMISIBLE SEGÚN NORMA</b>	
CONTENIDO DE HUMEDAD	14.9 %	<15%	<b>BUENA</b>
DENSIDAD BASICA	698.5 Kg/m <sup>3</sup>	-	<b>BUENA</b>
COMPRESION	35.9MPa	13MPa	<b>MUY BUENA</b>
CORTE	7.5 MPa	1Mpa	<b>MUY BUENA</b>
TRACCION	18.5 MPa	16Mpa	<b>BUENA</b>
FLEXION	7.5Mpa	5MPa	<b>BUENA</b>

**TABLA V-23.** Resultados del bambú ensayado.

Con dichos valores podemos considerar que el bambú proveniente del distrito de Marona, Provincia de Moyobamba, en el departamento de San Martín cumple con las resistencias mínimas determinadas en el Reglamento Nacional de Edificaciones, en la norma E.100.

- Mediante las normas y manuales usados para cada ensayo, se hizo la medición de cada parte requerida según la necesidad, obteniendo diversos valores por lo que fue necesario hacer un proceso de codificación de cada muestra.
- Para una mayor exactitud y confiabilidad en los resultados, ha sido necesario usar la Norma Técnica Colombiana 5525 ya que tiene una guía para desarrollar los ensayos específicamente con el bambú a comparación de la Norma Peruana que incluye al bambú dentro de la madera.
- Pudimos determinar que las características físicas y mecánicas del bambú varían según la edad, a través del análisis de los valores promedios obtenidos en cada ensayo y las edades de cada muestra ensayada.

ENSAYO	MUESTRA DE 4 AÑOS	MUESTRA DE 5 AÑOS	ESFUERZO ADMISIBLE SEGÚN NORMA
CONTENIDO DE HUMEDAD	15.5	14.3	<15%
DENSIDAD BÁSICA	723.2 Kg/m <sup>3</sup>	655.8 Kg/m <sup>3</sup>	-
COMPRESIÓN (con presencia de nudo)	34.5 MPa	32.1 MPa	13MPa
COMPRESIÓN (sin presencia de nudo)	41.4 MPa	35.4 MPa	
CORTE (con presencia de nudo)	7.6 MPa	8.5 Mpa	1MPa
CORTE (sin presencia de nudo)	7.4 MPa	6.5 MPa	
TRACCIÓN	18 MPa	19MPa	16MPa
FLEXIÓN	6 MPa	9 MPa	5MPa

**TABLA V-24.** Resultados del bambú por edades.

- En los ensayos de tracción pudimos observar que la parte crítica al momento en que las muestras fallaban era la zona más próxima a un nudo.
- Se debe garantizar que el contenido de humedad de la caña debe estar por debajo de lo establecido en la norma ya que valores superiores afectarían de manera directa la estabilidad del elemento estructural.
- El bambú en estudio (*Guadua angustifolia*), según los ensayos realizado puede ser recomendado para utilizar como material para elementos estructurales porque cumple con las normas técnicas nacionales e internacionales.

## **CAPÍTULO VI: RECOMENDACIONES**

- Implementar en las facultades de ingeniería y arquitectura, seminarios talleres y en los cursos de materiales de construcción, temas sobre el bambú como material de construcción y arquitectónico, por ser un material presente en nuestro reglamento al igual que otro material de construcción. Así los estudiantes puedan conocer las aplicaciones, características físico-mecánicas que tiene este valioso material.
- Tener cuidado con la humedad de los tallos del bambú al momento del corte, este es un aspecto importante que determina sus características, además que influye en la resistencia al ataque de insectos y hongos.
- Para tener un material con alta resistencia y calidad, es importante tener en cuenta la edad del tallo, la época de corte, secado y el método de curado.
- Capacitar a las personas que extraen el bambú ya que se necesita de conocimientos, herramientas y técnicas especiales para evitar el deterioro de la caña y la planta.
- Para curar el bambú es recomendable usar el método de inmersión, el cual es práctico y sencillo de realizar.
- Se debe utilizar el bambú y otros materiales locales como materiales básicos dependiendo de su región.
- Implementar el cultivo de bambú en diferentes zonas del Perú. Este material beneficia en la ecología del país.
- Al momento de seleccionar las cañas que servirán para muestras de ensayo, debemos considerar aquellas que se encuentren en el mejor estado posible, tratando de descartar las que presentan perforaciones u otra consecuencia causada por agentes xilófagos.
- Los ensayos, se recomienda llevar a cabo en laboratorios que cuenten con instrumentos calibrados y materiales en buen estado para poder reducir el error y obtener resultados más confiables.
- Las muestras deben estar habilitadas según lo que nos dicen los manuales de laboratorio, de tal manera que evitamos inconvenientes o retrasos en el momento que se realizan los ensayos.

## BIBLIOGRAFÍA

1. CELY L, GUTIÉRREZ W. (2012) Trabajo de investigación “Caracterización de la Guadua Angustifolia Kunth cultivada en Miraflores (Boyacá) de acuerdo con la NSR-10”.
2. MALAVER D, CASTRILLÓN B. (2004). Tesis de Grado “Procedimientos de ensayo para determinación de las propiedades Físico Mecánicas de la Guadua”. Costa Rica.
3. HUARCAYA J. (2010) Tesis de Grado “Determinación de la resistencia de uniones estructurales en bambú (Guadua Angustifolia) Bosque: Flor del Valle, Distrito/Provincia: Rioja, Departamento de San Martín”. Universidad Nacional de Ingeniería. Perú.
4. INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN - ICONTEC (2006). Norma Técnica de Colombia: Estructura de guadua, Colombia.
5. INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN – ICONTEC (2007). Norma Técnica colombiana NTC 5525, Métodos de ensayo para determinar las propiedades físicas y mecánicas de la Guadua Angustifolia Kunth, Colombia.
6. INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN TECNOLÓGICA INDUSTRIAL Y DE NORMAS TÉCNICAS - ITINTEC (2004). Proyecto de Norma Técnica Peruana 251.008. Maderas, Selección y Colección de Muestras. Perú.
7. INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN TECNOLÓGICA INDUSTRIAL Y DE NORMAS TÉCNICAS - ITINTEC (2004). Norma Técnica Peruana 251.010. Método de determinación de Contenido de Humedad. Lima Perú.
8. INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN TECNOLÓGICA INDUSTRIAL Y DE NORMAS TÉCNICAS - ITINTEC (2004). Proyecto de Norma Técnica Peruana 251.011. Maderas. Método de determinación de Densidad. Lima Perú.
9. INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN TECNOLÓGICA INDUSTRIAL Y DE NORMAS TÉCNICAS - ITINTEC (2004). Proyecto de Norma Técnica Peruana 251.012 Método de determinación de Contracción. Lima Perú.

10. TAKASHI J. (2013) El bambú y su potencial para el desarrollo sostenible del Perú. Universidad Científica del Sur. Perú.
11. MARTÍN T. (2004) Bambú: Recursos sostenibles para estructuras espaciales. Universidad Nacional de Colombia. Colombia.
12. MINISTERIO DE VIVIENDA, CONSTRUCCIÓN Y SANEAMIENTO DEL PERÚ (2013). Norma Técnica E.100. Bambú. Perú.
13. MINISTERIO DE VIVIENDA, CONSTRUCCIÓN Y SANEAMIENTO DEL PERÚ (2013). Norma Técnica E.010. Madera. Perú.
14. SERVICIO NACIONAL DE CAPACITACIÓN PARA LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN – SENCICO. (2014). Manual de construcción de estructuras con bambú. (1°.ed.). Perú.

# **ANEXOS**

N°	MUESTRA	Diámetro 1 (mm)	Diámetro 2 (mm)	Espesor 1 (mm)	Espesor 2 (mm)	Espesor 3 (mm)	Espesor 4 (mm)	Diámetro Prom. (mm)	Espesor Prom. (mm)
1	C41	100.00	100.00	9.20	10.00	10.10	9.80	100.00	9.78
2	C42	99.00	100.80	9.90	9.20	10.30	10.00	99.90	9.85
3	C43	100.00	100.00	10.00	11.80	11.00	10.20	100.00	10.75
4	C51	100.00	99.00	11.00	10.10	10.00	10.00	99.50	10.28
5	C52	103.20	103.60	13.10	12.90	11.10	12.80	103.40	12.48
6	C53	104.00	104.10	12.00	11.70	11.20	13.00	104.05	11.98

**TABLA N°25.** Datos de muestras – Ensayo: Densidad Básica.

N°	MUESTRA	Diámetro 1 (mm)	Diámetro 2 (mm)	Espesor 1 (mm)	Espesor 2 (mm)	Espesor 3 (mm)	Espesor 4 (mm)	Diámetro Prom. (mm)	Espesor Prom. (mm)
1	A411	107.5	107.0	16.5	13.6	13.8	14.0	107.3	14.5
2	A412	105.6	106.5	12.3	14.4	16.1	15.4	106.1	14.6
3	A413	100.2	100.2	11.9	14.3	12.2	12.8	100.2	12.8
4	A414	103.6	101.0	12.1	12.2	11.9	11.9	102.3	12.0
5	A415	105.6	105.7	17.0	17.1	16.9	15.0	105.7	16.5
6	A421	99.2	98.5	9.9	10.0	10.0	9.1	98.9	9.8
7	A422	99.8	101.2	10.1	11.5	11.9	10.9	100.5	11.1
8	A423	100.0	98.5	9.5	10.0	10.2	10.5	99.3	10.1
9	A424	100.9	100.4	9.9	9.8	10.1	9.9	100.7	9.9
10	A425	101.0	100.0	9.0	9.5	10.1	10.1	100.5	9.7
11	A511	107.0	106.2	17.0	16.8	14.0	13.0	106.6	15.2
12	A512	109.8	108.9	16.7	17.8	18.5	18.0	109.4	17.8
13	A513	105.8	106.3	17.5	15.1	14.8	17.0	106.1	16.1
14	A514	109.2	109.3	14.8	15.9	19.8	16.9	109.3	16.9
15	A515	104.1	106.9	16.4	17.3	12.0	13.0	105.5	14.7
16	A521	106.2	106.3	15.8	17.5	20.0	18.0	106.3	17.8
17	A522	117.0	116.8	12.5	13.0	14.0	13.3	116.9	13.2
18	A523	105.7	105.0	13.2	16.0	16.9	13.3	105.4	14.9
19	A524	119.0	119.0	12.8	14.0	14.8	14.0	119.0	13.9
20	A525	103.8	105.0	13.3	12.8	12.2	14.2	104.4	13.1

**TABLA N°26.** Datos de muestras – Ensayo: Compresión Paralela a la fibra.

N°	MUESTRA	Diámetro 1 (mm)	Diámetro 2 (mm)	Espesor 1 (mm)	Espesor 2 (mm)	Espesor 3 (mm)	Espesor 4 (mm)	Diámetro Prom. (mm)	Espesor Prom. (mm)	L*Espesor 1	L*Espesor 2	L*Espesor 3	L*Espesor 4	Σ (L*e)
1	B411	118.6	114.0	13.2	12.5	12.0	12.0	116.3	12.4	1320	1250	1200	1200	4970
2	B412	98.0	95.0	11.0	10.3	10.2	10.4	96.5	10.5	1100	1030	1020	1040	4190
3	B413	101.0	101.0	11.0	9.9	10.9	11.0	101.0	10.7	1100	990	1090	1100	4280
4	B414	99.6	98.2	11.5	12.0	11.8	11.1	98.9	11.6	1150	1200	1180	1110	4640
5	B415	102.5	104.0	13.1	10.7	11.0	12.0	103.3	11.7	1310	1070	1100	1200	4680
6	B421	103.6	103.0	11.6	12.0	12.1	11.6	103.3	11.8	1160	1200	1210	1160	4730
7	B422	100.0	97.5	10.0	10.0	10.0	10.0	98.8	10.0	1000	1000	1000	1000	4000
8	B423	113.8	118.0	12.1	12.1	12.2	14.0	115.9	12.6	1210	1210	1220	1400	5040
9	B424	101.0	99.5	9.2	10.0	10.0	10.0	100.3	9.8	920	1000	1000	1000	3920
10	B425	100.7	99.0	11.0	10.1	10.1	10.0	99.9	10.3	1100	1010	1010	1000	4120
11	B511	107.2	106.7	17.5	17.0	13.5	13.2	107.0	15.3	1750	1700	1350	1320	6120
12	B512	107.6	108.0	18.0	14.0	18.9	14.2	107.8	16.3	1800	1400	1890	1420	6510
13	B513	107.3	107.2	17.1	17.7	20.0	18.0	107.3	18.2	1710	1770	2000	1800	7280
14	B514	105.0	105.0	12.5	13.7	14.9	13.2	105.0	13.6	1250	1370	1490	1320	5430
15	B515	105.0	104.4	12.3	14.4	14.0	12.1	104.7	13.2	1230	1440	1400	1210	5280
16	B521	105.7	106.1	16.8	17.1	15.1	15.8	105.9	16.2	1680	1710	1510	1580	6480
17	B522	106.0	106.1	14.5	16.0	13.0	13.2	106.1	14.2	1450	1600	1300	1320	5670
18	B523	107.0	106.0	14.8	16.8	16.9	13.3	106.5	15.5	1480	1680	1690	1330	6180
19	B524	107.0	105.5	14.2	15.0	12.0	13.0	106.3	13.6	1420	1500	1200	1300	5420
20	B525	110.0	109.5	18.4	19.0	20.0	20.0	109.8	19.4	1840	1900	2000	2000	7740

**TABLA N°27.** Datos de muestras – Ensayo: Corte.

N°	MUESTRA	SUPERIOR		INFERIOR		FALLA	
		Ancho de Muestra (cm)	Espesor de Pared (cm)	Ancho de Muestra (cm)	Espesor de Pared (cm)	Ancho de Muestra (cm)	Espesor de Pared (cm)
1	E41	44.8	12.00	44.00	11.00	47.00	11.10
2	E42	51.8	12.00	45.20	14.70	27.50	12.40
3	E43	50.7	12.00	45.30	11.90	48.00	11.80
4	E44	39.8	10.50	45.00	10.00	25.70	17.90
5	E45	47.2	10.10	48.80	12.90	27.00	11.20
6	E46	49.4	11.10	47.00	11.00	47.70	9.40
7	E47	46.1	11.60	48.60	12.00	48.30	11.80
8	E48	45.6	11.00	46.90	11.00	42.10	10.50
9	E49	46.2	12.00	43.50	11.10	45.60	10.10
10	E410	45.0	10.90	46.00	10.90	27.20	17.90
11	E51	43.0	14.00	49.30	12.80	46.80	12.00
12	E52	51.0	12.00	52.10	11.50	46.50	11.90
13	E53	47.0	11.00	48.40	10.40	25.80	11.00
14	E54	38.0	9.50	42.70	11.00	24.80	11.30
15	E55	49.0	11.00	50.80	12.20	27.50	11.00
16	E56	45.0	11.00	48.50	12.00	29.00	11.50
17	E57	46.0	12.00	50.00	12.00	45.40	12.60
18	E58	48.0	11.00	49.00	11.00	48.70	12.00
19	E59	41.5	11.30	47.60	11.00	47.10	11.90
20	E510	41.8	11.20	48.00	11.80	25.50	19.00

**TABLA N°28** Datos de muestras – Ensayo: Tracción.

N°	MUESTRA	Espesor de Pared (mm)	Diámetro de Muestra (mm)	Longitud (mm)	Carga Aplicada (Kg)	Deflexión (mm)
1	D41	10.0	101.0	700.0	50	1.06
					100	1.46
					150	1.79
					200	2.14
					250	2.70
					300	4.30
2	D42	10.0	94.0	700.0	50	1.02
					100	1.64
					150	2.26
					200	2.80
					250	3.50
					300	4.04
					340	4.77
3	D43	10.4	109.0	700.0	50	1.14
					100	1.71
					150	2.23
					200	2.74
					250	3.03
					300	3.46
					350	3.63
					360	4.60
4	D44	13.8	109.0	700.0	50	0.78
					100	1.18
					150	1.50
					200	1.82
					250	2.11
					300	2.38
					350	2.89
					400	4.31
					450	5.77

**TABLA N°29-1.** Datos de muestras – Ensayo: Flexión.

N°	MUESTRA	Espesor de Pared (mm)	Diámetro de Muestra (mm)	Longitud (mm)	Carga Aplicada (Kg)	Deflexión (mm)
5	D51	10.5	101.5	700.0	50	0.61
					100	0.87
					150	1.09
					200	1.27
					250	1.55
					300	1.80
					350	2.13
					400	2.57
					450	3.81
					470	4.26
6	D52	14.7	111.0	700.0	50	0.86
					100	1.16
					150	1.42
					200	1.69
					250	2.08
					300	2.44
					350	3.08
					400	4.38
					450	5.18
					500	6.02
					550	6.36
					600	7.38
					650	7.75
700	8.90					

**TABLA N°30-2.** Datos de muestras – Ensayo: Flexión.

N°	MUESTRA	Espesor de Pared (mm)	Diámetro de Muestra (mm)	Longitud (mm)	Carga Aplicada (Kg)	Deflexión (mm)
7	D53	13.0	108.4	700.0	50	0.45
					100	0.71
					150	0.89
					200	1.09
					250	1.29
					300	1.57
					350	1.81
					400	2.07
					450	2.37
					500	2.77
					550	3.01
					600	3.17
					650	3.29
					700	3.73
					8	D54
100	0.80					
150	1.08					
200	1.26					
250	1.48					
300	1.73					
350	2.06					
400	2.38					
450	3.10					
500	3.63					
550	4.06					
600	4.31					
650	4.69					
700	5.37					
750	5.87					
800	6.64					

**TABLA N°31-3.** Datos de muestras – Ensayo: Flexión.

<b>N°</b>	<b>Muestra</b>	<b>Diámetro Externo (mm)</b>	<b>Diámetro Interno (mm)</b>
1	D41	101.0	81.0
2	D42	94.0	74.0
3	D43	109.0	88.2
4	D44	109.0	81.4
5	D51	101.5	80.5
6	D52	111.0	81.6
7	D53	108.4	82.4
8	D54	109.0	82.0

**TABLA N° 320.** Datos de muestras – Ensayo: Flexión.



**IMAGEN N° 21.** Presentación de Asesora y Tesistas en UNI – Lima.



**IMAGEN N° 22.** Codificación de muestras para ensayo de compresión.



**IMAGEN N° 23.** Codificación de Muestras para ensayo de flexión.



**IMAGEN N° 24.** Medición de muestras para ensayo de tracción.



**IMAGEN N° 25.** Muestras codificadas para ensayo de tracción.



**IMAGEN N° 26.** Toma de datos para ensayo de flexión.



**IMAGEN N° 27.** Muestras codificadas con corte para ensayo de tracción.



**IMAGEN N° 28.** Muestras codificadas.



**IMAGEN N° 29.** Comparación de resultados obtenidos en los ensayos.



**IMAGEN N° 30.** Máquina empleada en el ensayo de tracción. UNI-Lima.



**IMAGEN N° 31.** Falla típica en ensayo de tracción (muestra con corte).



**IMAGEN N° 32.** Falla típica en el nudo - ensayo de tracción (muestra con corte).



**IMAGEN N° 33.** Falla típica en el nudo - ensayo de tracción (muestra sin corte).



**IMAGEN N° 34.** Muestra que falló en el ensayo de compresión.



**IMAGEN N° 35.** Ensayo de compresión paralela a la fibra.



**IMAGEN N° 36.** Colocación de accesorios para el desarrollo del ensayo de corte.



**IMAGEN N° 37.** Máquina empleada en ensayos de compresión y corte.



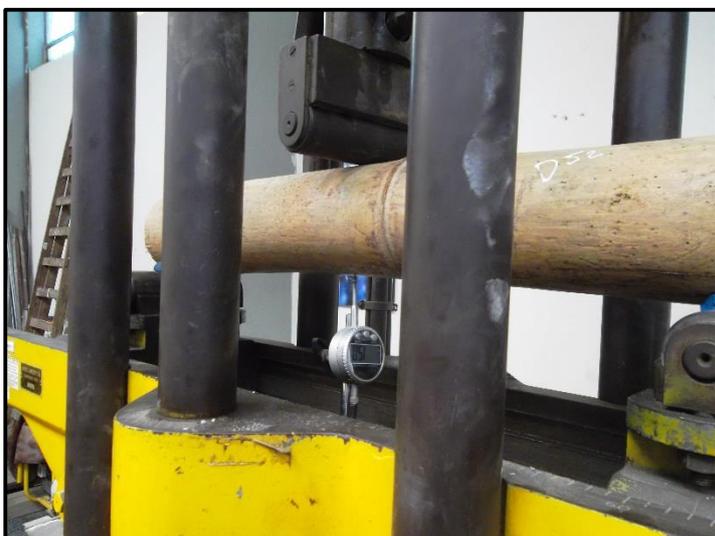
**IMAGEN N° 38.** Muestras empleadas en el ensayo de corte.



**IMAGEN N° 39.** Falla típica por corte.



**IMAGEN N° 40.** Colocación de muestra en la máquina para realizar el ensayo de flexión.



**IMAGEN N° 41.** Deformímetro empleado en el ensayo de flexión.



**IMAGEN N° 42.** Desarrollo del ensayo de flexión.



**IMAGEN N° 43.** Ensayo de densidad básica. Muestra sumergida.

UNIVERSIDAD PRIVADA ANTENOR ORREGO FACULTAD DE INGENIERIA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL			
Tesis: Características físicas y mecánicas del bambú para fines estructurales			
Tesistas: Br. CARPIO GALVEZ, Pablo André Br. VÁSQUEZ SALAS, Juan André.			
Ubicación Bosque Atumplaya y CCNN El Dorado – Provincia de Moyobamba – Departamento de San Martín			
Código: U1	Fecha: Mayo 2016	Fuente Google Maps	

**IMAGEN N° 44.** Bosques de bambú reconocidos por PERU-BAMBU en San Martín.



UNIVERSIDAD PRIVADA ANTENOR ORREGO FACULTAD DE INGENIERIA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL			
Tesis: Características físicas y mecánicas del bambú para fines estructurales			
Tesistas: Br. CARPIO GALVEZ, Pablo André Br. VÁSQUEZ SALAS, Juan André.			
Ubicación Bosque Marona – Provincia de Moyobamba – Departamento de San Martín			
Código: U2	Fecha: Mayo 2016	Fuente Google Maps	

**IMAGEN N° 45.** Bosque de bambú de cual proceden las muestras ensayadas.