UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI

FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES Y AMBIENTALES

CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA FORESTAL

“PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS EN LOS NIVELES LONGITUDINALES DEL CULMO DE TRES ESPECIES DEL GÉNERO *Guadua* NATIVA DE LA AMAZONIA PERUANA”

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO FORESTAL

PRESENTADO PÓR:

JEFFERSON ALEXANDER RODRIGUEZ SOTELO

PUCALLPA-PERÚ

2021

UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES Y AMBIENTALES
COMISIÓN DE GRADOS Y TITULOS

ACTA DE APROBACION DE SUSTENTACIÓN DE TESIS
N° 423/2021-CGyT-FCFyA-UNU

En la ciudad de Pucallpa a las 09:30 a.m. del sábado 20 de noviembre de 2021, de acuerdo con el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad Nacional de Ucayali, se reunieron los miembros del Jurado Evaluador en forma virtual, mediante la plataforma unificada de comunicación y colaboración Microsoft Teams, los mismos que estuvo designados con Memo Múltiple N.º 150-2021-UNU-FCFyA, conformado por los siguientes docentes:

Dr. Manuel Iván Salvador Cárdenas	Presidente
Ing. M. Sc. Moisés Torres Velasco	Miembro
Lic. Mg. Desiderio Vásquez Plácido	Miembro (ausente)

Se procedió a evaluar a la sustentación de la tesis denominado: **"PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS EN LOS NIVELES LONGITUDINALES DEL CULMO DE TRES ESPECIES DEL GÉNERO Guadua NATIVA DE LA AMAZONIA PERUANA"**, *presentado por el bachiller* **JEFFERSON ALEXANDER RODRIGUEZ SOTELO;** asesorado por la Dra. MARÍA ANGÉLICA FLORES ROMAYNA, habiendo finalizado la sustentación, se procedió a la formulación de preguntas por parte del Jurado Evaluador, las que fueron absueltas por el sustentante en consecuencia la tesis fue **APROBADO POR MAYORÍA**, quedando expedito para el otorgamiento del **TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO FORESTAL**, después de las correcciones respectivas de la tesis. Siendo las 10:46 a.m. horas del mismo día se da por finalizado el acto académico, firmando los miembros en señal de conformidad.

Dr. Manuel Iván Salvador Cárdenas
Presidente

Ing. M. Sc. Moisés Torres Velasco
Miembro

ACTA DE APROBACIÓN

Esta tesis fue sometida a consideración para su aprobación ante el Jurado Evaluador de la Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales de la Universidad Nacional de Ucayali, como requisito para obtener el Título Profesional de Ingeniería Forestal.

Dr. Manuel Iván Salvador Cárdenas. — Presidente

Ing. M.Sc. Moisés Torres Velasco. — Miembro

Dra. María Angélica Flores Romayna. — Asesor

Ing. M.Sc. Jorge Manuel Revilla Chávez. — Coasesor

Ing. Kevin Isaac Rodriguez Vásquez. — Coasesor

Bach. Jefferson Alexander Rodríguez Sotelo. — Tesista

CONSTANCIA

ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE INVESTIGACION

SISTEMA ANTIPLAGIO URKUND

N°0463-2021

La **Dirección de Producción Intelectual**, hace constar por la presente, que el **Informe final de Tesis, titulado:**

"PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS POR NIVELES LONGITUDINALES DEL CULMO DE TRES ESPECIES DEL GÉNERO GUADUA NATIVA DE LA AMAZONÍA PERUANA"

Cuyo(s) autor (es) : RODRÍGUEZ SOTELO, JEFFERSON ALEXANDER

Facultad : CIENCIAS FORESTALES Y AMBIENTALES
Escuela Profesional : ING. FORESTAL
Asesor(a) : DRA. FLORES ROMAYNA, MARÍA ANGÉLICA

Después de realizado el análisis correspondiente en el Sistema Antiplagio URKUND, dicho documento presenta un **porcentaje de similitud de 1%.**

En tal sentido, de acuerdo a los criterios de porcentaje establecidos en el artículo 9 de la DIRECTIVA DE USO DEL SISTEMA ANTIPLAGIO URKUND, el cual indica que no se debe superar el 10%. Se declara, que el trabajo de investigación: SI Contiene un porcentaje aceptable de similitud, por lo que SI se aprueba su originalidad.

En señal de conformidad y verificación se FIRMA Y SELLA la presente constancia.

FECHA 09/11/2021

Dr. ABRAHAM ERMITANIO HUAMAN ALMIRON

Dirección de Producción Intelectual

REPOSITORIO DE TESIS DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN DE TESIS

Yo, Jefferson Alexander Rodriguez Sotelo

Autor de la TESIS titulada:

"Propiedades físicas y mecánicas en los niveles longitudinales del culmo de tres especies del género guadua nativa de la amazonia Peruana"

Sustentada el año: 2021

Con la asesoría de: Dra Maria Angelica Flores Romayna.

En la Facultad de: Ciencias Forestales y Ambientales

Carrera Profesional de: Ingeniería Forestal.

Autorizo la publicación de mi trabajo de investigación en el Repositorio Institucional de la Universidad Nacional de Ucayali, bajo los siguiente términos: Primero: otorgo a la Universidad Nacional de Ucayali licencia no exclusiva para reproducir, distribuir, comunicar, transformar (únicamente mediante su traducción a otros idiomas) y poner a disposición del público en general mi tesis (incluido el resumen) a través del Repositorio Institucional de la UNU, en forma digital sin modificar su contenido, en el Perú y en el extranjero; por el tiempo y las veces que considere necesario y libre de remuneraciones. Segundo: declaro que la tesis es una creación de mi autoría y exclusiva titularidad, por tanto, me encuentro facultado a conceder la presente autorización, garantizando que la tesis no infringe derechos de autor de terceras personas. Tercero: autorizo la publicación,

- [x] Total (significa que todo el contenido de la tesis en PDF será compartido en el repositorio).
- [ ] Parcial (significa que solo la carátula, la dedicatoria y el resumen en PDF serán compartidos en el repositorio).

De mi TESIS de investigación en la página web del Repositorio Institucional de la UNU.

En señal de conformidad firma la presente autorización.

Fecha: 29 / 11 / 2021

Email: jefferson r535@gmail.com

Firma:

Teléfono: 912 964 006

DNI: 73524627

DEDICATORIA

.

A Dios, por concederme la vida y bendecirme. A mis padres Jensi Sotelo Macedo y Alexander Rodriguez Rojas, por su enorme sacrificio, apoyo incondicional y abnegado, consejera, guía y ejemplo absoluto de lucha y perseverancia y a mi amada hija Alexa Nicolle por el inmenso amor. A mis hermanos, Jhonatan, Alexander, y Hugo por sus aliento y ánimo para seguir adelante. A Todos mis amigos, por el apoyo brindado durante mi formación profesional.

AGRADECIMIENTO

En primera instancia agradezco a mis formadores académicos y en valores, agradezco a la Universidad Nacional de Ucayali, a la Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales de la cual siempre me sentiré parte y a los catedráticos por los conocimientos brindados en todo el tiempo de mi formación.

Al Subproyecto “Determinación del comportamiento a la propagación clonal, industrialización y captura de carbono de tres especies de bambú nativo en la amazonia peruana”, financiado por el Fondo Nacional de Desarrollo Científico y Tecnológico (FONDECYT) que en convenio entre la Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana (IIAP) y el Instituto Tecnológico de la Producción (ITP) y en participación con el CITEforestal Pucallpa me dieron la oportunidad de participar en ello y permitió el financiamiento del presente trabajo de investigación.

A mi asesor, la Dra. María Angélica Flores Romayna, por su apoyo, consejo, paciencia y dedicación en la realización del trabajo de investigación.

Al Ing. M. Sc. David Gerardo Llúncor Mendoza Q.E.P.D (CITEforestal Pucallpa), por incluirme como tesista en el proyecto e inicialmente fuera mi coasesor y por sucesos de la vida ya se encuentra en la gloria de dios.

Al Ing. M. Sc. Jorge Manuel Revilla Chávez Director Regional de Ucayali en Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana - IIAP Ucayali, por la gran oportunidad que me dio de ser partícipe del proyecto, por su colaboración en la recopilación de información y sus valiosas sugerencias durante el desarrollo de la investigación.

Al Ing. Rodríguez Vásquez Kevin Isaac, quién me guio en todo tiempo para la realización del presente trabajo de investigación y sobre todo por la constancia durante todo el periodo de desarrollo de la tesis.

ÍNDICE DEL CONTENIDO

Pág.

DEDICATORIA…… v

AGRADECIMIENTO……... vi

ÍNDICE DE TABLAS……... xi

ÍNDICE DE FIGURAS……... xv

RESUMEN…… xvii

SUMMARY……... xviii

INTRODUCCIÓN…… 1

CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA…….. 3

1.1. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA…….. 3

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO……...…….. 5

2.1. ANTECEDENTES DEL PROBLEMA……...…… 5

2.1.1. Investigaciones relacionadas……..…… 5

2.2. PLANTEAMIENTO TEÓRICO DEL PROBLEMA……. 9

2.2.1. Propiedades físicas del bambú…….. 9

2.2.1.1. Contenido de humedad…… 9

2.2.1.2. Densidad……. 9

2.2.1.3. Contracción……. 10

2.2.2. Propiedades mecánicas del bambú…….. 10

2.2.2.1. Flexión……..…… 11

2.2.2.2. Compresión……. 13

2.2.2.3. Cizallamiento…….. 13

2.2.3. Características del género *Guadua*……..……. 14

2.2.3.1. Género *Guadua*…… 14

2.2.3.2. Distribución geográfica…… 16

2.2.3.3. *Guadua* y su uso como material de construcción……. 16
2.2.3.4. Características Físicas de la *Guadua*……... 17
2.2.3.5. Características Químicas de la *Guadua*…….. 17
2.2.3.6. Características Mecánicas de la *Guadua*……. 17
2.2.4. Características de las tres especies del género *Guadua*... 18
2.2.4.1. *Guadua lynnclarkiae* Londoño…… 18
2.2.4.2. *Guadua weberbaueri* Pilger……..……. 19
2.2.4.3. *Guadua superba* Huber……..…… 21
2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS…….. 21
CAPÍTULO III. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN……... 23
3.1. MÉTODO DE INVESTIGACIÓN…….. 23
3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA……...…… 23
3.2.1. Población…….. 23
3.2.2. Muestra…….. 23
3.3. PROCEDIMIENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS…….. 24
3.3.1. Proceso de preparación del material de investigación…… 24
3.3.1.1. Obtención del culmo……...….. 24
3.3.1.2. Codificación de los culmos..……...…... 24
3.3.1.3. Obtención de las probetas para propiedades físicas…… 24
3.3.1.4. Codificación de las probetas……... 26
3.3.2. Evaluación de las propiedades físicas……... 26
3.3.2.1. Contenido de humedad……... 26
3.3.2.2. Densidad…….. 27
3.3.2.3. Contracción…….. 28
3.3.3. Preservado del culmo……...…… 29

3.3.4. Obtención de las probetas para propiedades mecánicas……. 29

3.3.5. Evaluación de las propiedades mecánicas…… 29

3.3.5.1. Flexión estática…….. 30

3.3.5.2. Compresión paralela…… 31

3.3.5.3. Compresión perpendicular……... 33

3.3.5.4. Cizallamiento…….. 33

3.4. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS. 34

3.4.1. Técnicas……. 34

3.4.2. Instrumentos…….. 34

3.5. PROCESAMIENTO PARA RECOLECCIÓN DE DATOS…… 34

3.6. TRATAMIENTO DE DATOS……..….. 34

CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN……..……... 36

4.1. DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS DEL CULMO DE TRES ESPECIES DEL GÉNERO *GUADUA* NATIVA DE LA AMAZONIA PERUANA, *Guadua lynnclarkiae* (Londoño), *Guadua weberbaueri* (Pilger), *Guadua superba* (Huber)……..… 36

4.1.1. Determinación del contenido de humedad del culmo de tres especies de *Guadua*s……...… 38

4.1.2. Determinación de la densidad del culmo de tres especies de *Guadua*s……...… 42

4.1.3. Determinación de la contracción del culmo de tres especies de *Guadua*s……...… 49

4.2. DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CULMO DE TRES ESPECIES DEL GÉNERO *GUADUA* NATIVA DE LA AMAZONIA PERUANA, *Guadua lynnclarkiae* (Londoño), *Guadua weberbaueri* (Pilger), *Guadua superba* (Huber)…….. 53

4.2.1. Determinación de la flexión estática del culmo de tres especies de *Guadua*s ……. 55

4.2.2. Determinación de la compresión paralela a la fibra del culmo de tres especies de *Guadua*s…….. 60

4.2.3. Determinación de la compresión perpendicular a la fibra del culmo de tres especies de *Guadua*s…… 64

4.2.3. Determinación del cizallamiento paralela a la fibra del culmo de tres especies de *Guadua*s……..…… 66

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES…… 71

5.1. CONCLUSIONES……... 71

5.2. RECOMENDACIONES……... 73

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA…….. 74

ANEXOS……... 78

ÍNDICE DE TABLAS

		Pág.
Tabla 1.	Número de probetas en cada especie de bambú para propiedades físicas …….....	25
Tabla 2.	Número de probetas en cada especie de bambú para propiedades mecánicas.…….	29
Tabla 3.	Resumen de datos de las propiedades físicas del bambú de las tres especies de *Guadua*……..	36
Tabla 4.	Contenido de humedad en condición verde y en equilibrio higroscópico de las tres especies del genero *Guadua*……	38
Tabla 5.	Resumen de análisis de varianza del contenido de humedad verde y en equilibrio higroscópico en las tres especies de *Guadua*……..…	39
Tabla 6.	Prueba de media Tukey del contenido de humedad verde del culmo de las tres especies del genero *Guadua*…….	29
Tabla 7.	Prueba de media Tukey del contenido de humedad en equilibrio higroscópico del culmo de las tres especies del genero *Guadua*…….	41
Tabla 8.	Densidades del culmo de las tres especies del genero *Guadua*……	43
Tabla 9.	Resumen de análisis de varianza de la densidad en las tres especies del género *Guadua*……	45
Tabla 10.	Prueba de Tukey de los promedios de la densidad en equilibrio higroscópico del culmo de tres especies del género *Guadua*……..	45
Tabla 11.	Prueba de Tukey de los promedios de la densidad básica y verde del culmo de tres especies del género *Guadua*……..	47
Tabla 12.	Prueba de Tukey de los promedios de la densidad anhidra del culmo de tres especies del género *Guadua*……..	47
Tabla 13.	Contracción del culmo de las tres especies de *Guadua*……..	49

Tabla 14. Resumen de análisis de varianza de la contracción de la pared y longitudinal del culmo de tres especies del género *Guadua*…… 50

Tabla 15. Prueba de Tukey de los promedios de la contracción de la pared del culmo de tres especies del género *Guadua*……. 51

Tabla 16. Resumen de datos de las propiedades mecánicas del culmo de las tres especies del genero *Guadua*……..... 53

Tabla 17. Flexión estática del culmo de tres especies del genero *Guadua*…… 54

Tabla 18. Resumen de análisis de varianza de la flexión estática en las tres especies del genero *Guadua*……. 56

Tabla 19. Prueba de Tukey de los promedios de módulo de ruptura del culmo de tres especies del genero *Guadua*……. 57

Tabla 20. Prueba de Tukey de los promedios de esfuerzo en el límite proporcional del bambú de tres especies de *Guadua*…….... 57

Tabla 21. Compresión paralela a la fibra del culmo de tres especies del genero *Guadua*..……. 59

Tabla 22. Resumen de análisis de varianza de la Compresión paralela a la fibra en las tres especies del genero *Guadua*. 61

Tabla 23 Prueba de Tukey de los promedios de compresión paralela (Esfuerzo ultimo - módulo de elasticidad) en las tres especies del género *Guadua*…….. 61

Tabla 24. Esfuerzo último a la compresión perpendicular del culmo de tres especies del genero *Guadua*……..……. 63

Tabla 25. Resumen de análisis de varianza del esfuerzo último a la compresión perpendicular en las tres especies del genero *Guadua*…… 64

Tabla 26. Prueba de Tukey de los promedios del esfuerzo último a la compresión perpendicular del culmo de tres especies del genero *Guadua*…… 65

Tabla 27. Resistencia última al corte del culmo de tres especies del genero *Guadua*...……...…… 66

Tabla 28. Resumen de análisis de varianza de la resistencia última 68

al corte en las tres especies de *Guadua*…….

Tabla 29. Prueba de promedios de la resistencia última al corte en las tres especies del género *Guadua*…..……. 68

Tabla 30. Análisis de varianza del contenido de humedad en condición verde del bambú de tres especies de *Guadua* y tres niveles longitudinales del culmo…….. 88

Tabla 31. Análisis de varianza del contenido de humedad en equilibrio higroscópico del bambú de tres especies de *Guadua* y tres niveles longitudinales del culmo..…….. 88

Tabla 32. Análisis de varianza de la densidad verde del bambú de tres especies de *Guadua* y tres niveles longitudinales del culmo ……..… 88

Tabla 33. Análisis de varianza de la densidad en equilibrio higroscópico del bambú de tres especies de *Guadua* y tres niveles longitudinales del culmo ……. 88

Tabla 34. Análisis de varianza de la densidad anhidra del bambú de tres especies de *Guadua* y tres niveles longitudinales del culmo …… 89

Tabla 35. Análisis de varianza de la densidad básica del bambú de tres especies de *Guadua* y tres niveles longitudinales del culmo…….. 89

Tabla 36. Análisis de varianza de la contracción de la pared del bambú de tres especies de *Guadua* y tres niveles longitudinales del culmo…….. 89

Tabla 37. Análisis de varianza de la contracción longitudinal del bambú de tres especies de *Guadua* y tres niveles longitudinales del culmo……..... 89

Tabla 38. Análisis de varianza del módulo de ruptura del bambú de tres especies de *Guadua* y tres niveles longitudinales del culmo…….. 90

Tabla 39. Análisis de varianza del esfuerzo en el límite proporcional bambú de tres especies de *Guadua* y de tres niveles longitudinales del culmo…….. 90

Tabla 40. Análisis de varianza del módulo de elasticidad bambú de tres especies de *Guadua* y de tres niveles longitudinales del culmo…….. 90

Tabla 41. Análisis de varianza del esfuerzo último en la compresión paralela del bambú de tres especies de *Guadua* y de tres niveles longitudinales del culmo……. 90

Tabla 42. Análisis de varianza del módulo de elasticidad en la compresión paralela del bambú de tres especies de *Guadua* y de tres niveles longitudinales del culmo…… 91

Tabla 43. Análisis de varianza del esfuerzo último en la compresión perpendicular del bambú de tres especies de *Guadua* y de tres niveles longitudinales del culmo……. 91

Tabla 44. Análisis de varianza de la resistencia última al corte con nudo del bambú de tres especies de *Guadua* y de tres niveles longitudinales del culmo…… 91

Tabla 45. Análisis de varianza de la resistencia última al corte sin nudo del bambú de tres especies de *Guadua* y de tres niveles longitudinales del culmo…….. 92

ÍNDICE DE FIGURAS

		Pág.
Figura 1.	Método de corte cruciforme de rodajas y probeta para propiedades físicas……	21
Figura 2.	Contenido de humedad en condición verde y en equilibrio higroscópico en los diferentes niveles de culmo en las tres especies del género *Guadua*……..	38
Figura 3.	Densidades en los diferentes niveles del culmo en las tres especies del género *Guadua*……..	43
Figura 4.	Contracción del bambú en los diferentes niveles del culmo en las tres especies del genero *Guadua*……	49
Figura 5.	Flexión estática en los diferentes niveles del culmo en las tres especies del genero *Guadua*…….…….	55
Figura 6.	Compresión paralela a la fibra del bambú en los diferentes niveles del culmo en las tres especies del genero *Guadua*…..	59
Figura 7.	Compresión perpendicular en los diferentes niveles del culmo en las tres especies del genero *Guadua*…..……..	63
Figura 8.	Resistencia última al corte en los diferentes niveles del culmo en las tres especies del genero *Guadua*……..….....	66
Figura 9.	Orientación de los culmos……	78
Figura 10.	Preparación de los culmos para la obtención de las probetas físicas…….	78
Figura 11.	Tratamiento de las muestras con sal de bórax…….	79
Figura 12.	Preparación de las probetas físicas……	79
Figura 13.	Inicio de los ensayos físicos……	80
Figura 14.	Segundo tratamiento preservador contra el ataque de insectos, empleándose el producto Lorpyfos al 2%.....	80
Figura 15.	*Guadua lynnclarkiae* (A) antes del ensayo de flexión estática……	81
Figura 16.	*Guadua weberbaueri* (B) antes del ensayo de flexión estática…….	81

Figura 17. *Guadua superba* (C) antes del ensayo de flexión estática…. 81
Figura 18. *Guadua lynnclarkiae* (A) después del ensayo de flexión estática…….. 82
Figura 19. *Guadua weberbaueri* (B) después del ensayo de flexión estática…… 82
Figura 20. *Guadua superba* (C) después del ensayo de flexión estática……. 82
Figura 21. Probetas de *Guadua*s después del ensayo de compresión paralela……. 83
Figura 22. Probetas de *Guadua*s después del ensayo de compresión perpendicular…… 83
Figura 23. Probetas de *Guadua*s después del ensayo de compresión perpendicular…… 83
Figura 24. Probetas de *Guadua*s después del ensayo de cizallamiento sin nudo paralela a la fibra…….. 84

RESUMEN

El presente trabajo tuvo como objetivo evaluar las propiedades físicas y mecánicas en los niveles longitudinales del culmo de tres especies del género *Guadua* nativa de la amazonia peruana, a través del método de tipo experimental y analítico debido a la observación de la variación. Se obtuvieron un total de 243 probetas; en relación al contenido de humedad en los culmos de tres especies de *Guadua*, se determinó que los mayores valores presentado en propiedades físicas en contenido de humedad verde lo obtuvo la *Guadua lynnclarkiae* (Londoño) con 112%, en contenido de humedad en equilibrio higroscópico lo presentó la *Guadua superba* (Huber) con 15.39 %. En densidad básica, verde, equilibrio higroscópico y anhidra lo obtuvo la especie *Guadua weberbaueri* (Pilger), con 0.75 g/cm^3, 1.22 g/cm^3, 1.06 g/cm^3, 0.97 g/cm^3 respectivamente. En contracción de la pared y longitudinal lo obtuvo la *Guadua lynnclarkiae* (Londoño) con 18.65%, 0.46%. En cuanto al módulo de ruptura, al esfuerzo en el límite proporcional y al módulo de elasticidad *Guadua superba* (Huber) obtuvo el mayor promedio con valores de 726.04 kgf/cm^2, 573.28 kgf/cm^2 y 60479.98 kgf/cm^2, En cuanto a la compresión paralela y perpendicular *Guadua weberbaueri* (Pilger), presento el mayor esfuerzo ultimo con un promedio de 441.33 kgf/cm^2 y 252.99 kgf/cm^2, los valores obtenidos en la máxima resistencia al corte con nudo y sin nudo en los culmos, se determinó que la *Guadua weberbaueri* (Pilger), presento una mayor resistencia con un promedios de 91.88 kgf/cm^{2}y 100.03 kgf/cm^2 en relación a las demás especies de *Guadua*.

Palabras clave: Bambú, *Guadua weberbaueri*, *Guadua superba*, *Guadua lynnclarkiae* propiedades físicas – mecánicas.

SUMMARY

The objective of this work was to evaluate the physical and mechanical properties in the longitudinal levels of the culm of three species of the genus Guadua native to the Peruvian Amazon, through the experimental and analytical method due to the observation of the variation. A total of 243 specimens were obtained; In relation to the moisture content in the culms of three Guadua species, it was determined that the highest values presented in physical properties in green moisture content was obtained by *Guadua lynnclarkiae* (Londoño) with 112%, in moisture content in hygroscopic equilibrium what presented *Guadua superba* (Huber) with 15.39%. In basic density, green, hygroscopic and anhydrous balance, it was obtained by the *Guadua weberbaueri* (Pilger) species, with 0.75 g/cm^3, 1.22 g/cm^3, 1.06 g/cm^3, 0.97 g/cm^3 respectively. In wall and longitudinal contraction it was obtained by *Guadua lynnclarkiae* (Londoño) with 18.65%, 0.46%. Regarding the modulus of rupture, the stress in the proportional limit and the modulus of elasticity *Guadua superba* (Huber) obtained the highest average with values of 726.04 kgf/cm^2, 573.28 kgf/cm^2 and 60479.98 kgf/cm^2, Regarding compression parallel and perpendicular *Guadua weberbaueri* (Pilger), presented the highest ultimate stress with an average of 441.33 kgf/cm^2 and 252.99 kgf/cm^2, the values obtained in the maximum resistance to shear with knot and without knot in culms, it was determined that *Guadua weberbaueri* (Pilger), presented a greater resistance with averages of 91.88 kgf/cm^2 and 100.03 kgf/cm^2 in relation to the other Guadua species.

Keywords: Bamboo, *Guadua weberbaueri*, *Guadua superba*, *Guadua lynnclarkiae* physical-mechanical properties.

INTRODUCCIÓN

La deforestación en el Perú está alcanzando niveles críticos debido a varios factores, entre ellos tenemos a la tala indiscriminada que ocasiona la degradación del suelo y del medio.

El manejo de los bambusales naturales coopera con la reducción de la deforestación, el bambú es considerado hoy un material sustentable por excelencia, ganando un creciente interés en las últimas dos décadas debido a los beneficios ambientales y económicos, su rápido crecimiento permite cosecharlo anualmente sin causar agotamiento ni degradación de los suelos. Adicionalmente contribuye con el beneficio ecológico como el control de la erosión de suelos, mejora las propiedades del suelo, almacena gran cantidad de agua (Perez, 2009).

La investigación de las propiedades físicas y mecánicas del bambú nace como una alternativa para la construcción sostenible, ya que es una especie que se regenera rápidamente, de fácil preservación para garantizar su durabilidad. Debido a las características que presenta esta especie y al gran potencial económico que representa; con el estudio de las propiedades físicas y mecánica se brindara una alternativa del uso del culmo de bambú en las construcciones.

El objetivo general del presente trabajo es evaluar las propiedades físicas y mecánicas en los niveles longitudinales del culmo de tres especies del género *Guadua* nativa de la amazonia peruana. Como objetivo específico: Determinar las propiedades físicas (Contenido de humedad, Densidad y Contracción) y Determinar las propiedades mecánicas (Flexión estática, Compresión paralela, Compresión perpendicular y Cizallamiento) del culmo de tres especies del

género *Guadua* nativa de la amazonia peruana, *Guadua lynnclarkiae* (Londoño), *Guadua weberbaueri* (Pilger), *Guadua superba* (Huber).

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.

En el mundo, más de mil millones de personas viven en casas de bambú y 2.5 mil millones de personas usan productos de bambú. Es decir, que es un recurso con enorme potencial para jugar un papel importante en el desarrollo socio económico del país y por consiguiente en la lucha contra la pobreza; además de su enorme valor ambiental, especialmente cuando el planeta sufre los impactos acelerados del calentamiento global, la escasez del recurso hídrico y la pérdida de los bosques tropicales (Cordova, 2008).

El bambú es un recurso que se encuentra en el Perú, está presente en casi toda la zona de la selva tanto alta como el llano amazónico tenemos más de 50 especies, pero por muchos años el bambú no ha sido considerado como un recurso de valor importante con grandes posibilidades económicas para su utilización en construcción e industria (Cordova, 2008).

Las propiedades físico-mecánicas del bambú se modifican según la especie botánica, la edad de corte, la sección del culmo y las propiedades físicas del sitio (Camargo, et al., 2008). Por lo expuesto, se tratará de llenar un vacío en el campo del área forestal, sobre todo relacionado a las propiedades físicas y mecánicas del culmo de bambú nativo de la amazonia para promover su uso como material estructural ya que actualmente el bambú no se viene utilizando en la construcción debido principalmente a que no se conocen las características físicas y mecánicos que esta posee, en relación al nivel de donde se obtiene el material a utilizarse. La investigación pretende resolver la siguiente pregunta

general:

¿Cuáles son las propiedades físicas y mecánicas en los niveles longitudinales del culmo de tres especies del género *Guadua* nativa de la amazonia peruana, *Guadua lynnclarkiae* (Londoño), *Guadua weberbaueri* (Pilger), *Guadua superba* (Huber)?

Como problemas específicos los siguientes:

¿Cuáles son las propiedades físicas (contenido de humedad, densidad y contracción) del culmo de tres especies del género *Guadua* nativa de la amazonia peruana, *Guadua lynnclarkiae* (Londoño), *Guadua weberbaueri* (Pilger), *Guadua superba* (Huber)?

¿Cuáles son las propiedades mecánicas (flexión estática, compresión paralela, compresión perpendicular y cizallamiento) del culmo de tres especies del género *Guadua* nativa de la amazonia peruana, *Guadua lynnclarkiae* (Londoño), *Guadua weberbaueri* (Pilger), *Guadua superba* (Huber)?

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES DEL PROBLEMA.

2.1.1. Investigaciones relacionadas.

Según Velasquez & Salvador, (2008) en su investigación evaluación y utilización de la *Guadua sarcocarpa* Londoño; determinaron el contenido de humedad del bambú en estado verde un 62.58% y en estado seco 18.47%, la densidad media seca al aire (densidad normal) alcanza un valor promedio de 0.66 g/cm^3, mientras la densidad básica media está por los 0.56 g/cm^3. La resistencia promedio a la compresión paralela, a la compresión perpendicular, a la tracción paralela y a la tracción perpendicular de las fibras, obteniendo: 363 kg/cm², 41 kg/cm², 3514 kg/cm² y 8 kg/cm² respectivamente. La resistencia promedio a la cizalladura o al corte paralelo a las fibras sin nudos, fue de 62 kg/cm², el módulo de elasticidad en flexión promedio fue de 149.158 kg/cm² y el módulo de ruptura en flexión promedio fue de 535 kg/cm² Pucallpa.

Pilco (2016) estudió las propiedades físicas, mecánicas y la composición anatómica de la *Guadua angustifolia* Kunth de Loja, e implementación de este como material de construcción, obteniendo valores de para esfuerzo promedio a compresión paralela a la fibra 268.70 kg/cm², esfuerzo promedio a flexión 503.13 kg/cm²; esfuerzo promedio a cizalladura 35.5 kg/cm²; así mismo valores de esfuerzo admisible a compresión paralela a la fibra de 134.39 kg/cm², esfuerzo admisible a flexión de 218.73 kg/cm² y esfuerzo admisible a cizalladura de 8.874 kg/cm² Ecuador.

Gutiérrez (2011) evaluó la variación de la tenacidad del bambú *Guadúa angustifolia* Kunth en función al contenido de humedad disponiendo de muestras

de 3 regiones diferentes de la República de Colombia. De cada región se obtuvo 10 culmos y de cada culmo se determinó por niveles: cepa, basa y sobrebasa. De cada tramo extrajo siete probetas, pero con diferente contenido de humedad. La determinación de la tenacidad y el contenido de humedad del material, se determinó mediante los procedimientos de la Norma técnica colombiana NTC 5525. Los resultados mostraron que la tenacidad no disminuye cuando el contenido de humedad se encuentra entre el 10% y el 21%, rango en el cual el material es utilizado como elemento estructural.

Medina (2019) en su investigación de propiedades mecánicas de dos bambúes encontró en cuanto a esfuerzos admisible se obtuvo valores de flexión, compresión perpendicular, compresión paralela, corte y tensión, la especie *Dendrocalamus asper* (Schultes f.) presento 53.78 kg/cm², 29.16 kg/cm², 225.15 kg/cm², 17.85 kg/cm² y 131.34 kg/cm² respectivamente y la especie *Guadua angustifolia* (Kunth) presento 53.74 kg/cm², 22.54 kg/cm², 209.86 kg/cm², 14.78 kg/cm², 114.21 kg/cm² respectivamente.

Botero (2004) menciona que los estudios realizados en Alemania, Holanda y Colombia sobre las propiedades físicas y mecánicas del bambú, arrojaron información contundente del contenido de humedad del bambú en estado inicial de 51% a 127% y en estado de equilibrio 13%, la densidad básica de 0.6 a 0.7 g/cm^3, la resistencia a la compresión que superó los 600 kg/cm² y la tracción supero los 900 kg/cm².

Espuna & Sanchez (2015) en su investigación propuesta experimental de losas y cubiertas de bambú concreto para viviendas de interés social en el sur de Tamaulipas determinaron que la *Guadua amplexifolia* Presl, presenta valores de

resistencia a la compresión paralela de 259 a 335 kg/cm².

González., et al. (2002) determinaron la resistencia a la flexión de la *Guadua angustifolia* Kunth de *Guadua*s mayores de tres años extraído del Centro Agropecuario Cotové de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Nacional de Colombia los resultados promedios obtenidos fueron para el módulo de ruptura 900 kg/cm², resistencia al límite proporcional 347.46 Kg/cm^2 y módulo de elasticidad 109109.97 Kg/cm^2.

Moromi (2015) determinó el contenido de humedad de la *Guadua angustifolia* variedad bicolor de Moyobamba (Rioja) en estado seco 14.43%, la densidad básica media está por los 0,414 g/cm^3. La resistencia promedio a la compresión, flexión, tracción obteniendo: 446.85 kg/cm², 248.23 kg/cm², 553.86 kg/cm² respectivamente. La resistencia promedio a la cizalladura o al corte, fue de 143.04 kg/cm².

Ciro, et al. (2005) determinaron el esfuerzo de cizalladura de la *Guadua angustifolia* kunth, 56,84 kgf/cm^2, lo cual indicaron que el bambú utilizado como material para las construcciones presenta una alta resistencia en dirección paralela a la orientación de las fibras.

Cobos Fisher & León Rodríguez (2007) mencionan que obtuvieron a los 30 días de haber realizado el corte los valores de: contenido de humedad dando una media de 30.12%, densidad por encima del punto de saturación de las fibras dando una media de 0.704 g/cm^3, esfuerzo de tracción: 2472.1 kgf/cm^2, esfuerzo de compresión: parte Basal 513.01 kgf/cm^2, Parte Media 492.93 kgf/cm^2, Parte Apical 474.17 kgf/cm^2, esfuerzo a flexión en probetas enteras de 1.5 metros de longitud: 356.7 kgf/cm^2. en Bambúes de edad promedio de 2 años, secados en

mata realizados en Sangolqui, Ecuador.

Ardila (2013) en su investigación de Determinación de los valores de esfuerzos admisibles del bambú *Guadua angustifolia* Kunth del departamento de Tolima determino la resistencia última de compresión perpendicular de la *Guadua angustifolia* Kunth los valores promedios obtenido en los niveles de cepa, basa y sobrebasa fueron de 47.21 kgf/cm^2, 42.14 kgf/cm^2, 47.42 kgf/cm^2 respectivamente.

Según Estacio, (2013) en su investigación sobre las propiedades físico-mecánicas del bambú; determino el contenido de humedad del bambú en estado verde un 81.24%, la densidad básica media está por los 0.597 g/cm^3, con respecto a la contracción se registró valores en el espesor de pared 12.36% y longitudinal 0.26%, para esfuerzo promedio a compresión paralela a la fibra 315.7 kgf/cm^2, esfuerzo promedio a flexión 374.85 kgf/cm^2; así mismo valores de esfuerzo admisible a compresión paralela a la fibra de 126.24 kgf/cm^2 y esfuerzo admisible a flexión de 128.08 kgf/cm^2 con un módulo de elasticidad promedio de 77420.5 kgf/cm^2 y un mínimo de 63870.3 kgf/cm^2.

2.2. PLANTEAMIENTO TEÓRICO DEL PROBLEMA.

2.2.1. Propiedades físicas.

Según Grigoriev (1985) citado por Torres (2009) señala que las propiedades físicas son aquellas propiedades que nos permiten determinar sin alterar la integridad de la muestra sometida a ensayo; es decir que pueden definirse mediante la inspección, la pesada, la medida y el secado. También permite explicar las causas correspondientes a la contracción, expansión de la madera y alta resistencia mecánica en relación a su densidad.

2.1.1.1. Contenido de humedad.

Hidalgo (1974) afirma que el contenido de humedad del bambú, es el peso del agua de su tallo en relación a su peso en estado totalmente seco, expresado en porcentaje, además cuando el bambú se va a utilizar para la construcción donde va a estar expuesto a diversos factores físicos y climatéricos, debe someterse previamente a un secado.

2.1.1.2. Densidad.

De acuerdo a los estudios realizados por López & Correal (2009) se determinó que la densidad de la *Guadua* laminada es en promedio de 715 kg/m^3, con un contenido de humedad promedio del 12%; La densidad de los laminados de *Guadua* es un buen indicador de su rigidez, parámetro de mayor importancia en el dimensionamiento de elementos estructurales, una de las conclusiones de los resultados fue “teniendo en cuenta la comparación de la resistencia de diseño entre las maderas estructurales andinas y los laminados de *Guadua*, estos se proyectan como un material alternativo de ingeniería de fabricación industrial, con excelente resistencia y ambientalmente sostenible”.

Según Janssen (2004) la densidad de la caña *Guadua* varía de 700 a 800 kg/m^3, según el lugar de la plantación, esta propiedad es muy importante debido a que mientras mayor sea la masa por volumen, la caña *Guadua* será más pesada debido a la alta cantidad de moléculas presentes en una unidad de volumen, y más densa la caña.

2.1.1.3. Contracción.

Según Liese & Köhl (2015) cuando el contenido de humedad está por debajo

bajo del PSF, la expansión debida a la absorción de agua es similar a la contracción debida a la adsorción, la dimensión radial obtuvo expansiones máximas de hasta un 6.5 %, las expansiones tangenciales máximas fueron de 5.1 % y las longitudinales de máximo 0.8 %, se observa que los cambios dimensionales en la dirección tangencial y radial del bambú son similares, la contracción aparente del bambú en dirección radial es ligeramente mayor, aunque similar a la contracción en dirección tangencial.

2.2.2. Propiedades mecánicas del bambú.

Gutiérrez C, (2015) menciona que las propiedades mecánicas del bambú en general están fuertemente correlacionadas con su estructura anatómica, como se ha demostrado en muchas investigaciones, estas propiedades mecánicas están determinadas por peso específico, la cual varía aproximadamente de 0,5-0,9 g/cm^3, esta depende principalmente del contenido de fibra, del diámetro de la fibra y del grosor de las células de la pared de la fibra, por lo tanto, varía considerablemente dentro de un mismo culmo y entre especies; además (Gutiérrez C, 2015) señala que la gravedad especifica se incrementa a lo largo del culmo, desde la base hacia el ápice, debido a la reducción de la pared del culmo y al incremento en la concentración de haces vasculares; la reducción del espesor de la pared del culmo está asociada con la resistencia mecánica, especialmente hacia el ápice, el cual contiene menos parénquima y más fibra.

Según Londoño & Clark (2002) los nudos influyen en la resistencia mecánica del culmo, mostrando un menor volumen de encogimiento y una menor resistencia tensil que los entrenudos por tener fibras más cortas y haces vasculares alterado; los mismos autores explican que en el sentido vertical la cantidad de fibra

incrementa de la base hacia la punta mientras que la cantidad de tejido de parénquima decrece.

La gravedad específica del bambú, se incrementa a lo largo del culmo, desde la base hacia el ápice, debido a la reducción de la pared del culmo y al incremento en la concentración de haces vasculares, por tanto, concluyen que la reducción del espesor de la pared del culmo está asociada con la resistencia mecánica, especialmente hacia el ápice, el cual contiene menos parénquima y más fibra (Londoño & Clark, 2002).

Por su parte Ordoñez (1999) recomienda que, para seleccionar el material experimental para el estudio de sus propiedades, este debe haber llegado a su madurez, señalando que las propiedades mecánicas del bambú son más altas en individuos maduros, en promedio a la de 5 años.

2.1.1.4. Flexión.

Ghavami (2004) en su investigación análisis de un caso prácticos sobre el bambú como material estructural, concluye que los mejores esfuerzos a la flexión y módulo de elasticidad, se obtienen en el tope de los culmos esto debido a la alta concentración de haces vasculares y poco parénquima.

Castrillón y Malaver (2004) recomienda que para la determinación de las propiedades mecánicas en flexión del culmo de *Guadua angustifolia* Kunth se debe trabajar con secciones cercanas a la circular, aunque sus irregularidades pueden llegar a ser muy grandes, además indica que se miden las secciones en los extremos del espécimen, para control de la prueba, al final de la misma se miden las secciones cercanas a los puntos de carga, y con el promedio de estas mediciones se calculan el módulo de ruptura (MOR) y el módulo de elasticidad

(MOE). Así, estas variaciones geométricas son compensadas y el elemento es tratado (en los cálculos) como una viga de sección transversal perfectamente circular y constante a lo largo del tallo, este método da una buena aproximación al comportamiento real de un elemento.

Londoño (2002) indica que en el bambú se tienen dos circunstancias en laboratorio que afectan la confiabilidad de los resultados:

a) En laboratorio es imposible lograr que la aplicación de las cargas se haga en el eje centroidal, y esta pequeña excentricidad produce deflexión y momento sobre la columna.

b) Las imperfecciones (curvaturas, rajaduras) que pueden tener los tallos inducen flexión y esfuerzos anormales. Los autores sugieren reducir el error usando probetas de menor longitud.

Según Janssen (2002) con respecto a los módulos de elasticidad, observo una ventaja en el uso de culmos delgados con relación a su sección transversal; así mismo la acumulación de fibras de alta resistencia en las partes externas de la pared del bambú también trabaja positivamente a favor de los módulos elásticos como lo hace para las resistencias a tensión y flexión.

Además, Janssen (2002) señala que los módulos elásticos de la madera sólida y el de la *Guadua sp*. decrecen entre 5 y 10% con el aumento de los esfuerzos; la alta elasticidad de dicha especie, lo hace un material potencial para ser usado en áreas con alto riesgo sísmico.

2.1.1.5. Compresión.

Ahmad (2000) señala que la compresión paralela a las fibras en el caso de la

Guadua sp. manifiesta una resistencia menor comparada con la de tensión, comportamiento que se debe a la ausencia de radios medulares y cambium que caracterizan los tejidos presentes en la madera; presentando un tejido constituido por fibras longitudinales que manifiestan separación en el momento de aplicación de la fuerza aunado con la presencia de los nudos o perforaciones.

Gutierrez y Gómez (2002) afirman que la carga crítica es directamente proporcional a la rigidez del material y/o a secciones con mayor 25 momento de inercia. Por esta razón el bambú es bueno para soportar compresión, ya que su sección transversal es un tubo, lo cual es la forma más efectiva de poner masa alejada del centroide, incrementando el momento de inercia, suponiendo que la sección es simétrica para cualquier eje.

2.1.1.6. Cizallamiento.

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

Cheatle & Lopez (2002) en su investigación diseño de uniones y elementos en estructuras de *Guadua*, encontraron un valor de esfuerzo admisible promedio de 70.05 kg/cm² para los elementos de la especie como la *Guadua sp* sometidos a esfuerzo de cizalladura.

Diaz & Gonzales (1992) determinaron los valores en esfuerzo de cizalladura a los elementos estructurales de la *Guadua* provenientes de Antioquia y Risaralda, sometidos a cizalladura en esfuerzos promedios de 58.94 kg/cm² y de 78.92

kg/cm² respectivamente.

2.2.3. Características del género *Guadua*.

2.2.3.1. Género *Guadua*.

El género *Guadua* abarca las especies más grandes y económicamente importante de américa tropical; es endémico de américa con aproximadamente 30 especies que se distribuyen desde México, hasta el norte de Argentina y desde el nivel del mar hasta un máximo de 2800 msnm, prefiriendo las bajas altitudes (0- 1500) y las regiones húmedas. La temperatura parece ser el factor limitante en su distribución latitudinal y altitudinal, se sabe que cerca de la línea ecuatorial no soporta temperaturas por debajo de 0º C con duraciones mayores a 6 horas diarias (Londoño X., 2002).

El 45% de las especies del género *Guadua* son de origen amazónico y las especies más representativas en esta cuenca son *Guadua weberbauveri* Pilger y *Guadua sacocarpa* Londoño y Peterson. La especie *Guadua paniculata* Munro, que se encuentra desde México hasta el Brasil presenta el más amplio rango de distribución latitudinal, mientras que *Guadua angustifolia* kunth es la especie que posee mayor Rango de distribución altitudinal, desde el nivel del mar hasta los 2.600 msnm (Castaño y Moreno, 2004).

El género *Guadua* es ecológicamente muy importante en la estructura de los ecosistemas amazónicos y en la biodiversidad de la región, ya que varias plantas y animales están asociadas con especies de este género (Oliver y Poncy, 2009). Así mismo es de gran importancia cultural para la población local al proveer de materiales para construcciones y otros usos (judziewicz et al., 1999 citado por Arancibia, 2017).

Tovar (1993) describe al género *Guadua* como bambúes generalmente de estatura alta; rizomatosos, con cañas huecas, vainas foliares de las cañas prematuramente caducas y anchas, ramas con espinas rectas o arqueadas, pocas o numerosas, que nacen de los nudos de la caña, una generalmente más larga que las demás, inflorescencias en la larga espiga compuestas por pseudoespiguillas multifloras, con lemas multinervadas, palea de menor o igual longitud que la lema, seis estambres y tres estigmas típicamente.

Londoño X. , (2002) define también otros caracteres qué diferencia a *Guadua* del resto de los bambúes cómo hoja en forma triangular con los bordes de la vaina y de la lámina continúa o casi continua, banda de pelos blancos y cortos arriba y abajo de la línea nodal, presencia de estomas por el haz y el envés de la lámina foliar, presencia de papilas asociadas con estomas por el haz de la lámina foliar, palea de textura firme con quillas alada y cuerpos silíceos en forma de silla de montar, angostos y elongados. Considera también el carácter de las espinas muy constante, sin embargo, no lo considerará un carácter genérico sino específico, presenta también culmos huecos en la mayoría de las especies; sin embargo, *Guadua amplexifolia, Guadua macrospiculat*a y *Guadua glomerata* tiene culmos sólidos, características que hace potencialmente útiles en la industria del mueble y del papel (Londoño,1998;2002).

2.2.3.2. Distribución geográfica.

Londoño & Clark (2002), afirma que el ambiente natural de los bambúes, son los bosques tropicales húmedos, tropicales secos y templados. En los departamentos de Ucayali, Madre de Dios, Cusco y Junín, existen grandes extensiones de bosques naturales asociados con bambú, aproximadamente 39,978 Km² de bosques con bambú, siendo las especies dominantes *Guadua*

angustifolia, *Guadua sarcocarpa*, *Guadua superba*, *Dendrocalamus*, *Bambusa vulgaris* var. vittata.

2.2.3.3. *Guadua* y su uso como material de construcción.

Según Brand et al. (2015) la *Guadua* como material alternativo en la construcción tiene una gran acogida por su economía y versatilidad a la hora de su aplicación, en Colombia existen muchas construcciones en *Guadua*, desde puentes, edificios y bodegas, hasta muebles hechos en *Guadua*. Por lo que gracias a sus propiedades mecánicas la *Guadua* es un material alternativo muy utilizado en Colombia, tanto así que el Reglamento Colombiano de diseño Sismo Resistente (NSR-10) dedica gran parte de su título G de maderas para la aplicación de esta materia. Además, Brand et al. (2015) menciona que la aplicación de la *Guadua angustifolia* es en estructuras de uno y dos pisos en los pueblos rurales de Colombia, ya que por tradición se ha empleado este material para estos fines desde la época colonial e incluso en tiempos remotos. Sin embargo, recientemente otras aplicaciones de materiales naturales en la construcción son reportadas en la literatura técnica, fundamentalmente aquellas que implican la utilización de la *Guadua* no solo como material rollizo, sino también la extracción de sus fibras para la confección de materiales compuestos de aplicación en la confección de elementos estructurales.

2.2.3.4. Características Físicas de la *Guadua*.

Los culmos de *Guadua* son formados por cáscaras cilíndricas, esbeltas, y huecas, cuyas cavidades son separadas por diafragmas que actúan como una característica distintiva desde el punto de vista físico es que tanto el espesor de la pared del culmo, como el tipo y porcentaje de fibras varía a lo largo de toda la

longitud del mismo. Este aspecto es importante y debe ser considerado a la hora de realizar un análisis del material debido a su influencia en el comportamiento mecánico, lo cual condiciona su posible aplicación (Ghavami K., 1992).

2.2.3.5. Características Químicas de la *Guadua*.

La *Guadua* es un material orgánico, producido por procesos de fotosíntesis que tienen lugar en sus hojas y que responden a la siguiente ecuación:

$$CO2+2H2O+112,3\ Cal\ (luz\ solar,\ clorofila)\ CH2O+H2O+O2$$

Se trata de un polímero natural, no homogéneo y anisótropo, en el cual las propiedades elásticas varían en el sentido longitudinal, transversal y radial, siendo la celulosa la principal responsable por sus propiedades mecánicas (Brand et al., 2015).

2.2.3.6. Características Mecánicas de la *Guadua*.

Brand et al., (2015) menciona que la *Guadua* es un material natural y por ese motivo existen una infinidad de factores que afectan su desempeño mecánico. Al igual que en el caso de estructuras de madera, factores importantes a tener en consideración son el contenido de humedad de la planta, la edad y los posibles defectos e imperfecciones que pueden ser adquiridos durante el crecimiento o como resultados del tratamiento preservativo aplicado.

Según Brand et al., (2015) menciona la NSR-10 en su Título G.12-3 establece que la *Guadua* para ser utilizada con fines estructurales debe cumplir, la edad adecuada para su uso con fines estructurales debe estar entre los 4 y los 6 años, el contenido de humedad de la *Guadua* debe corresponder con el contenido de humedad de equilibrio de la región donde será utilizada, la *Guadua* estructural

debe tener una buena durabilidad natural o estar adecuadamente preservada. Además, se deben aplicar todos los recursos para protegerla mediante el diseño del contacto con la humedad, la radiación solar, los insectos y los hongos.

La clasificación mecánica debe satisfacer las recomendaciones de la NTC 5525, en relación con su capacidad a resistir cargas de compresión paralela, corte paralelo, flexión y tracción, así como, en su módulo de elasticidad (Brand et al., (2015).

2.2.4. Características de las tres especies del género *Guadua*.

2.2.4.1. *Guadua lynnclarkiae* Londoño.

Según Arancibia (2017) la especie *Guadua lynnclarkiae* presenta dimorfismo en hojas caulinares y espinas, ha sido identificada como una nueva especie de *Guadua* para el Perú, proximo a *Guadua angustifolia* kunth y es conocida comúnmente como "marona".

Londoño (2013) citado por Arancibia, (2017) menciona que esta especie se distribuye en el noroccidente del Perú, en el departamento de San Martín, entre 800 y 900 msnm, a orillas de ríos y quebradas. No tolera áreas inundables. Quedan muy pocas poblaciones debido a la severa destrucción de la selva con fines agrícolas. Crecen el sotobosque con heliconias, piperáceas, aráceas, convolvuláceas, *costus sp*., ciperáceas, melastomatáceas, ciclantáceas, helechos, iracas y gramíneas, y en el estrato superior con árboles del género *Ficus sp*. (higuerón u oje).

Arancibia, (2017) menciona que se observa poco uso de este bambú en el área donde crece quizás debido a la abundancia de la madera en la zona. Se utiliza para colocar antenas de TV, en la construcción de los techos con zinc, y para

extraer "esterillas" o *Guadua* picada para paredes y Corrales. Su gran tamaño sumado al espesor de su pared (2 a 5 cm) y a sus propiedades físico-mecánicas hacen que esta especie tenga un potencial para la industria de la construcción de los laminados.

Presenta alta densidad de los culmos por hectárea (7000 culmos/ha) y una alta tasa de crecimiento, lo cual se corrobora con mediciones de culmos hasta de 15 cm de diámetro y 25 culmos por sitio en una planta con cinco años de cultivo (Arancibia, 2017).

Entre sus principales características morfológicas, el mismo autor señala que esta especie presenta rizoma paquimorfo de 20 - 40 cm de longitud; culmos de 20- 27 m de altura, 9 - 17 cm de diámetro, erecto de la base y arqueado apicalmente, hoja caulinar triangular, coriácea, de color café decidua, ramificación intravaginal, rama primaria solitaria y con espinas, con 1-4 espinas por nudo, rama espinosa con o sin desarrollo de complementos foliares en el extremo, lámina foliar de 18-23 cm por 2-4.2 cm de ancho (Arancibia, 2017).
Usos y potencialidad: construcción, artesanías, muebles, paisajismo.

2.2.4.2. *Guadua weberbaueri* Pilger.

La especie *Guadua weberbaueri* tiene el sinónimo botánico *bambusa weberbaueri* y es conocida vernacularmente como marona o paca. Se distribuye en la región amazónica de Colombia, Perú, Brasil y Venezuela, tiene como hábitat la selva amazónica humedad Tropical (Tovar, 1993).

Guadua weberbaueri y *Guadua sarcocarpa* son especies con características morfológicas muy similares y por lo tanto taxonómicamente muy cercana, según Judziewicz et. al. (1999) citado por Arancibia, (2017).

La distribución geográfica de estas dos especies está superpuesta, ambas están presente en abundancia en la zona sur-este de la amazonía Griscom et al., (2007) reportaron qué estudios han mostrado la dominancia de *Guadua weberbaueri* y *Guadua sarcocarpa* en diferentes tipos de suelo incluyendo suelos arenosos y suelos francos, lo que sugiere que estas especies son generalistas de suelo.

Según Tovar (1993) es una planta robusta, de hasta 18 m de altura, con cañas con ramas divaricadas, ascendentes, láminas foliares de las ramas elíptico-lanceoladas, de 13-17 cm de largo por 2-3,5 cm de ancho, espiguillas sésiles o subsésiles dispuestas en la pared apical de las ramas floríferas, 3-floras, pubescentes, de 17-25 mm de largo, Glumas pequeñas, agudas, lemma rígida, aguda, multinervada, de 13-16 mm de largo.

En cuanto a su uso Judziewicz et al., (1999) citado por Arancibia, (2017) señala que se cultiva como ornamental, construcciones, envases e instrumentos musicales en poblaciones de Selva baja y vertientes orientales de la Amazonía, y Londoño (2010), afirma que la utilizan para construir albergues y corrales para animales menores, para fabricar canastos, y para encabar herramientas, y en Moyobamba la observó como elemento decorativo en la pared de un restaurante. Usos y potencialidad: estructuras ligeras, artesanía, muebles, como estructura para paredes de bahareque, paisajismo.

2.2.4.3. *Guadua superba* Huber. según (Reátegui, 2019)

Comentarios a la identificación: Presenta dimorfismo en hojas, las hojas foliares más anchas presentan fimbrias en las vainas. Lígula curvada, con la parte más alta en la parte media de la hoja, con presencia de aurículas fimbriadas a los

lados. Entrenudos casi sólidos.

Usos y potencialidad: los culmos casi sólidos de *Guadua superba*, podrían tener potencial para la construcción, paisajismo.

2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS

Basa: Segundo segmento del culmo de *Guadua*, a continuación de la cepa, con longitud entre 4 y 6 m (AIS, 2010).

Cepa: Primer segmento basal del culmo de *Guadua* con longitudes que fluctúan entre 3 a 4 m; es la parte de la *Guadua* que presenta el mayor diámetro y el mayor espesor de pared (AIS, 2010).

Contenido de humedad: Es la cantidad de agua contenida en la madera; se expresa como porcentaje de su masa anhidra.

Contenido de humedad en equilibrio higroscópico: Es aquel contenido de humedad en la cual la madera está en equilibrio con el medio ambiente circundante.

Contenido de humedad promedio: Es la cifra que expresa el valor promedio de los contenidos de humedad de una pieza de madera.

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

Densidad: Es la razón entre el peso y el volumen de la madera a un determinado contenido de humedad.

Cizalladura: Capacidad que tiene la madera de resistir fuerzas que tienden a causar el deslizamiento de una sección sobre otra adyacente (IRAM 9596, 1977).

Compresión perpendicular: Resistencia que opone la madera a una carga

repartida aplicada en sentido perpendicular a la dirección de las fibras en una de las caras radiales de la probeta (IRAM 9547, 1977).

Compresión paralela: Resistencia que ofrece una columna a una carga aplicada en el mismo sentido de la dirección de las fibras (IRAM 9541, 1977).

Culmo: Eje aéreo segmentado, formado por nudos y entrenudos, que emerge del rizoma; es el equivalente al tallo de un árbol (AIS, 2010).

Flexión estática: Mide la resistencia que ofrece una viga a una carga puntual aplicada en el centro de luz o distancia entre apoyos, en la cara tangencial más cercana a la médula de la probeta (IRAM 9542, 1977).

Nudo: Anillo blanco característico que se encuentra a lo largo del tallo (Fundacion AVSI y NRD,UNISS, 2017).

Rizoma: Llamado caimán, es la raíz de cada tallo, son cortos, gruesos y de forma curva, y cumple la función de anclaje al suelo y para la asimilación de nutrientes (Fundacion AVSI y NRD,UNISS, 2017).

Sobrebasa: Tercer segmento del culmo de *Guadua*, localizado a continuación de la basa con longitudes hasta de 4 m (AIS, 2010).

Varillón: Segmento terminal del culmo de *Guadua*, localizado a continuación de la sobrebasa, con longitudes hasta de 4 m (AIS, 2010).

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1. MÉTODO DE INVESTIGACIÓN.

Se empleó el método de tipo experimental, porque se utilizaron los factores especies y niveles longitudinales del culmo, para determinar y comparar las propiedades físicas y mecánicas, analítico debido a la observación de la variación y su análisis estadístico de las propiedades físicas y mecánicas de 3 especies de bambú.

3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA.

3.2.1. Población.

La población estuvo conformada por todas las matas de bambú del genero *Guadua* de las tres (3) especies que se encuentran en la provincia de Moyobamba, Villa Rica y Coronel Portillo de la Amazonia Peruana.

3.2.2. Muestra.

La muestra por población corresponde al método de muestreo probabilístico de tipo aleatorio por conglomerados. El primer conglomerado son las tres (3) matas por cada especie escogidos al azar. El segundo conglomerado son los tres (3) culmos seleccionado por mata, dentro de los culmos se tomó las que presentaron mejor aspecto físico y fitosanitario.

3.3. PROCEDIMIENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS.

3.3.1. Proceso de preparación del material de investigación.

3.3.1.1. Obtención del culmo.

Se realizaron los ensayos de laboratorio, de las muestras colectadas e identificadas por especie según el "informe de identificación de especies de bambú" anexo, se colectaron en los siguientes departamentos.

a) *Guadua lynnclarkiae* (Londoño) procedente del departamento de San Martin distrito de Moyobamba.

b) *Guadua weberbaueri* (Pilger) procedente del departamento de Pasco de la localidad de Villa Rica.

c) *Guadua superba* (Huber) procedente del departamento de Ucayali provincia de Coronel Portillo distrito de Manantay.

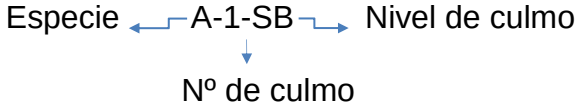
3.3.1.2. Codificación de los culmos.

Los culmos fueron codificaron de la siguiente manera:

– Especie: *Guadua lynnclarkiae* (A), *Guadua weberbaueri* (B), *Guadua superba* (C)

– Número del culmo dentro de la especie: 1, 2, 3

– Nivel dentro del culmo: Sobrebasa (SB), Basa (B), Cepa (C).



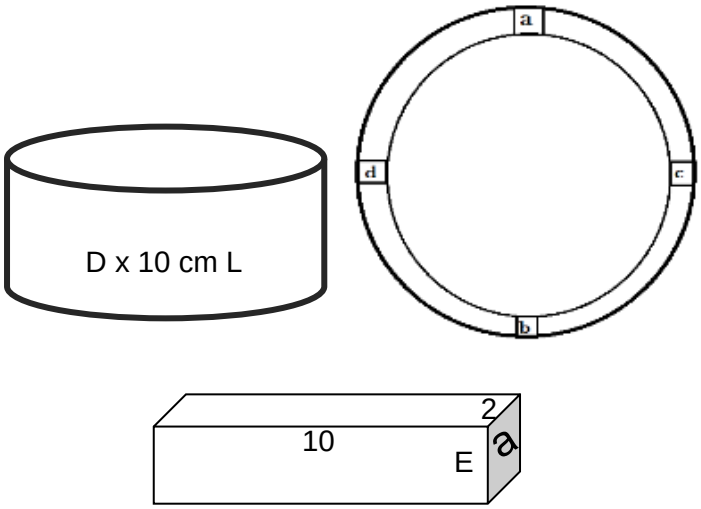
3.3.1.3. Obtención de las probetas para propiedades físicas.

La obtención de las probetas se realizó en las instalaciones del CITE- Forestal - Pucallpa, donde fueron cortadas tomando como referencias las Normas NTP - 251.008, 251.009, 251.010, 251.011 y 251.012. Se obtuvieron 04 probetas por nivel del culmo, 12 probetas por culmo, 36 probetas por especie, con un total de

108 probetas completamente orientadas con dimensiones estándar estipuladas en la Norma.

Figura 1

Método de corte cruciforme de rodajas y probeta para propiedades fisicas.



Espesor de pared x 2 (cm) ancho x 10 (cm) Largo

Tabla 1

Número de probetas en cada especie de bambú para propiedades físicas.

Las especies de bambú	Niveles de altura del culmo de bambú	Culmo de bambú			N° total de probetas/ altura	N° total de probetas
		1	2	3		
Guadua lynnclarkiae	Cepa	4	4	4	12	**108**
	Basa	4	4	4	12	
	Sobrebasa	4	4	4	12	
	Total				**36**	
Guadua weberbaueri	Cepa	4	4	4	12	
	Basa	4	4	4	12	
	Sobrebasa	4	4	4	12	
	Total				**36**	
Guadua superba	Cepa	4	4	4	12	
	Basa	4	4	4	12	
	Sobrebasa	4	4	4	12	
	Total				**36**	

3.3.1.4. Codificación de las probetas.

Las probetas se codificaron de la siguiente manera:

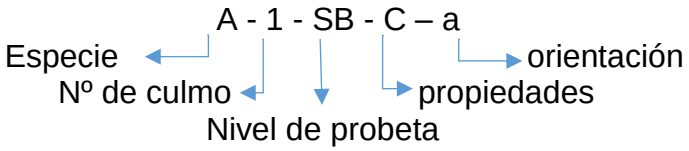
– Especie: G *lynnclarkiae* (A), G *weberbaueri* (B), G *superba* (C)

– Número del culmo dentro de la especie: 1, 2, 3

– Nivel dentro del culmo: Sobrebasa (SB), Basa (B), Cepa (C).

– Propiedades: propiedades físicas (C, CH, D) y mecánicas (F, CPA, CPE, CZN, CZ).

– Orientación: (a, b, c, d).



3.3.2. Evaluación de las propiedades físicas.

La evaluación de las propiedades físicas se llevó a cabo en el laboratorio de CITE- Forestal Pucallpa, ubicado en la carretera Federico Basadre Km. 4, Distrito Calleria, Provincia Coronel Portillo, Región Ucayali. Las medidas de las probetas fueron de 10 x 2 x espesor cm de la pared del culmo.

Para el cálculo general de las diferentes evaluaciones para propiedades físicas de las probetas se utilizaron las normas técnicas peruana.

3.3.2.1. Contenido de humedad.

Para el cálculo de los diferentes contenidos de humedad de las probetas se utilizó la Norma NTP 251.010.

Contenido de humedad verde.

$$CH(\%) = \left(\frac{Ph - Psh}{Psh}\right) x100$$

Contenido de humedad en equilibrio higroscópico

$$CHEH(\%) = \left(\frac{Ph - PsHEH}{PsHEH}\right) x100$$

Ph : Peso húmedo de la probeta en g.

PsHEH: Peso con humedad en equilibrio higroscópico de la probeta en g.

Psh : Peso seco al horno de la probeta en g.

3.3.2.2. Densidad.

La densidad del bambú en sus diferentes condiciones, se determinó según lo establecido en la NTP 251.011 y se utilizaron las siguientes formulas:

Densidad básica $= \left(\frac{Psh(CH \approx 0\%)}{Vh(CH > 30\%)}\right) g/cm^3$

Psh: Peso seco al horno

Vh: Volumen verde o saturado

Densidad Verde $= \left(\frac{Ph(CH > 30\%)}{Vh(CH > 30\%)}\right) g/cm^3$

Psh: Peso verde o saturado

Vh: Volumen verde o saturado

Densidad en equilibrio higroscópico $= \left(\frac{Psa(CH \approx 12\%)}{Vsa(CH \approx 12\%)}\right) g/cm^3$

Psa: Peso seco al aire o en HEH

Vsa: Volumen seca al aire o en HEH

Densidad seca al horno $= \left(\frac{Psh(CH \approx 0\%)}{Vsh(CH \approx 0\%)}\right) g/cm^3$

Psh: Peso seco al horno

Vsh: Volumen seco al horno

3.3.2.3. Contracción.

Las contracciones de la pared del culmo y longitudinal del bambú fueron evaluadas tal como lo establece la norma NTP 251.012 y para el cálculo se utilizó las siguientes formulas:

- **Contracción de la pared del culmo.**

$$\beta r(\%) = \left(\frac{Dhr(CH > 30\%) - Dsr(CH \approx 0\%)}{Dsr(CH > 30\%)}\right) x100$$

βr: Contracción de la pared del culmo %

Dhr (CH>30): Dimensión de la pared del culmo verde o saturado con un contenido de humedad mayor al 30%

Dsr (CH ≈ 0%): Dimensión de la pared del culmo seco al horno con un contenido de humedad de aproximadamente 0%

- **Contracción longitudinal**

$$\beta l(\%) = \left(\frac{Dhl(CH > 30\%) - Dsl(CH \approx 0\%)}{Dsl(CH > 30\%)}\right) x100$$

βr: Contracción longitudinal %

Dhr (CH>30): Dimensión longitudinal verde o saturado con un contenido de humedad mayor al 30%

Dsr (CH ≈ 0%): Dimensión longitudinal seco al horno con un contenido de humedad de aproximadamente 0%

3.3.3. Preservado del culmo.

Para evitar el ataque de hongo e insectos se realizó mediante la inmersión en una poza con contenido 2 Kg bórax por 100 litros agua durante 24 horas.

Se realizó un segundo tratamiento preservador contra el ataque de insectos, empleándose el producto Lorpyfos; tratamiento por aspersión con mochila a una concentración del 2% del producto mencionado.

3.3.4. Obtención de las probetas para propiedades mecánicas.

La obtención de las probetas se realizó en las instalaciones del CITE- Forestal - Pucallpa, donde fueron cortadas tomando como referencias la Norma técnica colombiana. Se obtendrán 05 probetas por nivel del culmo, 15 probetas por culmo, 45 probetas por especie, dando un total de 135 probetas completamente orientadas con dimensiones estándar estipuladas en la Norma.

Tabla 2

Número de probetas en cada especie de bambú para propiedades mecanicas.

Nº probetas de propiedades mecanicas						Nº total de probetas/ altura/ culmo	Nº total de las "3" especies
Alturas/ culmo	flexión estática	compresión paralela	compresión perpendicular	cizallamiento NUDO	cizallamiento SIN NUDO		
Base	3	3	3	3	3	15	135
Medio	3	3	3	3	3	15	
Ápice	3	3	3	3	3	15	
Total	9	9	9	9	9	45	

3.3.5. Evaluación de las propiedades mecánicas.

La evaluación de las propiedades mecánica se llevó a cabo en el laboratorio de Tecnología de la Madera de la Universidad Nacional Intercultural de la Amazonía, Ubicada en la carretera San José km. 0.5, distrito de Yarinacocha, Región Ucayali.

3.3.5.1. Flexión estática.

Para el cálculo de los diferentes resultados de flexión estática de las probetas se utilizó la norma técnica colombiana NTC 5525 y NTP 251-017; acondicionadas a los ensayos de bambú.

- **Cálculo del momento de inercia.**

Para el cálculo se aplicó la formula siguiente:

$$I_{\beta} = \frac{\pi}{64} x \ (D^4 - (D - 2t)^4) \ mm^4$$

Siendo:

I_{β} = Momento de inercia, empleado para predecir el comportamiento durante el ensayo (mm4).

D = Diámetro externo promedio de la probeta (mm).

t = Espesor promedio de la pared de la probeta (mm).

- **Esfuerzo al límite proporcional.**

Según (Gonzalez E. , 2002) para el cálculo se aplicó la formula siguiente:

$$E.L.P. = \left(\frac{8 \ x \ \text{Flim} \ x \ \ \text{L} \ x \ \text{D}}{\pi \ x \ D^4 - Di^4}\right) kg/cm^2$$

Siendo:

E.L.P. = El esfuerzo al límite proporcional (kg/cm^2).

Flim = La carga a la limite proporcional (Kg).

D = Diámetro externo (cm)

Di = Diámetro interno (cm)

L = Luz del elemento (cm)

- **Módulo de ruptura.**

Para el cálculo se aplicó la formula siguiente:

$$\text{MOR} = \left(\frac{F\text{ult (N)}\ x\ L\ (mm) x\ R\ (mm)}{4\ x\ I_{\beta}(mm^4)}\right) N/mm^2$$

Siendo:

MOR = Módulo de ruptura (MPa).

Fult = Carga máxima (N).

L = Luz del elemento (mm)

I_{β} = Momento de inercia (mm^4)

R = Radio promedio (mm)

- **Módulo de elasticidad.**

Según (Gonzalez E. , 2002) para el cálculo se aplicó la formula siguiente:

$$\text{MOE} = \left(\frac{4\ x\ \text{Flim}\ x\ \text{L}^3}{3\ x\ \delta\ x\ \pi\ x\ (D^4 - Di^4)}\right) kg/cm^2$$

Siendo

MOE = Módulo de elasticidad (Kg/cm^2).

Flim = La carga a la limite proporcional (Kg).

L = Luz del elemento (cm)

δ = La deflexión en el punto medio de la luz (mm).

D = Diámetro externo (cm)

Di = Diámetro interno (cm)

3.3.5.2. Compresión paralela.

Para el cálculo de los diferentes resultados de compresión paralela de las probetas estos ensayos se realizaron según la norma técnica colombiana NTC 5525 y NTP 251-014; acondicionadas a los ensayos de bambú.

- **Área transversal.**

Para el cálculo del área se aplicó la siguiente fórmula:

$$\mathrm{A} = \frac{\pi}{4}\ x\ (D^2 - (D - 2t)^2)$$

Siendo:

D = Diámetro externo promedio

t = Espesor de pared promedio

- **Resistencia máxima.**

Para el cálculo se aplicó la siguiente fórmula:

$$\mathrm{RM} = \left(\frac{F\ ult}{A}\right) N/mm^2$$

Siendo:

RM = Resistencia máxima (N/mm²).

Fult = Carga máxima (N).

A = Área transversal (mm²)

- **Módulo de elasticidad.**

Para el cálculo se aplicó la siguiente fórmula:

$$\mathrm{MOE}\ = \left(\frac{Flim\ (\mathrm{N})\ x\ L\ (mm)}{A(mm^2)\ x\ \delta(mm)}\right) N/mm^2$$

Siendo

MOE = Módulo de elasticidad (N/mm²).

Flim = La carga a la limite proporcional (N).

L = Luz del elemento (mm)

δ = La deflexión en el punto medio de la luz (mm).

A = Área transversal (mm²)

3.3.5.3. Compresión perpendicular.

Para el cálculo del esfuerzo ultimo de compresión perpendicular de las probetas se utilizó la Norma NTP 251.016 acondicionadas a los ensayos de bambú Según Ardila, (2013).

- **Esfuerzo ultimo de compresión paralela.**

Para el cálculo se aplicó la siguiente fórmula:

$$\sigma \text{ultcp} = \left(\frac{3\ x\ D\ x\ F\text{ult}}{2\ x\ L\ x\ t^2}\right) N/mm^2$$

Siendo:

L = Longitud de la probeta (mm)

Fult = Carga máxima (N).

D = Diámetro externo promedio (mm)

t = Espesor de pared promedio (mm)

3.3.5.4. Cizallamiento.

Para el cálculo de la máxima resistencia al corte de cizallamiento de las probetas se utilizó la norma técnica colombiana NTC 5525.

- **Máxima resistencia al corte.**

Para el cálculo se aplicó la siguiente fórmula:

$$\tau\ ult = \left(\frac{F\text{ult}}{\sum(t\ x\ L)}\right) kg/cm^2$$

Siendo:

τ ult = resistencia ultima al corte, en MPa, con aproximación, por exceso o por defecto, a una cifra decimal.

Fult = Carga máxima (N).

∑(t x L) = suma de los cuatro productos de t y L

3.4. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS.

3.4.1. Técnicas.

Los datos se obtuvieron mediante la observación directa que emitieron los equipos de medición, análisis documental para la recopilación de datos de las fuentes secundarias como libros, informes y otros documentos indispensables como fuente de datos de la investigación presente.

3.4.2. Instrumentos.

Se utilizaron formatos de evaluación de pesos y dimensiones, estructurada de acuerdo a cada ensayo realizado (Anexo 2).

3.5. PROCESAMIENTO PARA RECOLECCIÓN DE DATOS.

Después de haber recopilado los datos cuantitativos y para comenzar a procesar estos mismos, se tuvo que transformarlos a unidades que las formulas requieren y poder encontrar así, la desviación estándar y el coeficiente de variación. La evaluación se obtuvo en base al promedio, también se logró obtener las figuras que permitieron enfocar el análisis en las influencias del esfuerzo mecánico con los niveles de culmo.

3.6. TRATAMIENTO DE DATOS.

Para verificar si existen diferencias significativas entre las propiedades físicas y mecánicas del culmo de bambú entre especies y niveles longitudinales del culmo, se realizó el análisis de la variancia de 2 factores (AV2), cuyas características son:

- Factor 1: Especies con 3 variantes

- Factor 2: Niveles del culmo con 3 variantes
- Nº de Tratamientos: 9
- Nº de repeticiones: 5
- Unidad experimental: 45 culmos.

Seguidamente, para comparar las medias de los tratamientos fue realizada la prueba de Tukey a 5% de probabilidad. La verificación de los supuestos de análisis de varianza fue realizada utilizando los programas Minitab 19.0 y BioEstat 5.0 (Ayres et al., 2007), y los análisis de varianza y prueba de medias fueron realizados con el software SISVAR (Ferreira, 2011).

Además, con la finalidad de identificar si existe diferencia significativa entre las propiedades físicas y mecánicas del culmo provenientes de niveles longitudinales de una misma especie, se utilizó el análisis de la variancia de 1 factor (ANVA1).

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS DEL CULMO DE TRES ESPECIES DEL GÉNERO *GUADUA* NATIVA DE LA AMAZONIA PERUANA.

Tabla 3.

Resumen de datos de las propiedades físicas del culmo de las tres especies del género Guadua.

Propiedades Física	*Guadua lynnclarkiae*		*Guadua weberbaueri*		*Guadua superba*	
	x̄	CV(%)	x̄	CV (%)	x̄	CV (%)
Humedad verde %	112.24	10.50	60.26	14.18	75.01	10.97
Humedad en equilibrio higroscópico %	14.58	6.4	13.05	4.42	15.39	5.46
Densidad básica g/cm³	0.65	12.40	0.75	13.28	0.72	11.58
Densidad verde g/cm³	1.21	0.49	1.22	1.27	1.21	1.27
Densidad en equilibrio higroscopico g/cm³	0.98	6.66	1.06	6.05	1.04	3.81
Densidad anhidra g/cm³	0.90	7.62	0.97	2.58	0.91	1.23
Contracción de la pared del culmo %	18.65	17.87	13.71	4.51	9.51	12.49
Contracción longitudinal %	0.46	21.23	0.39	19.87	0.21	20.03

La tabla 3 muestra los valores promedios de algunas propiedades físicas del bambú de las tres especies del género *Guadua*, siendo la *Guadua lynnclarkiae* quien presentó mayor contenido de humedad (112.24%), seguido de la especie *Guadua superba* (75.01%) y de menor contenido de humedad fue la especie de *Guadua weberbaueri* (60.26%). El contenido de humedad en equilibrio

higroscópico es la especie *Guadua superba* que presentó mayor contenido de humedad en equilibrio higroscópico con (15.39%), seguido de la especie *Guadua lynnclarkiae* (14.58%) y el de menor contenido de humedad en equilibrio higroscópico fue la especie de *Guadua weberbaueri* (13.05%). En el ensayo de densidad básica la que presento mayor densidad es la especie *Guadua weberbaueri* con 0.75g/cm^3 la especie que presento la menor densidad es *Guadua lynnclarkiae* con 0.65g/cm^3; la especie *Guadua superba* presento una densidad promedio en sus tres niveles de 0.72 g/cm^3. En la densidad verde la especie *Guadua weberbaueri* presentó el mayor valor 1.22 g/cm^3, seguido por la especie *Guadua lynnclarkiae* y *Guadua superba* presentaron una densidad promedio en sus tres niveles de 1.21 g/cm^3. En la densidad en equilibrio higroscópico la especie *Guadua weberbaueri* presentó el mayor valor 1.06 g/cm^3, seguido por la especie *Guadua superba* con 1.04 g/cm^3 y *Guadua lynnclarkiae* dando un promedio en sus tres niveles de 0.98 g/cm^3. En la densidad anhidra la especie *Guadua weberbaueri* muestra el mayor valor de 0.97 g/cm^3, seguido por la especie *Guadua superba* con 0.91 g/cm^3 y *Guadua lynnclarkiae* dando un promedio en sus tres niveles de 0.90 g/cm^3. Para el caso de contracción a la pared del culmo el mayor valor presento la especie *Guadua lynnclarkiae* con 18.65 %, la especie que presento la menor contracción es *Guadua superba* con 9.51 %; la especie *Guadua weberbaueri* presento una contracción promedio en sus tres niveles de 13.71 %. En la contracción longitudinal la especie *Guadua lynnclarkiae* presento el mayor valor con 0.46 %, la especie que presento la menor contracción es *Guadua superba* con 0.21 %; la especie *Guadua weberbaueri* presento una contracción promedio en sus tres niveles de 0.39 %.

4.1.1. Determinación del contenido de humedad del culmo de bambú de tres especies del género *Guadua*.

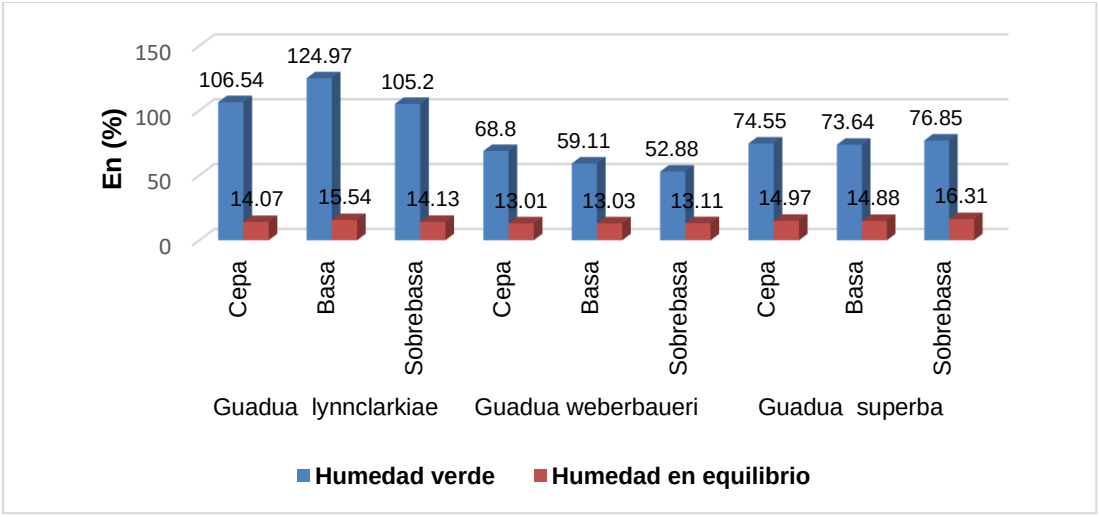
Tabla 4.

Contenido de humedad en condición verde y en equilibrio higroscópico de las tres especies culmo del género Guadua.

ESPECIE	Nivel del culmo	Contenido de humedad	
		Verde (%)	Equilibrio higroscópico (%)
Guadua lynnclarkiae	Cepa	106.54	14.07
	Basa	124.97	15.54
	Sobrebasa	105.20	14.13
Promedio		**112.24**	**14.58**
Guadua weberbaueri	Cepa	68.80	13.01
	Basa	59.11	13.03
	Sobrebasa	52.88	13.11
Promedio		**60.26**	**13.05**
Guadua superba	Cepa	74.55	14.97
	Basa	73.64	14.88
	Sobrebasa	76.85	16.31
Promedio		**75.01**	**15.39**

Figura 2

Contenido de humedad en condición verde y en equilibrio higroscópico en los diferentes niveles de culmo en las tres especies del género Guadua.



En la tabla 4 y en la figura 2 muestra el contenido de humedad verde y en equilibrio higroscópico de las tres especies del género *Guadua*, se determinó que el nivel de humedad más alto lo presento la especie *Guadua lynnclarkiae* con nivel cepa de 106.54%, basa de 124.97% y sobrebasa de 105.20%, la

especie que presento el menor contenido de humedad es *Guadua weberbaueri* con nivel cepa de 68.80%, basa de 59.11% y sobrebasa de 52.88%; la especie *Guadua superba* presento un porcentaje de humedad promedio en sus tres niveles de 75.01%. El contenido de humedad en equilibrio higroscópico de las tres especies del género *Guadua*, se determinó que el nivel de humedad más alto lo presento la especie *Guadua superba* con nivel cepa de 14.97%, basa de 14.88% y sobrebasa de 16.31%, la especie que presento el menor contenido de humedad es *Guadua weberbaueri* con nivel cepa de 13.01%, basa de 13.03% y sobrebasa de 13.11%; la especie *Guadua lynnclarkiae* presento un porcentaje de humedad promedio en sus tres niveles de 14.58%.

De acuerdo al análisis de varianza, del contenido de humedad verde y en equilibrio higroscópico en el culmo de tres especies del género *Guadua* (tabla 30-31), se pudo determinar que existe una diferencia significativa entre las especies y una interacción significativa entre los factores especies y nivel del culmo, por lo tanto, para resolver el caso de la interacción significativa se aplicó ANVA por especie del genero *Guadua* cuyo resumen se muestra en la tabla 5.

Tabla 5

Resumen de análisis de varianza del contenido de humedad verde y en equilibrio higroscópico en las tres especies del género Guadua.

Prueba estadística ANVA		
Especie	**CH Verde P**	**CH Equilibrio P**
Guadua lynnclarkiae	0.040*	0.065^{ns}
Guadua weberbaueri	0.039*	0.982^{ns}
Guadua superba	0.912^{ns}	0.031*

ns: no existe diferencias estadísticas significativas. *: Presenta diferencias estadísticas significativas.

Para determinar si existe diferencia significativa entre el contenido de humedad

verde de cada especie se realizó un análisis de varianza ($p<0.05$), el cual se puede observar en la tabla 5. Según el análisis ANVA 1 se observa que existe diferencia significativa entre niveles en el contenido de humedad verde de las especies *Guadua lynnclarkiae* y *Guadua weberbaueri* con una probabilidad (P) de 0.040; 0.039.

Mientras que en la especie *Guadua superba* no existe diferencias signicativa con una probabilidad de 0.912.

Tabla 6.

Prueba de media Tukey del contenido de humedad verde del culmo de las tres especies del genero Guadua

Contenido de humedad verde (%)				
Especies	Nivel del culmo			Promedio
	Cepa	Basa	Sobrebasa	
Guadua lynnclarkiae	106,53 B	124,97 A	105,20 B	112,23 a
Guadua weberbaueri	68,80 A	59,11 AB	52,88 B	60,26 c
Guadua superba	74,55 A	73,64 A	76,85 A	75,01 b
Promedio	83,29	85,91	78,31	

Letras mayúsculas iguales en las líneas y minúsculas en las columnas no difieren estadísticamente según la prueba de Tukey a 5% de probabilidad.

La tabla 6 muestra el resumen de la prueba de media Tukey del contenido de humedad verde del bambú proveniente de tres niveles longitudinales del culmo de tres especies del género *Guadua.*

En el caso de la especie *Guadua lynnclarkiae* se observa que el nivel basa difiere de los niveles cepa y sobrebasa. En cuanto a la especie *Guadua weberbaueri* en la prueba de medias Tukey muestra que el nivel cepa y basa no difieren entre sí, tampoco en el nivel basa y sobrebasa, pero si difiere de los niveles cepa y sobrebasa.

De igual manera para determinar si existe diferencia significativa entre el

contenido de humedad en equilibrio higroscópico de cada especie se realizó un análisis de varianza ($p<0.05$), el cual se puede observar en la tabla 5. según el análisis ANVA 1 se observa que no existe diferencia significativa entre niveles en el contenido de humedad en equilibrio higroscópico de las especies *Guadua lynnclarkiae* y *Guadua weberbaueri* con una probabilidad (P) de 0.065; 0.982 respectivamente. En el caso de la especie *Guadua superba* en la prueba de medias Tukey se observa diferencia significativa en el contenido de humedad en equilibrio higroscópico en los niveles con una probabilidad (P) de 0.031.

Tabla 7.

Prueba de media Tukey del contenido de humedad en equilibrio higroscópico del culmo de bambú de las tres especies del genero Guadua.

Contenido de humedad en equilibrio higroscópico (%)				
Especies	Nivel del culmo			Promedio
	Cepa	Basa	Sobrebasa	
Guadua lynnclarkiae	14,07 A	15,54 A	14,12 A	14,58 b
Guadua weberbaueri	13,01 A	13,03 A	13,01 A	13,02 c
Guadua superba	14,97 AB	14,88 B	16,31 A	15,39 a
Promedio	14,02	14,48	14,48	

Letras mayúsculas iguales en las líneas y minúsculas en las columnas no difieren estadísticamente según la prueba de Tukey a 5% de probabilidad.

La tabla 7 muestra el resumen de la prueba de media Tukey del contenido de humedad en equilibrio higroscópico del bambú proveniente de tres niveles longitudinales del culmo de tres especies del género *Guadua.*

En el caso de la especie *Guadua lynnclarkiae* se observa que el nivel basa difiere de los niveles cepa y sobrebasa. En cuanto a la especie *Guadua weberbaueri* en la prueba de medias Tukey muestra que el nivel cepa y basa no difieren entre sí, tampoco en el nivel basa y sobrebasa, pero si difiere de los niveles cepa y sobrebasa

Resultados diferentes a los determinados en *Guadua lynnclarkiae* y el nivel de culmo basa en esta investigación fueron reportados por Velásquez & Salvador (2008) en *Guadua sarcocarpa* Londoño con 62.58% de humedad en estado verde. No obstante, fueron similares a los determinados en las especies *Guadua weberbaueri* y *Guadua superba*. Así mismo, Botero (2004) y Estacio (2013) trabajando con *Guadua angustifolia* reportaron valores de contenido de humedad entre de 51% a 127%.

La determinación del contenido de humedad en los tallos de bambú recientemente cortados es de gran importancia, puesto que permite tomar acciones frente a la proliferación de vectores y hongos que pueden afectar sus propiedades de durabilidad (Alfonso & Díaz-Piraquive, 2020).

Resultados similares de 17% y 18% de humedad en equilibrio fueron determinados por Ordóñez-Candelaria y Bárcenas-Pazos (2014) y Suirezs et al. (2019), en *Guadua*s mexicanas y argentinas, con lo cual indicaron que este valor es factible técnicamente para ser utilizados en la construcción.

Por otra parte, conocer el contenido de humedad de los culmos después de haber cortado ayudará a establecer tiempos referenciales de secado en cámaras o al aire libre.

4.1.2. DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD DEL CULMO DE TRES ESPECIES DEL GÉNERO *Guadua*.

Tabla 8.

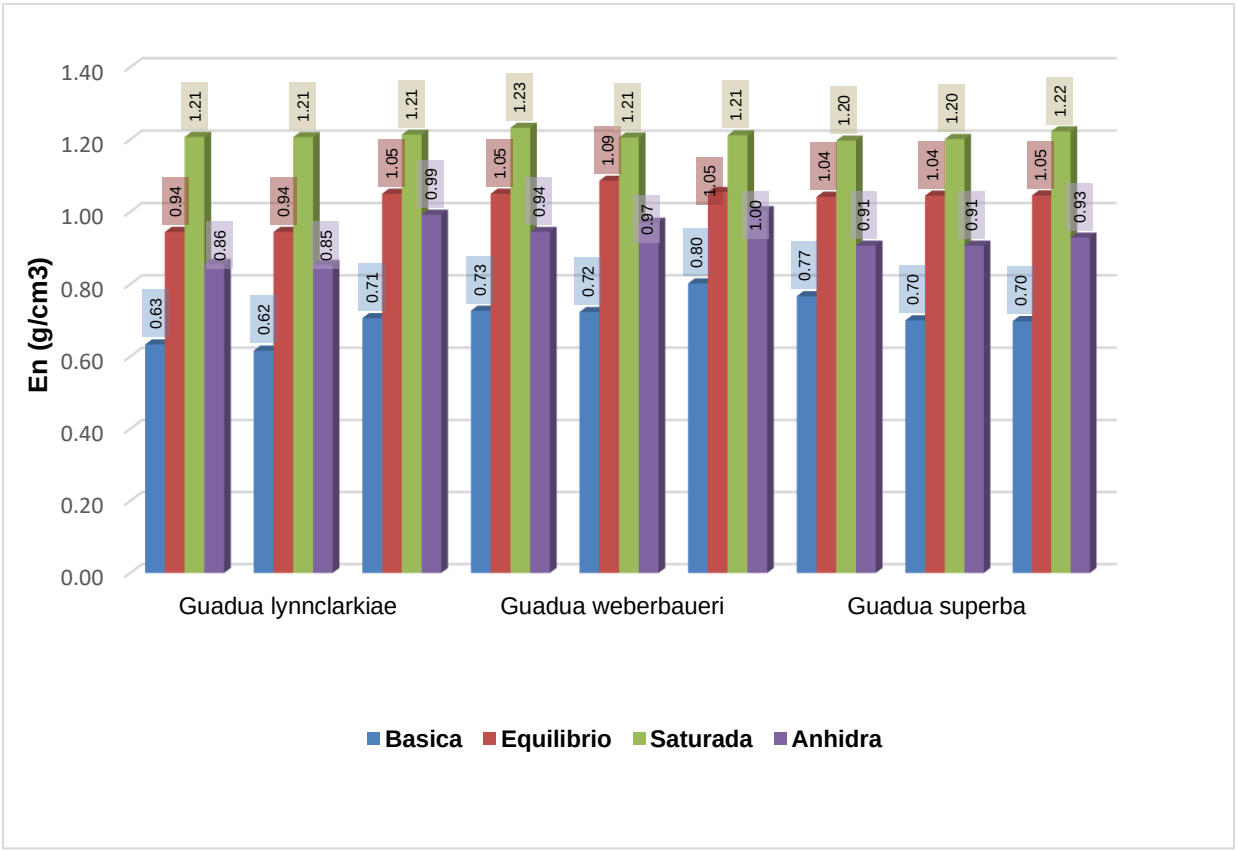
Densidades del culmo de las tres especies del género Guadua.

ESPECIE	Nivel del culmo	Densidad (g/cm^3)			
		Básica	Equilibrio	Verde	Anhidra
	Cepa	0.63	0.94	1.21	0.86

Guadua lynnclarkiae	Basa	0.62	0.94	1.21	0.85
	Sobrebasa	0.71	1.05	1.21	0.99
Promedio		**0.65**	**0.98**	**1.21**	**0.90**
Guadua weberbaueri	Cepa	0.73	1.05	1.23	0.94
	Basa	0.72	1.09	1.21	0.97
	Sobrebasa	0.80	1.05	1.21	1.00
Promedio		**0.75**	**1.06**	**1.22**	**0.97**
Guadua superba	Cepa	0.77	1.04	1.2	0.91
	Basa	0.70	1.04	1.2	0.91
	Sobrebasa	0.70	1.05	1.22	0.93
Promedio		**0.72**	**1.04**	**1.21**	**0.91**

Figura 3.

Densidades en los diferentes niveles del culmo en las tres especies del género Guadua.



En la tabla 8 y figura 3 se muestra las densidades de las tres especies del género *Guadua*, se determinó que la mayor densidad básica presento la especie *Guadua weberbaueri* con nivel cepa de 0.73g/cm^3, basa de 0.72g/cm^3 y

sobrebasa de 0.80g/cm^3, la especie que presento la menor densidad básica es *Guadua lynnclarkiae* con nivel cepa de 0.63g/cm^3, basa de 0.62g/cm^3 y sobrebasa de 0.71g/cm^3; la especie *Guadua superba* presento una densidad básica promedio en sus tres niveles de 0.72g/cm^3. En la densidad verde se determinó que el mayor valor presento la especie *Guadua weberbaueri* con nivel cepa de 1.23 g/cm^3, basa y sobrebasa de 1.21 g/cm^3, la especie *Guadua lynnclarkiae* y *Guadua superba* presentaron una densidad promedio en sus tres niveles de 1.21 g/cm^3. En la densidad en equilibrio higroscópico de las tres especies de *Guadua*, la mayor densidad presento la especie *Guadua weberbaueri* con nivel cepa de 1.05 g/cm^3, basa de 1.09 g/cm^3 y sobrebasa de 1.05g/cm^3, la especie que presento la menor densidad es *Guadua lynnclarkiae* con 0.94 g/cm^3 en el nivel cepa, basa y sobrebasa de 1.05 g/cm^3; la especie *Guadua superba* presento una densidad promedio en sus tres niveles de 1.04 g/cm^3. La densidad anhidra de las tres especies de *Guadua*, en la cual se determinó que la especie *Guadua weberbaueri* presento mayor densidad con nivel cepa de 0.94 g/cm^3, basa de 0.97 g/cm^3 y sobrebasa de 1.00 g/cm^3, la especie que presento la menor densidad es *Guadua lynnclarkiae* con nivel cepa de 0.86 g/cm^3, basa de 0.85 g/cm^3 y sobrebasa de 0.99 g/cm^3; la especie *Guadua superba* presento una densidad promedio en sus tres niveles de 0.91 g/cm^3.

De acuerdo al análisis de varianza, de la densidad en el culmo de tres especies del género *Guadua* (tabla 32-33-34-35), en la densidad verde se pudo determinar que no existe una diferencia significativa entre las especies, niveles, pero si en la interacción significativa entre los factores especies y nivel del culmo. En el caso de densidad básica y en equilibrio higroscópico se pudo determinar que existe una diferencia significativa entre las especies, pero no en niveles del

culmo.

Mientras tanto en la densidad anhidra se determinó que existe una diferencia altamente significativa tanto en especie, niveles del culmo e interacción, por lo tanto, para resolver el caso de la interacción significativa se aplicó ANVA 1 por especie del genero *Guadua* cuyo resumen se muestra en la tabla 9.

Tabla 9.

Resumen de análisis de varianza de la densidad en las tres especies del género Guadua.

Prueba estadística ANVA				
Especie	**Basica**	**Equilibrio**	**Verde**	**Anhidra**
	P	**P**	**P**	**P**
Guadua lynnclarkiae	0.405^{ns}	0.041*	0.334^{ns}	0.000*
Guadua weberbaueri	0.611^{ns}	0.806^{ns}	0.055^{ns}	0.000*
Guadua superba	0.584^{ns}	0.995^{ns}	0.063^{ns}	0.000*

ns: no existe diferencias estadísticas significativas. *: Presenta diferencias estadísticas significativas.

Para determinar si existe diferencia significativa entre la densidad en equilibrio higroscópico de cada especie se realizó un análisis de varianza ($p<0.05$), el cual se puede observar en la tabla 9. Según el análisis ANVA1, se observa diferencia significativa en la especie *Guadua lynnclarkiae* con una probabilidad (P) de 0.041, mientras que en las *Guadua weberbaueri* y *Guadua superba* no existen diferencias significativas entre las densidades por niveles del culmo.

Tabla 10

Prueba de Tukey de los promedios de la densidad en equilibrio higroscópico del bambú de tres especies del género Guadua.

Densidad en equilibrio higroscópico (g cm^{-3})				
Especies	Nivel del culmo			Promedio
	Cepa	Basa	Sobrebasa	
Guadua lynnclarkiae	0,94 B	0,94 B	1,05 A	0,98 b
Guadua weberbaueri	1,05 A	1,09 A	1,05 A	1,06 a

Guadua superba	1,04 A	1,04 A	1,05 A	1,04 ab
Promedio	1,01	1,03	1,05	

Letras mayúsculas iguales en las líneas y minúsculas en las columnas no difieren estadísticamente según la prueba de Tukey a 5% de probabilidad.

La tabla 10 muestra el resumen de la prueba de Tukey de la densidad en equilibrio higroscópico del bambú proveniente de tres niveles longitudinales del culmo de tres especies del género *Guadua.*

De acuerdo a la prueba de promedio de Tukey, se pudo determinar que en la densidad en equilibrio higroscópico existe diferencia significativa en el factor especie, mostrando que las especies *Guadua weberbaueri* y *Guadua superba* no difieren, tampoco en las especies *Guadua lynnclarkiae* y *Guadua superba*, por lo contrario, se observa que si difieren en las especies *Guadua weberbaueri* y *Guadua lynnclarkiae.* En el factor nivel en la especie *Guadua lynnclarkiae* se observa diferencia significativa en los niveles longitudinales del culmo demostrando que el nivel sobrebasa difiere de los niveles basa y cepa con un promedio de 1.05 g cm^{-3}.

Para determinar si existe diferencia significativa entre las densidades básica y densidad verde de cada especie se realizó un análisis de varianza ($p<0.05$), el cual se puede observar en la tabla 9. Según el análisis ANVA1, se observa que no existe diferencia significativa entre los niveles longitudinales del culmo ni entre especies, en la densidad básica y densidad verde por que presentan probabilidades (P) mayores a 0.05.

Tabla 11

Prueba de Tukey de los promedios de la densidad básica y verde del bambú de tres especies del género Guadua.

Especies	Densidad básica	Densidad verde

	(g cm^{-3})	(g cm^{-3})
Guadua lynnclarkiae	0,65 a	1,21 a
Guadua weberbaueri	0,75 a	1,21 a
Guadua superba	0,72 a	1,20 a
Promedio	0,71	1,21

Letras iguales en las columnas no difieren estadísticamente según la prueba de Tukey a 5% de probabilidad.

La tabla 11 muestra el resumen de la prueba de Tukey de la densidad básica y saturada del bambú proveniente de tres niveles longitudinales del culmo de tres especies del género *Guadua* en la cual muestra que en la densidad básica y densidad verde no se observa ninguna diferencia estadística entre las especies del genero *Guadua*.

Para determinar si existe diferencia significativa entre la densidad anhidra de cada especie se realizó un análisis de varianza ($p<0.05$), el cual se puede observar en la tabla 9. Según el análisis ANVA1, mientras tanto en la densidad anhidra se observa una diferencia altamente significativa entre la densidad anhidra de los niveles del culmo en las tres especies con una probabilidad (P) de 0.000.

Tabla 12.

Prueba de Tukey de los promedios de la densidad anhidra del bambú de tres especies del género Guadua.

Densidad anhidra (g cm^{-3})				
Especies	Nivel del culmo			Promedio
	Cepa	Basa	Sobrebasa	
Guadua lynnclarkiae	0,86 B	0,85 B	0,99 A	0,90 c
Guadua weberbaueri	0,94 C	0,97 B	1,00 A	0,97 a
Guadua superba	0,91 B	0,91 B	0,93 A	0,92 b
Promedio	0,9	0,91	0,97	

Letras mayúsculas iguales en las líneas y minúsculas en las columnas no difieren estadísticamente según la prueba de Tukey a 5% de probabilidad.

De la tabla 12 se observa que en la densidad anhidra (densidad registrada

después del secado en horno) se observa que las tres especies de bambú *Guadua lynnclarkiae*, *Guadua weberbaueri* y *Guadua superba* difieren entre sí, siendo la de mayor densidad la especie *Guadua weberbaueri* con un promedio 1.00 g cm^{-3}, seguido de la especie *Guadua superba* con un promedio 0.92 g cm^{-3} y la de menor densidad la especie *Guadua lynnclarkiae* 0.90 g cm^{-3}. En el factor nivel se observa que en las especies *Guadua lynnclarkiae* y *Guadua superba* en el nivel sobrebasa difiere de los niveles cepa y basa, en la especie *Guadua weberbaueri* se observa que difieren en sus tres niveles.

Para efectos comparativos podemos inferir que los resultados de la densidad básica de las tres especies de *Guadua*, están dentro del rango de los resultados encontrados por (Botero, 2004) y (Moromi, 2015)

De este modo, la densidad básica determinada indica que las tres especies de bambú poseen alta densidad según la clasificación de densidad básica para maderas de Aróstegui (1982).

De acuerdo, a la densidad determinada se podría inferir que estas especies se encuentran dentro del grupo de clasificación A, que comprende las maderas de mayor resistencia, cuyas densidades están por lo general en el rango de 0.90 a 0.71 g/cm^3 (Norma E010 madera, 2006).

Resultados inferiores de 0,54 g/cm^3 fueron determinados por Sánchez et al. (2019) analizando las propiedades físicas de *Guadua angustifolia* en diferentes municipios de Colombia. De la misma manera, resultados inferiores de 0,61 g/cm^3 densidad básica fueron determinados por Zaragoza-Hernández et al. (2015) analizando las propiedades físicas y mecánicas en la *Guadua aculeata* en México.

4.1.3. DETERMINACIÓN DE LA CONTRACCIÓN DEL BAMBÚ DE TRES ESPECIES DE *Guadua*.

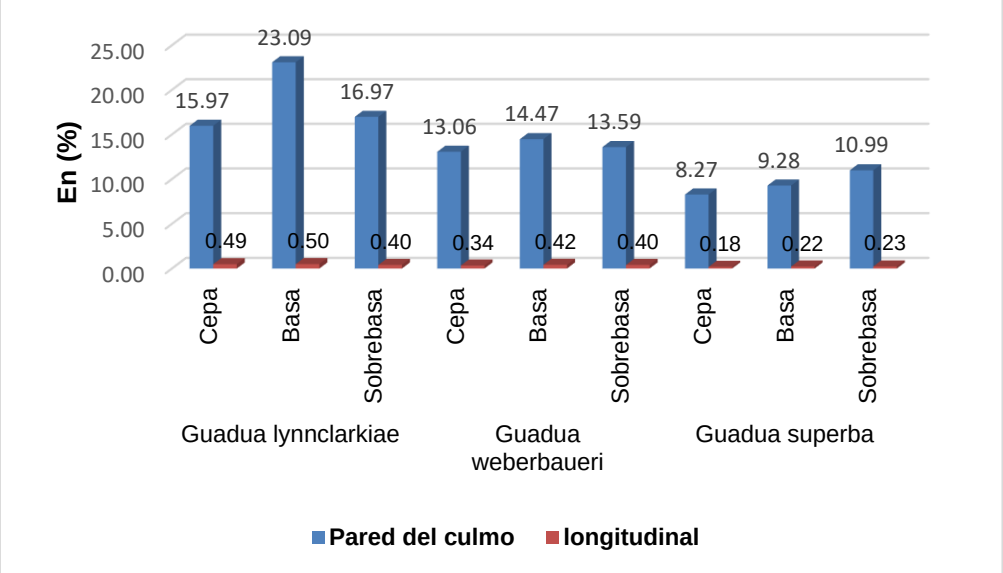
Tabla 13.

Contracción del culmo de las tres especies del género Guadua.

ESPECIE	Nivel del culmo	Contracción (%)	
		Pared de culmo	Longitud
Guadua lynnclarkiae	Cepa	15.97	0.49
	Basa	23.09	0.50
	Sobrebasa	16.97	0.40
Promedio		**18.68**	**0.46**
Guadua weberbaueri	Cepa	13.06	0.34
	Basa	14.47	0.42
	Sobrebasa	13.59	0.40
Promedio		**13.71**	**0.39**
Guadua superba	Cepa	8.27	0.18
	Basa	9.28	0.22
	Sobrebasa	10.99	0.23
Promedio		**9.51**	**0.21**

Figura 4

Contracción del bambú en los diferentes niveles del culmo en las tres especies del género Guadua.



En la tabla 13 y en la figura 4 muestra la contracción de la pared del culmo y la contracción longitudinal de las tres especies del género *Guadua*, con respecto a

la contracción de la pared se determinó que la mayor contracción presento la especie *Guadua lynnclarkiae* con nivel cepa de 15.97%, basa de 23.09% y sobrebasa de 16.97%, la especie que presento la menor contracción es *Guadua superba* con nivel cepa de 8.27%, basa de 9.28% y sobrebasa de 10.99%; la especie *Guadua weberbaueri* presento una contracción promedio en sus tres niveles de 13.71%. En la contracción longitudinal se determinó que la mayor contracción presento la especie *Guadua lynnclarkiae* con nivel cepa de 0.49%, basa de 0.50% y sobrebasa de 0.40%, la especie que presento la menor contracción es *Guadua superba* con nivel cepa de 0.18%, basa de 0.22% y sobrebasa de 0.23%; la especie *Guadua weberbaueri* presento una contracción longitudinal promedio en sus tres niveles de 0.39%.

De acuerdo al análisis de varianza, de la contracción del culmo de tres especies del género *Guadua* (tabla 36-37), se pudo determinar que en contracción de la pared existe diferencias altamente significativas entre las especies, niveles y una interacción significativa entre los factores especies y nivel del culmo, por lo tanto, para resolver el caso de la interacción significativa se aplicó ANVA por especie del genero *Guadua*, con respecto a la contracción longitudinal a se determinó que solo existe diferencias altamente significativa entre las especies, cuyo resumen se muestra en la tabla 14.

Tabla 14.

Resumen de análisis de varianza de la contracción de la pared, longitudinal del culmo de tres especies del género Guadua.

Prueba estadística ANVA		
Especie	**Pared del culmo**	**Longitudinal**
	P	**P**
Guadua lynnclarkiae	0.000*	0.487^{ns}
Guadua weberbaueri	0.000*	0.455^{ns}

Guadua superba	0.000*	0.853^{ns}

ns: no existe diferencias estadísticas significativas. *: Presenta diferencias estadísticas significativas.

Para determinar si existe diferencia significativa entre la contracción de la pared y la contracción longitudinal de cada especie se realizó un análisis de varianza ($p<0.05$), el cual se puede observar en la tabla 14. Según el análisis ANVA 1 se observa que existe diferencia altamente significativa entre niveles en la contracción de la pared del culmo dentro de las tres especies de *Guadua* con una probabilidad (P) menor a 0.05. Caso contrario ocurre con la contracción longitudinal ya que todas las especies de *Guaduas* no presentan diferencias estadísticas significativas en los niveles.

Tabla 15

Prueba de Tukey de los promedios de la contracción de la pared del culmo de tres especies del género Guadua.

CPC (%)				
Especies	Nivel del culmo			Promedio
	Cepa	Basa	Sobrebasa	
Guadua lynnclarkiae	15,97 C	23 A	16,97 B	18,65 a
Guadua weberbaueri	13,06 C	14,47 A	13,59 B	13,71 b
Guadua superba	8,27 C	9,28 B	10,98 A	9,51 c
Promedio	12,43	15,58	13.85	

Letras mayúsculas iguales en las líneas y minúsculas en las columnas no difieren estadísticamente según la prueba de Tukey a 5% de probabilidad.

En cuanto a la propiedad física de contracción de la pared de culmo (CPC) en la Tabla 15 se muestra el resumen de la prueba Tukey donde se aprecia que difieren entre especies, niveles e interacción de la mismas. Se debe agregar que, las tres especies de bambú en cada uno de los niveles del culmo presentaron resultados diferentes, siendo *Guadua lynnclarkiae* la que presentó los resultados más altos seguida de *Guadua weberbaueri* y *Guadua superba*. Ahora bien, los menores valores de CPC fueron determinado en *Guadua superba* en el nivel

cepa con un valor de 8.27% en media.

Con respecto a los valores encontrados por (Estacio Castañeda, 2013) a la contracción se registró valores en el espesor de pared 12.36% y longitudinal 0.26% son mayores a los valores de la especie *Guadua angustifolia* Kunth; hay que señalar que todas estas son especies diferentes.

Resultados inferiores de 15,5% y similares de 10% a los determinados en este estudio fueron reportados por Zaragoza-Hernández et al. (2015) estudiando la *Guadua aculeata* en México, además los autores concluyeron que para esta especie las tres secciones del culmo estadísticamente presentaron mismos resultados.

En este estudio se puede afirmar que *Guadua lynnclarkiae* presentó la mayor contracción de la pared del culmo debido a que en su estructura anatómica presentó el mayor contenido de humedad en verde. Entre tanto, *Guadua superba* y *Guadua weberbaueri* presentaron menor contenido de humedad y por tanto tuvo menor contracción de la pared. En relación a la contracción longitudinal (CL) las especies *Guadua lynnclarkiae* y *Guadua weberbaueri* presentaron resultados similares con media de 0,42%, no obstante, fueron estadísticamente superior a *Guadua superba* que en media presentó 0,21%. Resultados inferiores de 0,18% en media fueron determinados por Suirezs et al. (2019) analizando las propiedades físicas de *Guadua chacoensis* en Argentina.

4.2. DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CULMO DE TRES ESPECIES DEL GÉNERO *GUADUA* NATIVA DE LA AMAZONIA PERUANA.

Tabla 16.

Resumen de datos de las propiedades mecánicas del culmo de las tres especies del género Guadua.

Propiedades Mecánicas		*Guadua lynnclarkiae*		*Guadua weberbaueri*		*Guadua superba*	
		$\overline{X}$	CV (%)	$\overline{X}$	CV (%)	$\overline{X}$	CV (%)
Flexión	Módulo de ruptura (kgf/cm^2)	214.24	8.13	180.49	11.29	726.04	8.63
	Esfuerzo al límite proporcional (kgf/cm^2)	160.71	10.70	142.25	12.73	573.28	9.17
	Módulo de elasticidad (kgf/cm^2)	7885.57	6.28	6768.67	6.37	60479.98	9.23
Compresión paralela a las fibras	Esfuerzo último a la compresión paralela. (kgf/cm^2)	371.48	21.89	441.33	18.19	395.65	17.55
	Módulo de elasticidad (kgf/cm^2)	114381	29.05	133719	39.31	102305	27.62
Compresión perpendicular a las fibras	Esfuerzo ultimo de compresión perpendicular(kgf/cm^2)	112.37	56.14	252.99	29.32	146.84	28.00
Cizallamiento	Máxima resistencia al corte con nudo (kgf/cm^2)	53.54	23.91	91.88	16.66	62.41	13.66
	Máxima resistencia al corte sin nudo (kgf/cm^2)	52.82	25.58	100.44	13.41	58.02	19.95

La tabla 16 muestra los valores promedios de algunas propiedades mecánica del culmo de las tres especies del género *Guadua*, en los ensayos de flexión estática la especie que presentó mayores valores es la *Guadua superba* quien obtuvo en módulo de ruptura, esfuerzo al límite proporcional y módulo de elasticidad (726.04 kgf/cm^2; 573.28 kgf/cm^2; 60479.98 kgf/cm^2) respectivamente, seguido de la especie *Guadua lynnclarkiae* quien obtuvo (214.24 kgf/cm^2; 160.71 kgf/cm^2, 7885.57 kgf/cm^2) respectivamente y el de menor valor fue la especie de *Guadua weberbaueri* (180.5 kgf/cm^2, 142.25 kgf/cm^2, 6768.67 kgf/cm^2) respectivamente. En los ensayos de compresión paralela a la fibra la especie que presentó mayores valores es la *Guadua weberbaueri* quien obtuvo en Esfuerzo último a la compresión paralela y módulo de elasticidad (441.33 kgf/cm^2, 133719.5 kgf/cm^2)

respectivamente, seguido la especie *Guadua superba* con (395.65 kgf/cm^2 y 102305 kgf/cm^2) y la especie *Guadua lynnclarkiae* con (371.48 kgf/cm^2, 114381 kgf/cm^2) respectivamente. En el ensayo de esfuerzo ultimo de compresión perpendicular la especie *Guadua weberbaueri* obtuvo un mayor valor con (252.99 kgf/cm^2), seguido de la especie *Guadua superba* que presento (146.84 kgf/cm^2) y el menor valor lo obtuvo la especie *Guadua lynnclarkiae* con (112.37 kgf/cm^2). En el ensayo de cizallamiento la especie que presentó mayores valores es la *Guadua weberbaueri* quien obtuvo en Máxima resistencia al corte con nudo y Máxima resistencia al corte sin nudo (91.88 kgf/cm^2; 100.44 kgf/cm^2) respectivamente, seguido de la especie *Guadua superba* quien obtuvo (62.41 kgf/cm^2, 58.02 kgf/cm^2) respectivamente y el de menor valor es la especie de *Guadua lynnclarkiae* (53.54 kgf/cm^2, 52.82 kgf/cm^2).

4.2.1. Determinación de la flexión estática del bambú de tres especies del género *Guadua.*

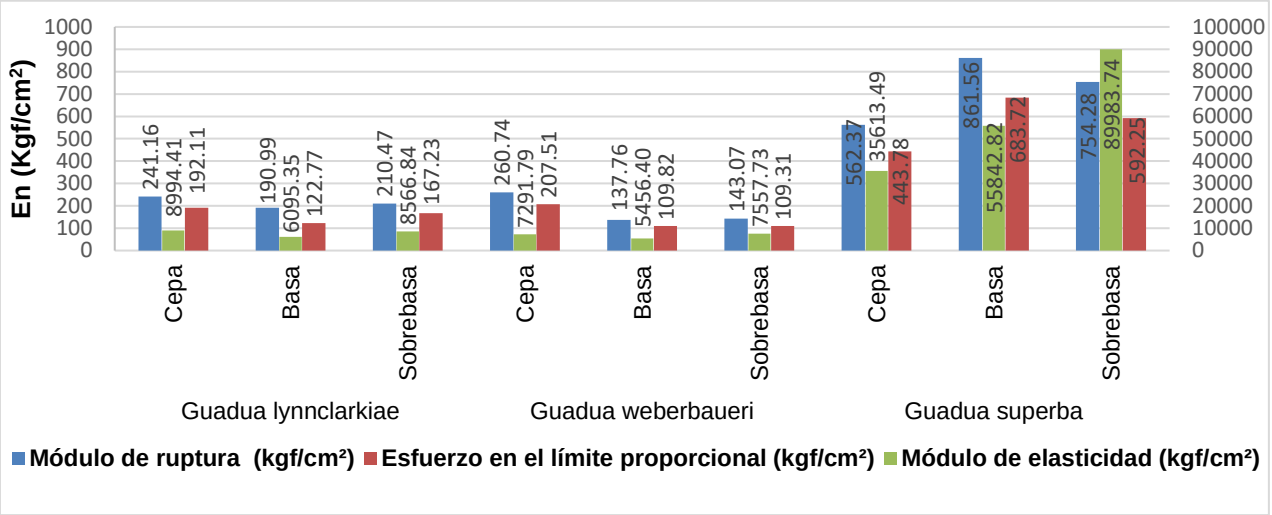
Tabla 17.

Flexión estática del culmo de tres especies del género Guadua.

ESPECIE	Nivel del culmo	Flexión estática		
		Módulo de ruptura (kgf/cm^2)	Esfuerzo en el límite proporcional (kgf/cm^2)	Módulo de elasticidad (kgf/cm^2)
Guadua lynnclarkiae	Cepa	241.16	192.11	8994.41
	Basa	190.99	122.77	6095.35
	Sobrebasa	210.47	167.23	8566.84
Promedio		**214.24**	**160.71**	**7885.57**
Guadua weberbaueri	Cepa	260.74	207.51	7291.79
	Basa	137.76	109.82	5456.40
	Sobrebasa	143.07	109.31	7557.73
Promedio		**180.49**	**142.25**	**6768.67**
Guadua superba	Cepa	562.37	443.78	35613.49
	Basa	861.56	683.72	55842.82
	Sobrebasa	754.28	592.25	89983.74
Promedio		**726.04**	**573.28**	**60479.98**

Figura 5.

Flexión estática en los diferentes niveles del culmo en las tres especies del género Guadua.



En la tabla 17 y en la figura 5 muestra al módulo de ruptura de las tres especies del género *Guadua*, la cual se determinó que el promedio más alto lo presento la especie *Guadua superba* con nivel cepa de 562.37 kgf/cm^2, basa de 861.56 kgf/cm^2 y sobrebasa de 754.28 kgf/cm^2, la especie que presento el menor módulo de ruptura es *Guadua weberbaueri* con nivel cepa de 260.74 kgf/cm^2, basa de 137.76 kgf/cm^2 y sobrebasa de 143.07 kgf/cm^2; la especie *Guadua lynnclarkiae* presento un módulo de ruptura promedio en sus tres niveles de 214.24 kgf/cm^2. El esfuerzo en el límite proporcional de las tres especies de *Guadua*, se determinó que el promedio más alto lo presento la especie *Guadua superba* con nivel cepa de 443.78 kgf/cm^2, basa de 683.72 kgf/cm^{2}y sobrebasa de 592.25 kgf/cm^2, la especie que presento el menor esfuerzo en el límite proporcional es *Guadua weberbaueri* con nivel cepa de 207.51 kgf/cm^2, basa de 109.82 kgf/cm^2 y sobrebasa de 109.31 kgf/cm^2; la especie *Guadua lynnclarkiae* presento un esfuerzo en el límite proporcional promedio en sus tres niveles de 160.71 kgf/cm^2. El módulo de elasticidad de las tres especies de *Guadua*, la cual

determinó que el promedio más alto lo presento la especie *Guadua superba* con nivel cepa de 35613.49 kgf/cm^2, basa de 55842.82 kgf/cm^2 y sobrebasa de 89983.74 kgf/cm^2, la especie que presento el menor módulo de elasticidad es *Guadua weberbaueri* con nivel cepa de 7291.79 kgf/cm^2, basa de 5456.40 kgf/cm^2 y sobrebasa de 7557.73 kgf/cm^2; la especie *Guadua lynnclarkiae* presento un módulo de elasticidad promedio en sus tres niveles de 7885.57 kgf/cm^2.

De acuerdo al análisis (tabla 38-39-40), de varianza del módulo de elasticidad del culmo se determinó que solo existe diferencia altamente significativa entre las especies. Mientras que en el módulo de ruptura y esfuerzo en el límite proporcional de tres especies del género *Guadua*, se pudo determinar que existe diferencias significativas entre las especies y una interacción significativa entre los factores especies y nivel del culmo, por lo tanto, para resolver el caso de la interacción significativa se aplicó ANVA por especie del genero *Guadua* cuyo resumen se muestra en la tabla 18.

Tabla 18.

Resumen de análisis de varianza de la flexión estática en las tres especies del género Guadua.

Prueba estadística ANVA			
Especie	**Módulo de ruptura**	**Esfuerzo en el límite proporcional**	**Módulo de elasticidad**
	P	**P**	**P**
Guadua lynnclarkiae	0.574^{ns}	0.148^{ns}	0.621^{ns}
Guadua weberbaueri	0.000*	0.000*	0.733^{ns}
Guadua superba	0.379^{ns}	0.380^{ns}	0.181^{ns}

ns: no existe diferencias estadísticas significativas. *: Presenta diferencias estadísticas significativas.

Para determinar si existe diferencia significativa entre los ensayos de flexión

estática de cada especie se realizó un análisis de varianza ($p<0.05$), el cual se puede observar en la tabla 18. Según el análisis ANVA 1 se observa que existe diferencia significativa entre niveles en el módulo de ruptura y esfuerzo al límite proporcional de la especie *Guadua weberbaueri* presentando una probabilidad (P) menor a 0.05. En cuanto al módulo de elasticidad de las tres especies del genero *Guadua* no difiere entre los niveles.

Tabla 19.

Prueba de Tukey de los promedios de módulo de ruptura del culmo de tres especies del genero Guadua.

Módulo de ruptura (kgf/cm^2)				
Especies	Nivel del culmo			Promedio
	Cepa	Basa	Sobrebasa	
Guadua lynnclarkiae	241.2 A	191 A	210.5 A	214.2 b
Guadua weberbaueri	260.7 A	137.8 B	143.1 B	180.5 b
Guadua superba	562.4 A	861.6 A	754.3 A	726.0 a
Promedio	354.76	396.77	369.27	

Letras mayúsculas iguales en las líneas y minúsculas en las columnas no difieren estadísticamente según la prueba de Tukey a 5% de probabilidad.

La tabla 19 muestra el resumen de la prueba de Tukey de la densidad básica del bambú proveniente de tres niveles longitudinales del culmo de la especie *Guadua weberbaueri*.

De acuerdo a la prueba de promedio de Tukey, se pudo determinar que la especie *Guadua weberbaueri*, no difiere en los niveles sobrebasa y basa, pero si en el nivel cepa. En la interacción de los factores se aprecia que no difiere en los niveles basa y sobrebasa, pero si en el nivel cepa de las tres especies.

Tabla 20

Prueba de Tukey de los promedios de esfuerzo en el límite proporcional del bambú de tres especies de Guadua.

Esfuerzo al límite proporcional (kgf/cm^2)

Especies	Nivel del culmo			Promedio
	Cepa	Basa	Sobrebasa	
Guadua lynnclarkiae	192.11 A	122.77 A	167.23 A	160.71 b
Guadua weberbaueri	207.51 A	109.82 B	109.31 B	142.25 b
Guadua superba	443.78 A	683.73 A	592.25 A	573.28 a
Promedio	281.14	305.44	289.60	

Letras mayúsculas iguales en las líneas y minúsculas en las columnas no difieren estadísticamente según la prueba de Tukey a 5% de probabilidad.

La tabla 20 muestra el resumen de la prueba de Tukey del esfuerzo en el límite proporcional del bambú proveniente de tres niveles longitudinales del culmo de la especie *Guadua weberbaueri* del género *Guadua*.

De acuerdo a la prueba de promedio de Tukey, se pudo determinar que la especie *Guadua weberbaueri*, no difiere en los niveles sobrebasa y basa, pero si en el nivel cepa. En la interacción de los factores se aprecia que no difiere en los niveles basa y sobrebasa, pero si en el nivel cepa de las tres especies.

Entre tanto, Molina (2020), determinó que, en los tres niveles del culmo de *Guadua angustifolia* el módulo de ruptura fue estadísticamente similar con media de 247.59 kgf/cm^2. Este valor es similar a los obtenidos en este estudio para *Guadua lynnclarkiae* (cepa, sobrebasa) y *Guadua weberbaueri* (basa), de la misma manera en el módulo de elasticidad reportó valores de 15066.31 kgf/cm^2, no obstante, fueron menores inferiores a los determinados en *Guadua superba*.

Resultados similares en el módulo de elasticidad a los determinados en *Guadua lynnclarkiae* y *Guadua weberbaueri* fueron reportados por Huarcaya (2010) en *Guadua angustifolia* que en media determinó 7138.01 kgf/cm^2,

Para efectos comparativos podemos inferir, relacionando a las tres especies con respecto a lo reportado por Gonzalez, et al. (2002), para el caso de *Guadua sarcocarpa* Londoño, que la especie *Guadua superba* (Huber) tiene mayor

cercanía a dichos valores con promedio de módulo de ruptura de 548.61 kgf/cm^2, esfuerzo al límite proporcional de 347.72 kgf/cm^2 y módulo de elasticidad 109109.94 kgf/cm^2.

Hay que señalar que existe una relación inversa entre el diámetro de probeta de las especies estudiadas con respecto a los valores módulo de ruptura, esfuerzo al límite proporcional y módulo de elasticidad; esto es a menor diámetro mayores valores como es el caso de *Guadua superba* (Huber), que tiene los valores más altos.

4.2.2. DETERMINACIÓN DE LA COMPRESIÓN PARALELA A LA FIBRA DEL BAMBÚ DE TRES ESPECIES DEL GÉNERO *Guadua*.

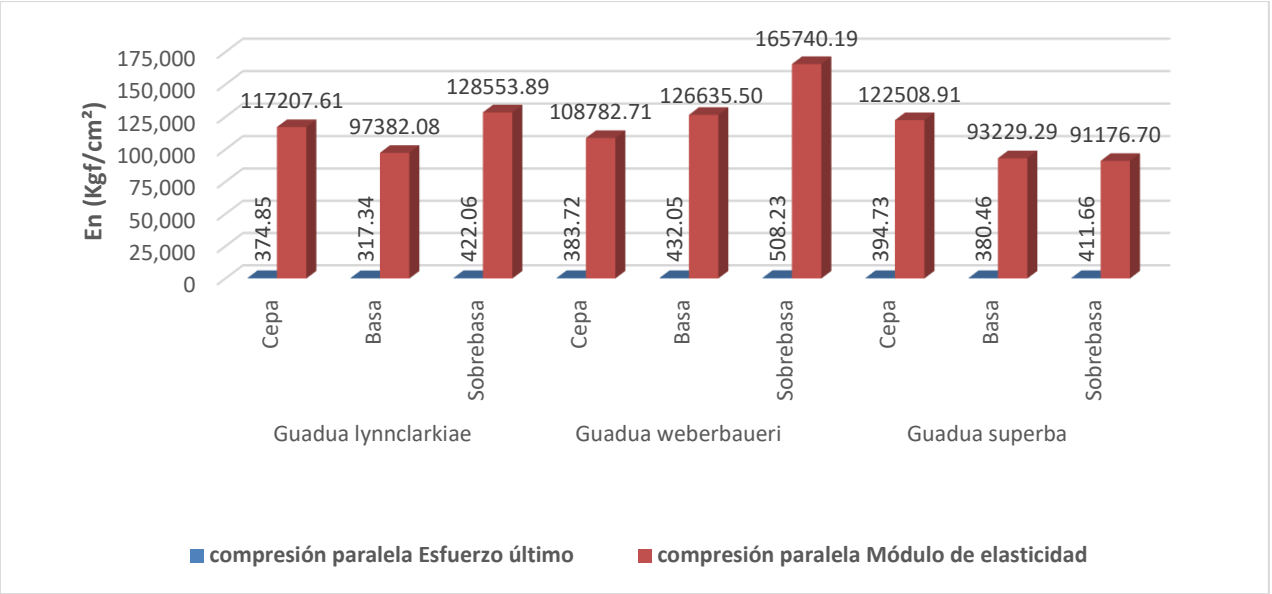
Tabla 21

Compresión paralela a la fibra del culmo de tres especies del género Guadua.

ESPECIE	Nivel del culmo	Compresión paralela (kgf/cm^2)	
		Esfuerzo último	Módulo de elasticidad
Guadua lynnclarkiae	Cepa	374.85	117207.61
	Basa	317.34	97382.08
	Sobrebasa	422.06	128553.89
Promedio		**371.38**	**114381.16**
Guadua weberbaueri	Cepa	383.72	108782.71
	Basa	432.05	126635.50
	Sobrebasa	508.23	165740.19
Promedio		**441.33**	**133719.47**
Guadua superba	Cepa	394.73	122508.91
	Basa	380.46	93229.29
	Sobrebasa	411.66	91176.70
Promedio		**395.65**	**102304.97**

Figura 6.

Compresión paralela a la fibra del bambú en los diferentes niveles del culmo en las tres especies del género Guadua.



En la tabla 21 y figura 6 se muestra el esfuerzo último a la compresión paralela de las tres especies del género *Guadua*, la cual determinó que el promedio más alto lo presento la especie *Guadua weberbaueri* con nivel cepa de 383.72 kgf/cm^2, basa de 432.05 kgf/cm^2 y sobrebasa de 508.23 kgf/cm^2, la especie que presento el menor esfuerzo último a la compresión paralela es *Guadua lynnclarkiae* con nivel cepa de 374.85 kgf/cm^2, basa de 317.34 kgf/cm^2 y sobrebasa de 422.06 kgf/cm^2; la especie *Guadua superba* presento un esfuerzo último a la compresión paralela promedio en sus tres niveles de 395.7 kgf/cm^2. El módulo de elasticidad a la compresión paralela de las tres especies de *Guadua*, la cual determinó que el promedio más alto lo presento la especie *Guadua weberbaueri* con nivel cepa de 108782.71 kgf/cm^2, basa de 126635.50 kgf/cm^2 y sobrebasa de 165740.19 kgf/cm^2, la especie que presento el menor módulo de elasticidad a la compresión paralela es *Guadua superba* con nivel cepa de 122508.91 kgf/cm^2, basa de 93229.29 kgf/cm^2 y sobrebasa de 91176.70 kgf/cm^2; la especie *Guadua lynnclarkiae* presento un módulo de elasticidad a la compresión paralela promedio en sus tres niveles de 114381.16 kgf/cm^2.

De acuerdo al análisis de varianza del esfuerzo último a la compresión paralela

del bambú y módulo de elasticidad en el culmo de tres especies del género *Guadua* (Tabla 41-42), se pudo determinar que no existe diferencias significativas entre las especies, niveles e interacción de las mismas, por lo tanto, se aplicó ANVA1 por especie del genero *Guadua* cuyo resumen se muestra en la tabla 22.

Tabla 22.

Resumen de análisis de varianza de la Compresión paralela a la fibra en las tres especies del género Guadua.

Especie	Esfuerzo último a la compresión paralela	Módulo de elasticidad
	P	P
Guadua lynnclarkiae	0.326^{ns}	0.574^{ns}
Guadua weberbaueri	0.158^{ns}	0.456^{ns}
Guadua superba	0.890^{ns}	0.360^{ns}

ns: no existe diferencias estadísticas significativas. *: Presenta diferencias estadísticas significativas.

Para determinar si existe diferencia significativa entre los ensayos de Compresión paralela a la fibra de cada especie se realizó un análisis de varianza ($p<0.05$), el cual se puede observar en la tabla 22. Según el análisis ANVA 1 del esfuerzo último a la compresión paralela y módulo de elasticidad en las tres especies del género *Guadua*, se pudo determinar que no existe diferencia significativa en los niveles de las tres especies del genero *Guadua*.

Tabla 23

Prueba de Tukey de los promedios de compresión paralela (Esfuerzo ultimo-módulo de elasticidad) en las tres especies del género Guadua.

Especies	Esfuerzo último a la compresión paralela		Módulo de elasticidad	
Guadua lynnclarkiae	371.38	a	114381.16	a
Guadua weberbaueri	441.33	a	133719.47	a
Guadua superba	395.65	a	102304.97	a
Promedio	402.79		116801.86	

Letras mayúsculas iguales en las líneas y minúsculas en las columnas no difieren estadísticamente según la prueba de Tukey a 5% de probabilidad.

Al verificar los resultados de la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$) fue constatado que para el Modulo de elasticidad y esfuerzo último a la compresión paralela kgf/cm^2 todas las especies de bambú presentaron en media 116 801.86 kgf/cm^2 y 402.79 kgf/cm^2, respectivamente.

Los valores obtenidos en este estudio se encuentran próximos al rango de los valores 102 175 kgf/cm^2 a 14 072 kgf/cm^2 de módulo de elasticidad reportados por Molina (2020) estudiando las propiedades mecánicas de *Guadua angustifolia* en probetas sin nudo.

Comparando los resultados obtenidos con Ardila, (2013) en el nivel cepa 406.87 kgf/cm^2, basa 509.96 kgf/cm^2 y sobrebasa 487.93 kgf/cm^2 con respecto al esfuerzo último podemos comprobar la tendencia normal en resistencia que tiene el bambú, en la que la parte del ápice (sobrebasa) por tener mayor contenido en fibras y menor contenido en parénquima posee valores más alto en resistencia que el nivel cepa esta depende principalmente del contenido de fibra y de parénquima.

Considerando la misma referencia Ardila, (2013), en el módulo de elasticidad si bien es cierto estos resultados son menores que los presentados por él (son especies distintas); tienen la misma tendencia de presentar mayor resistencia en la parte superior del culmo.

De acuerdo con Otiz Berrocal (1998) los resultados de MoE para la madera varían entre 112 168.78 kgf/cm^2 y 142 760.27 kgf/cm^2, esto es un indicador de que estas especies se pueden utilizar para edificaciones pequeñas pues los

valores determinados se encuentran dentro de lo indicado por los autores, por el contrario, para el concreto el MoE varía desde 254 929.05 a 305 914.86 kgf/cm^2 y para el acero de 20 394 324.26 kgf/cm^2. Ahora bien, para ser usado eficientemente el bambú en edificaciones complejas se recomienda aumentar su rigidez y resistencia por medio de la mezcla con fibras sintéticas, este método es eficaz dado que su densidad no se verá afectada (Speranzini & Agnetti, 2012).

4.2.3. DETERMINACIÓN DE LA COMPRESIÓN PERPENDICULAR A LA FIBRA DEL BAMBÚ DE TRES ESPECIES DEL GÉNERO *Guadua*s.

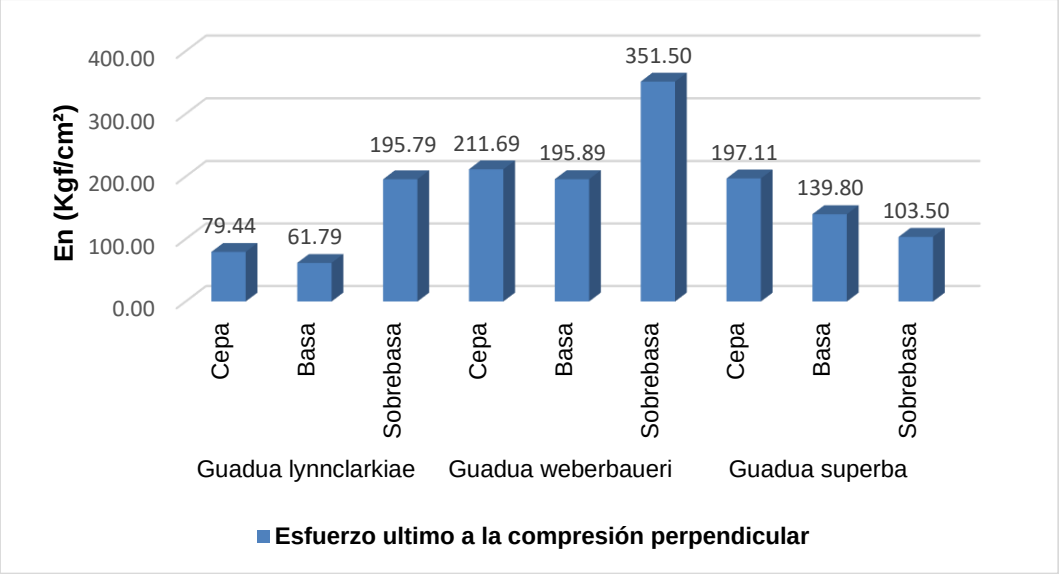
Tabla 24.

Esfuerzo último a la compresión perpendicular del bambú de tres especies del género Guadua.

ESPECIE	Nivel del culmo	Esfuerzo último a la compresión perpendicular (kgf/cm^2)
Guadua lynnclarkiae	Cepa	79.44
	Basa	61.79
	Sobrebasa	195.79
Promedio		**112.37**
Guadua weberbaueri	Cepa	211.69
	Basa	195.89
	Sobrebasa	351.50
Promedio		**252.99**
Guadua superba	Cepa	197.11
	Basa	139.80
	Sobrebasa	103.50
Promedio		**146.84**

Figura 7.

Compresión perpendicular en los diferentes niveles del culmo en las tres especies del género Guadua.



En la tabla 24 y figura 7 se muestra el esfuerzo último a la compresión perpendicular de las tres especies del género *Guadua*, la cual determinó que el promedio más alto lo presento la especie *Guadua weberbaueri* con nivel cepa de 211.69 kgf/cm^2, basa de 195.89 kgf/cm^2 y sobrebasa de 351.50 kgf/cm^2, la especie que presento el menor esfuerzo último a la compresión perpendicular es *Guadua lynnclarkiae* con nivel cepa de 79.44 kgf/cm^2, basa de 61.79 kgf/cm^2 y sobrebasa de 195.79 kgf/cm^2; la especie *Guadua superba* presento un esfuerzo último a la compresión perpendicular promedio en sus tres niveles de 146.84 kgf/cm^2.

De acuerdo al análisis de varianza, del esfuerzo último a la compresión perpendicular del bambú en el culmo de tres especies del género *Guadua* (Tabla 43), se pudo determinar que existe diferencias altamente significativas entre las especies, niveles y una interacción significativa entre los factores especies y nivel del culmo, por lo tanto, para resolver el caso de la interacción significativa se aplicó ANVA 1 por especie del genero *Guadua* cuyo resumen se muestra en la tabla 25.

Tabla 25.

Resumen de análisis de varianza del esfuerzo último a la compresión perpendicular en las tres especies del género Guadua.

Especie	Prueba estadística	P
Guadua lynnclarkiae	ANVA	0.000*
Guadua weberbaueri	ANVA	0.000*
Guadua superba	ANVA	0.000*

ns: no existe diferencias estadísticas significativas. *: Presenta diferencias estadísticas significativas.

Para determinar si existe diferencia significativa entre los ensayos de compresión perpendicular de cada especie se realizó un análisis de varianza ($p<0.05$), el cual se puede observar en la tabla 25. Según el análisis ANVA 1 del esfuerzo último a la compresión perpendicular en las tres especies del género *Guadua*, se pudo determinar que las tres especies (*Guadua lynnclarkiae, Guadua weberbaueri* y *Guadua superba*), presentaron una probabilidad (P) menor a 0.05, lo cual indica que el esfuerzo último en los niveles longitudinales del culmo no son similares.

Tabla 26.

Prueba de Tukey de los promedios del esfuerzo último a la compresión perpendicular del bambú de tres especies del género Guadua.

Esfuerzo ultimo a la compresión perpendicular (kgf/cm^2)							
Especies	Nivel del culmo						Promedio
	cepa		basa		Sobrebasa		
Guadua lynnclarkiae	79.44	B	61.79	C	195.79	A	112.37 c
Guadua weberbaueri	211.69	B	195.89	C	351.50	A	252.99 a
Guadua superba	197.11	A	139.80	B	103.50	C	146.84 b
Promedio	162.75		132.50		216.93		

Letras minúsculas iguales en las columnas no difieren estadísticamente según la prueba de Tukey a 5% de probabilidad.

De la tabla 26 se aprecia que el esfuerzo último a la compresión perpendicular difiere tanto en especie, niveles e interacción, teniendo el máximo valor en el nivel sobrebasa como un promedio de 216.93 kgf/cm^2.

Resultados similares a los determinados en *Guadua lynnclarkiae* en el nivel cepa

y basa fueron determinados 79.44 kgf/cm^2 por Sánchez et al., (2019) estudiando las propiedades de *Guadua angustifolia* en Colombia. Entre tanto los valores de *Guadua weberbaueri* y *Guadua superba* superaron a los determinados por el autor. Estos resultados probablemente se deben a las características anatómicas gobernadas por el factor genético de cada especie. Al respecto, Luis et al. (2018) refieren que las características químicas, físicas y mecánicas del bambú están definidas por su constitución estructural y las propiedades del culmo están determinadas principalmente por la estructura anatómica de cada especie.

4.2.4. DETERMINACIÓN DEL CIZALLAMIENTO PARALELA A LA FIBRA DEL BAMBÚ DE TRES ESPECIES DEL GÉNERO *Guadua*s.

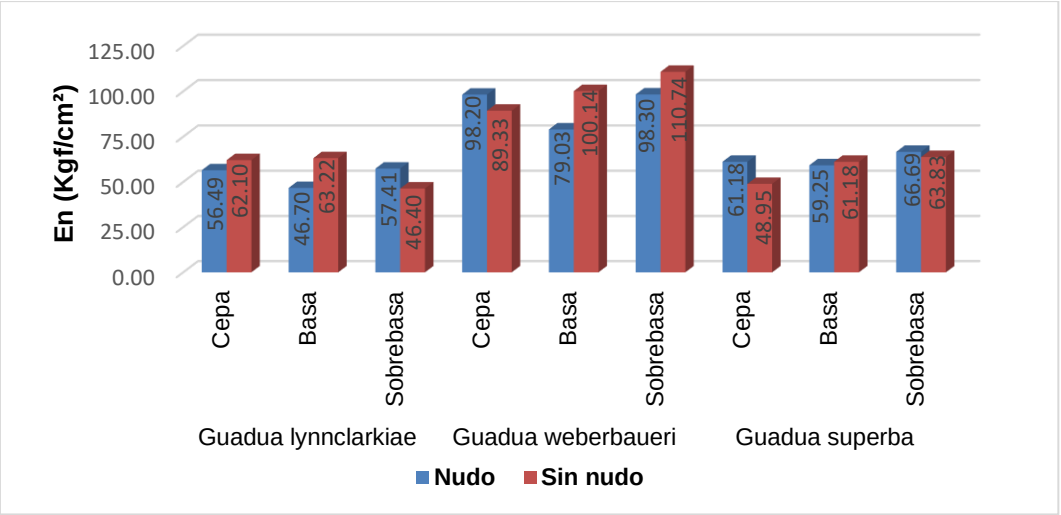
Tabla 27.

Resistencia última al corte del bambú de tres especies del género Guadua.

ESPECIE	Nivel del culmo	Resistencia última al corte (kgf/cm^2)	
		Nudo	Sin nudo
Guadua lynnclarkiae	Cepa	56.49	62.10
	Basa	46.70	63.22
	Sobrebasa	57.41	46.40
Promedio		**53.54**	**57.21**
Guadua weberbaueri	Cepa	98.20	89.33
	Basa	79.03	100.14
	Sobrebasa	98.30	110.74
Promedio		**91.88**	**100.03**
Guadua superba	Cepa	61.18	48.95
	Basa	59.25	61.18
	Sobrebasa	66.69	63.83
Promedio		**62.41**	**58.02**

Figura 8.

Resistencia última al corte en los diferentes niveles del culmo en las tres especies del género Guadua.



En la tabla 27 y figura 8 se muestra la resistencia última al corte con nudo de las tres especies del género *Guadua*, la cual determinó que el promedio más alto lo presento la especie *Guadua weberbaueri* con nivel cepa de 98.20 kgf/cm^2, basa de 79.03 kgf/cm^2 y sobrebasa de 98.30 kgf/cm^2, la especie que presento la menor resistencia última al corte con nudo es *Guadua lynnclarkiae* con nivel cepa de 56.49 kgf/cm^2, basa de 46.70 kgf/cm^2 y sobrebasa de 57.41 kgf/cm^2; la especie *Guadua superba* presento una resistencia última al corte con nudo promedio en sus tres niveles de 62.41 kgf/cm^2. La resistencia última al corte sin nudo de las tres especies del género *Guadua*, determinó que el promedio más alto lo presento la especie *Guadua weberbaueri* con nivel cepa de 89.33 kgf/cm^2, basa de 100.14 kgf/cm^2 y sobrebasa de 110.74 kgf/cm^2, la especie que presento la menor resistencia última al corte sin nudo es *Guadua lynnclarkiae* con nivel cepa de 62.10 kgf/cm^2, basa de 63.22 kgf/cm^2 y sobrebasa de 46.40 kgf/cm^2; la especie *Guadua superba* presento una resistencia última al corte sin nudo promedio en sus tres niveles de 58.02 kgf/cm^2.

De acuerdo al análisis de varianza, de la resistencia última al corte con nudo y sin nudo del bambú en el culmo de tres especies del género *Guadua* (Tabla 44-45), se pudo determinar que solo existe diferencias altamente significativas entre

las especies, por lo tanto, se aplicó ANVA1 por especie del genero *Guadua* cuyo resumen se muestra en la tabla 28.

Tabla 28.

Resumen de análisis de varianza de la resistencia última al corte en las tres especies del género Guadua.

Prueba estadística ANVA		
Especie	**resistencia última al corte con nudo**	**resistencia última al corte sin nudo**
	P	**P**
Guadua lynnclarkiae	0.590^{ns}	0.371^{ns}
Guadua weberbaueri	0.225^{ns}	0.187^{ns}
Guadua superba	0.601^{ns}	0.272^{ns}

ns: no existe diferencias estadísticas significativas. *: Presenta diferencias estadísticas significativas.

Para determinar si existe diferencia significativa entre la resistencia última al corte con nudo y sin nudo de cada especie se realizó un análisis de varianza ($p<0.05$), el cual se puede observar en la tabla 28. Donde se muestra que no existe diferencia significativa en la resistencia última al corte con nudo y sin nudo dentro de las tres especies de bambú.

Tabla 29.

Prueba de promedios de la resistencia última al corte en las tres especies del género Guadua.

Especies	Resistencia ultima al corte	
	(con nudo- kgf/cm^2)	(sin nudo- kgf/cm^2)
Guadua lynnclarkiae	53.54 b	57.21 b
Guadua weberbaueri	91.88 a	100.03 a
Guadua superba	62.41 b	58.02 b
Promedio	69.27	71.75

Letras minúsculas iguales en las columnas no difieren estadísticamente según la prueba de Tukey a 5% de probabilidad.

La tabla 29 muestra el resumen de la prueba de Tukey de la resistencia última

al corte en las tres especies del género *Guadua*. De acuerdo a la prueba de promedio de Tukey, se aprecia que la resistencia ultima con y sin nudo no difiere en las especies *Guadua lynnclarkiae* y *Guadua superba*, pero si en la especie *Guadua weberbaueri* quien obtuvo los promedios más altos.

Resultados similares de 63.32 kgf/cm^2 y 87.59 kgf/cm^2 fueron reportados por Medina (2019) trabajando en las propiedades mecánicas de *Guadua angustifolia* y *Guadua dendrocalamus* Asper utilizando probetas con nudo. En probetas sin nudo determinó 63.12 y 78.01 kgf/cm^2 en ambas especies, respectivamente.

Bustos (2013) indica que, el cizallamiento estudia la capacidad de un material a la resistencia a fuerzas que tienden a causar el deslizamiento de una sección adyacente en estructuras de construcción civil. En ese sentido, Spavento (2008), señala que, maderas que poseen valores < 40 Muy bajo; de 40 – 85 Bajo; de 86 – 120 Medio; de 121 – 175 Alto y > 175 Muy alto. De acuerdo a los resultados en esta investigación y haciendo una comparación con lo señalado por Spavento (2008), las especies *Guadua lynnclarkiae* y *Guadua superba* se clasifican en el nivel bajo y *Guadua weberbaueri* en nivel medio.

Por otro lado, en este estudio fue observado mínima diferencia en la resistencia al corte en probetas con nudo y sin nudo, resultados similares fueron determinados por Hernández (2018), donde constató que la presencia de nudos solo reduce la falla cortante mas no aumenta su resistencia mecánica.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES.

1. El contenido de humedad en estado verde de las especies del género *Guadua* difieren significativamente entre sí, dando que la especie *Guadua lynnclarkiae*, presento un mayor contenido de humedad, con un promedio de 112.24 %, mientras que la *Guadua* superba, presento un mayor contenido de humedad en equilibrio higroscópico con promedio de 15.39%, la *Guadua weberbaueri*, presento el menor contenido de humedad verde y en equilibrio higroscópico según la prueba de promedio de Tukey.

2. En cuanto a la densidad básica, verde, en equilibrio higroscópico y anhidra se obtuvo que la *Guadua weberbaueri*, presento mayor densidad con un promedio de 0.75 g/cm^3, 1.22 g/cm^3, 1.06 g/cm^3, 0.97 g/cm^3 respectivamente.

3. Se determinó que las diferentes especies del género *Guadua* influyen significativamente en la contracción de la pared del culmo y longitudinal donde la especie *Guadua lynnclarkiae*, presento un mayor porcentaje de contracción con promedio 18.65%, 0.46% respectivamente.

4. Los mejores valores encontrados en flexión estática lo reporto la especie *Guadua superba*, con: módulo de ruptura de 726.14 kgf/cm^2, esfuerzo al límite proporcional de 573.28 kgf/cm^2 y módulo de elasticidad de 60479.98 kgf/cm^2.

5. Los valores promedios de la resistencia a la compresión paralela a la fibra

de la especie *Guadua lynnclarkiae*, son: Esfuerzo ultimo 371.38 kgf/cm^2, MOE 114,381.16 kgf/cm^2. En la especie *Guadua weberbaueri*, son: Esfuerzo ultimo 441.33 kgf/cm^2, módulo de elasticidad 133,719.47 kgf/cm^2.

6. Se determinó que las diferentes especies del género *Guadua* influyen significativamente en el esfuerzo ultimo a la compresión perpendicular del culmo donde la especie *Guadua weberbaueri*, presento un mayor esfuerzo con un promedio de 252.99 kgf/cm^2, seguido de la *Guadua superba*, y la *Guadua lynnclarkiae*, siendo este último que presento el menor esfuerzo con valor de 112.37 kgf/cm^2 según la prueba de promedio de Tukey.

7. Los valores promedios de la máxima resistencia al corte con nudo y sin nudo de la especie *Guadua lynnclarkiae*, son: Resistencia última con nudo 53.54 kgf/cm^2, Resistencia última sin nudo 57.21 kgf/cm^2. En la especie *Guadua weberbaueri*, son: Resistencia última con nudo 91.88 kgf/cm^2, Resistencia última sin nudo 100.03 kgf/cm^2. En la especie *Guadua superba*, son: Resistencia última con nudo 62.41 kgf/cm^2, Resistencia última sin nudo 58.02 kgf/cm^2.

5.2. RECOMENDACIONES.

- Usar la especie *Guadua lynnclarkiae*, para la elaboración de columnas y vigas, ya que presenta las mejores características físicas que las otras especies.

- La especie *Guadua superba*, debido a su diámetro y tamaño se sugiere seguir realizando investigación para la determinación de su utilidad.

- Desarrollar una línea de investigación para estudio de las propiedades físicas y mecánicas de la *Guadua weberbaueri*, a la preservación y conservación a fin de garantizar una mayor vida útil de esta materia prima.

- *Guadua lynnclarkiae* y *Guadua weberbaueri* poseen propiedades físicas y mecánicas similares los de *Guadua angustifolia*, por tanto, pueden ser utilizadas en la construcción civil.

- *Guadua superba* presenta buenas características, sin embargo, para ser utilizado en infraestructuras complejas se requiere realizar más investigaciones para aumentar su rigidez y resistencia.

BIBLIOGRÁFICA.

Ahmad, M. (2000). *Analysis of Calcutta Bamboo for Structural Composite Materials. Ph.D. Thesis.* Virginia - USA.: Polytechnic Institute and State University Virginia.

AIS, A. C. (2010). Estructuras de Madera y Estructuras de *Guadua*. *Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10 Titulo G* (p. 168 p). Bogotá: AIS.

Arancibia, A. A. (2017). *Propagación vegetativa de dos especies de bambú enla selva nor oriental.* Lima- Perú: Universidad nacional agraria la molina.

Botero, C. L. (2004). *MANUAL DE INDUSTRIALIZACIÓN DEL BAMBÚ.* COMPYMEFOR.

Brand, S. R., Ruiz, H. D., & Lozano, C. N. (2015). *Caracterización física y mecánica de la Guadua rolliza de la especie angustifolia kunth mediante procesamiento digital de imágenes.* Bogotá-Colombia: Universidad Militar Nueva Granada Facultad De Ingeniería Civil.

Camargo, G. J. (et al., 2008). *Inventario y mensura forestal para el manejo sostenible de bosques de Guadua.* Pereira-Colombia: UTP/Colciencias/Grupo de Gestión de Agroecosistemas Tropicales Andinos.

Castaño, F., & Moreno, R. (2004). *Guadua para todos: cultivo y aprovechamiento.* Bogotá, Colombia: Proyecto manejo sostenible de bosques de Colombia. 190 p.

Castrillón, M. y Malaver, F. 2004. Determinación de las propiedades físico-mecánicas de la *Guadua*. En: Simposio Internacional de la *Guadua*. Pereira. Pereira, Colombia. 1-3 p.

Cheatle, D., & Lopez, L. (2002). *Diseño de uniones y elementos en estructuras de Guadua. En: Seminario - Taller Avances en la investigación sobre Guadua.* Pereira.

Ciro, H., Osorio, J., & Velez, J. (2005, abril 26). *Determinación de la resistencia mecánica a tensión y cizalladura de la Guadua angustifolia kunth. (en línea). Bogotá, CO.* Retrieved Mayo 28, 2019, from http://www.bdigital.unal.edu.co/24363/1/21513-73501-1-PB.pdf

Cobos Fisher, J., & León Rodríguez, X. (2007). *Propiedades físicas-mecánicas de la Guadua angustifolia kunth y Aplicación al Diseño de Baterías Sanitarias del lASA II (tesis de pregrado).* Sangolqui: Escuela Politécnica del Ejército.

Cordova, V. A. (2008). *Plan Nacional de Promoción del Bambú 2008-2020.* Lima-Peru: SERFOR. 36p.

Diaz, J., & Gonzales, C. (1992). *Propiedades físicas y mecánicas de la Guadua angustifolia Kunth.* Medellín, CO. 103 p.: Trabajo de grado Ingenieros Agrícolas Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias Agropecuarias.

Espuna, J., & Sanchez, M. (2015, Julio 05). *Propuesta experimental de losas y cubiertas de bambú concreto para viviendas de interés social en el sur de Tamaulipas: primera etapa, determinación de las propiedades físico mecánicas de la Guadua amplexifolia (en línea).* Retrieved from http://www.turevista.uat.edu.mx/Volumen%203%20numero%202/PRIMER%20FORO%20UNIVERSITARIO/ARQ-03.swf México

Estacio Castañeda, D. G. (2013). *Evaluación de las propiedades físico- mecánicas del bambú- Bagua- Amazonas:Tesis para obtener el grado de Ingeniero civil.* Cajamarca - Perú: Universidad Nacional de Cajamarca .

Fundacion AVSI y NRD,UNISS. (2017). *MANUAL TÉCNICO DEL BAMBÚ (Guadua angusfolia kunth) PARA PRODUCTORES.* Lima, Perú: Universidad de Sassari.

Ghavami, K. (1992). Bambu, um Material Alternativo na Engenharia. *Revista Engenharia: Construção Civil / Pesquisa Engenho,* , No. 492, pp. 13-27.

Ghavami, K. (2004). *El bambú como material estructural análisis de un caso práctico.* Rio de Janeiro, BR.

Gonzalez, E. (2002). *Resistencia a la flexión de la Guadua angustifolia Kunth a escala natural en la Universidad Nacional de Medellín.* Medellín,CO: Universidad Nacional de Colombia.

González, E., Osorio, J. A., & García., E. A. (2002). *RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DE LA GUADUA AGUSTIFOLIA KUNT A ESCALA NATURAL.* Medellín, Colombia: Rev.Fac.Nal.Agr.Medellín. Vol.55, No.2.

González, L. O. (2006). *Elementos para la caracterzación mecanica de la Guadua angustifolia Kunth.* Revista Virtual Forestal.

Gutierrez, J. Gómez, R. (2002). *Diseño y elaboración a escala natural de armaduras en Guadua angustifolia*, Proyecto de grado, Universidad Nacional de Colombia

Gutiérrez C, J. E. (2015). *Evaluación de las propiedades mecánicas del culmo de Guadua angustifolia Kunth., en tres niveles de altura.* Tingo María-PERU: Tesis para optar el grado de ingeniero en recursos naturales renovables. Universidad Nacional Agraria de la Selva.

Gutiérrez, G. M. (2011). *Factor de corrección por contenido humedad para la resistencia a tensión paralela a la fibra de la Guadúa angustifolia Kunth*. Retrieved from Correction factor by moisture content for the tensile strength parallel to the fiber of bamboo *Guadua angustifolia* Kunth. Maestría thesis, Universidad Nacional de Colombia: http://www.bdigital.unal.edu.co/6307/#sthash.DLQrCUS2.dpuf.

Hernández, J. (2018). Determinación de las propiedades mecánicas compresión, cortante, tensión paralela a la fibra y flexión estática de la especie Bambusa oldhamii, de la región de Papantla Veracruz, bajo los procedimientos de la norma ISO-22157,2004. Universidad Veracruzana.

Hidalgo, O. (1974). *"Bambú: su cultivo y aplicaciones en fabricación de papel, construcción, arquitectura, ingeniería, artesanía".* Estudios Técnicos Colombianos, Colombia.

IRAM 9541. (1977). *"Método de ensayo de compresión paralela a las fibras".* Instituto Argentino de Racionalización de Materiales. 6 pp.

IRAM 9542. (1977). *"Método de ensayo de flexión estática de maderas con densidad aparente mayor de 0.5 g/cm^3 ".* Instituto Argentino de Racionalización de materiales 10 pp.

IRAM 9547. (1977). *"Método de determinación de la compresión perpendicular al grano".* Instituto Argentino de Racionalización de Materiales. 5 pp.

IRAM 9596. (1977). *"Método de ensayo de corte paralelo a la dirección de las fibras".* Instituto Argentino de Racionalización de Materiales. 10 pp.

Janssen, J. (2002). *Mecánicas properties of bamboo (en línea).* Retrieved Enero 12, 2014, from Mecánicas properties of bamboo (en línea).: www.bambus\new\eng\reports\mechanical_properties \referat2.html.

Janssen, J. (2004). Bamboo – Determination of physical and mechanical properties. *Norma ISO/22157-2*.

Liese, W., & Köhl, M. (2015). *Bamboo: The Plant and its Uses (Tropical Forestry).* Retrieved from Cham: Springer International Publishing. 356 p: DOI: https://doi. org/10.1007/978-3-319-14133-6

Londoño, P., Janssen, J., & Gonzalez, J. (2002). *The American Bamboos with emphasis in the Genus Guadua. Instituto Vallecaucano de Investigaciones Científicas INCIVA.* Cali. USA.

Londoño, X. (2002). *Distribucion, morfologia, taxonomia, anatomia, silvicultura y usos de los bambues del nuevo mundo. maestría en construcción módulo Guadua.* Bogotá-CO: Universidad Nacional de Colombia material sin publicar.

Londoño, X., & Clark, L. G. (2002). *Three new taxa of Guadua (Poaceae: Bambusoideae)from South America.* Novon 12: 64-76.

López, L. F., & Correal, J. F. (2009). “Estudio exploratorio de los laminados de bambú *Guadua angustifolia* como material estructural’’. *Maderas, Ciencia y Tecnología*, vol. 11, no. 3. Universidad del Bío-Bío.

Medina, V. C. (2019). *determinacion de las propiedades mecánicas en dos especies de bambúes en Tingo Maria.* Tingo Maria, Huanuco: Universidad Nacional Agraria de la Selva.

Moromi, I. (2015, Julio 03). *Promoción de la normatividad para el diseño y construcción de edificaciones seguras: Norma E.100: Construcción de Viviendas en Bambú.* Retrieved from http://www.vivienda.gob.pe/dnc/archivos/difusion/eventos/2012/TOTAL/15.%20Norma%20E.100%20Bamb%C3%BA.pdf

Ordoñez, V. (1999). *Perspectivas del bambú para la construcción enMéxico: en: Madera y Bosques.* Veracruz, MX.

Perez, G. N. (2009). *sustenta el bambu (bambussa spp.) como sistema agroforestal: una alternativa de desarrollo mediante el pago por sus servicios ambientales en la sierra nororiental del estado de puebla; septiembre-diciembre, año/Vol. 5.* Universidad Autonoma indígena de Mexico Mochicahui, El Fuerte, Sinaloa. pp.335-346.

Pilco, E. (2016). *Estudio de las propiedades Físico Mecánicas de la Guadua angustifolia Kunth de Loja, e implementación de este como material de construcción.* Loja-Ecuador: Tesis para opter el grado de ingeniero civil. Universidad Técnica Particular de Loja.

Reátegui, E. N. (2019). *INFORME DE IDENTIFICACION DE ESPECIES DE BAMBÙ.* Pucallpa-Perù.

Spavento, E. (2008) *Propiedades Físicas de la Madera.* Curso de xilotecnología. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. Universidad Nacional de la Plata, p. 26.

Speranzini, E.& Agnetti, S. Desempeño estructural de fibras naturales vigas de madera reforzada. University of Engineering, p. 8, 2012.

Suirezs, T.; Friedl, R.; Gutiérrez, I.; Bulman, C.; Bragañolo, A.; Videla, D.; Bernio, J.; AguilerA, M. Caracterización de las propiedades físicas y mecánicas del bambu Guadua chacoensis (Rojas) Londoño & P. M. Peterson nativo de el dorado, provincia de Misiones. Yvyrareta.com.ar; Revista Forestal Yvyrareta V. 27, p. 52-56, 2019.

Torres, P. (2009). *Determinación de las propiedades físicas a tres niveles del fuste de "Cetico" Cecropia sciadophylla Mart. en el bosque reservado de la Universidad Nacional Agraria de la Selva.* Tingo María-Perú : Universidad Nacional Agraria de la Selva.

Tovar, O. (1993). *Las gramíneas (Poaceae) del Perú .* Madrid- ES: Ruizia. 480 p.

Velasquez, M., & Salvador, I. (2008). *Evaluación y utilización de la Guadua sarcocarpa Londoño & Peterson en el bosque de la UNU - MACUYA.* Pucallpa- Peru.

ANEXOS

ANEXO 1.
PROCESO DE RECOLECCIÓN DE DATOS



Figura 9: Orientación de los culmos



Figura 10: Preparación de los culmos para la obtención de las probetas físicas.



Figura 11: Tratamiento de las muestras con sal de borax



Figura 12: Preparación de las probetas físicas.



Figura 13: Inicio de los ensayos físicos



Figura 14: Segundo tratamiento preservador contra el ataque de insectos, empleándose el producto Lorpyfos al 2%.

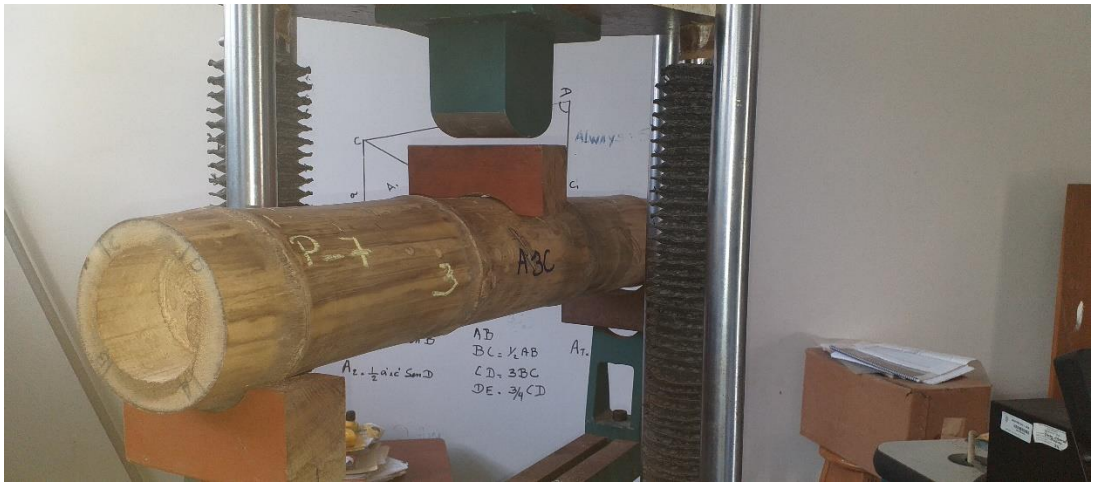


Figura 15: *Guadua lynnclarkiae* (A) antes del ensayo de flexión estática.



Figura 16: *Guadua weberbaueri* (B) antes del ensayo de flexión estática.



Figura 17: *Guadua superba* (C) antes del ensayo de flexión estática.



Figura 18: *Guadua lynnclarkiae* (A) después del ensayo de flexión estática.



Figura 19: *Guadua weberbaueri* (B) después del ensayo de flexión estática.



Figura 20: *Guadua superba* (C) después del ensayo de flexión estática.

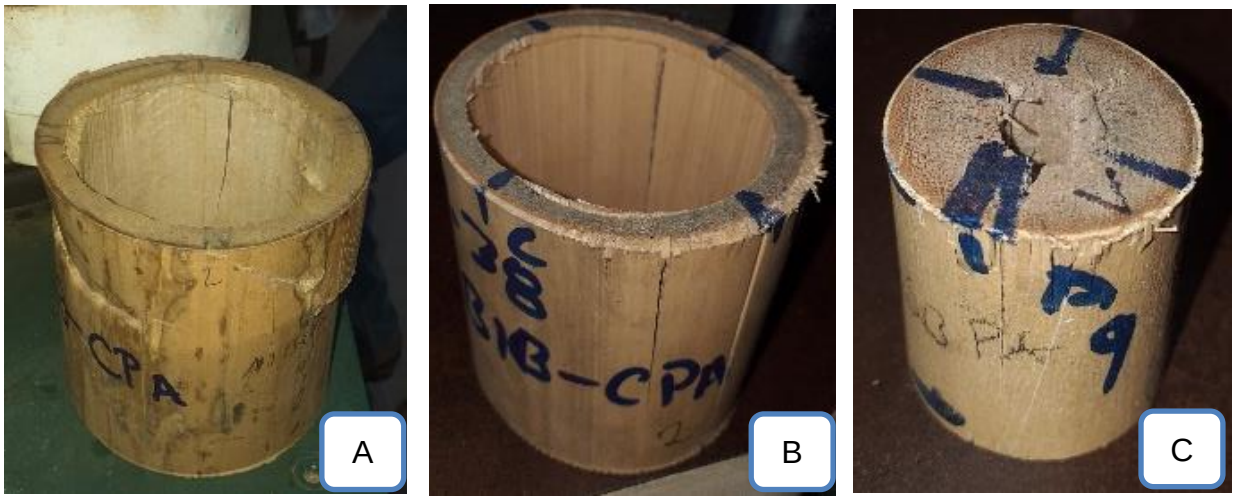


Figura 21: probetas de *Guaduas* después del ensayo de compresión paralela.



Figura 22: probetas de *Guaduas* después del ensayo de compresión perpendicular.



Figura 23: probetas de *Guaduas* después del ensayo de cizallamiento con nudo paralela a la fibra.

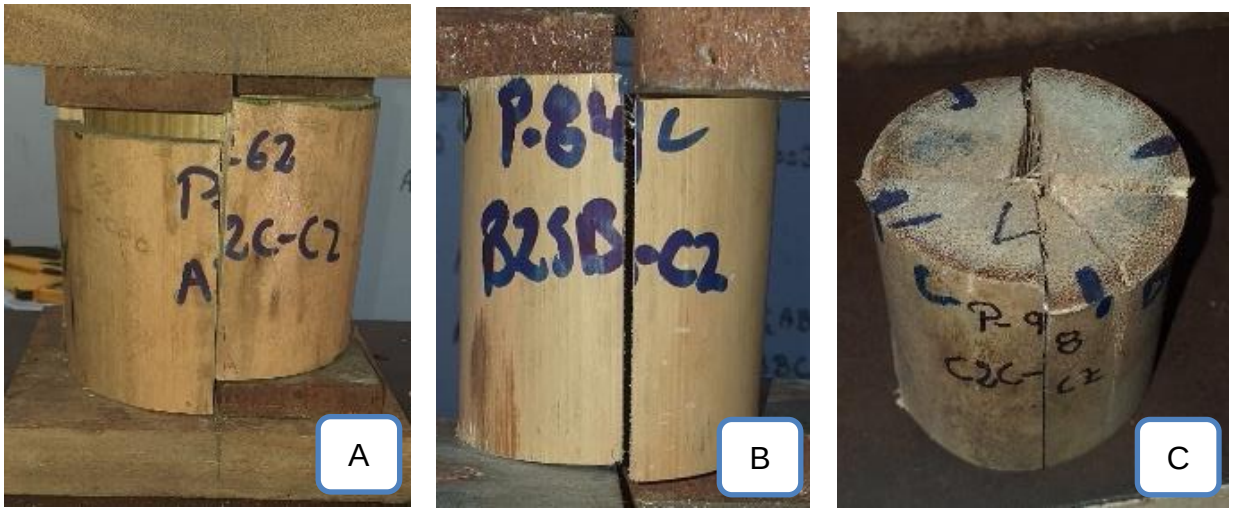


Figura 24: probetas de *Guaduas* después del ensayo de cizallamiento sin nudo paralela a la fibra.

ANEXO 2.
INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS

CITEforestal Pucallpa	FORMATO DE REGISTRO DE EVALUACION DE DENSIDAD Y CONTRACCION	VERSION: V1
		CODIGO: LAB-FO-03
Analista:	Orden de Servicio: Especie:	PROTOCOLO

Muestra	Fecha:				Fecha:				Fecha:				Fecha:			
	Peso (g)	Volumen			Peso (g)	Volumen			Peso (g)	Volumen			Peso (g)	Volumen		
		Tg (mm)	Rd (mm)	Lg (mm)		Tg (mm)	Rd (mm)	Lg (mm)		Tg (mm)	Rd (mm)	Lg (mm)		Tg (mm)	Rd (mm)	Lg (mm)

CITEforestal Pucallpa	FORMATO DE REGISTRO DE EVALUACION DE CONTENIDO DE HUMEDAD (Metodo gravimetrico).	VERSION: V1
		CODIGO: LAB-FO-02

FECHA:	Estufa	1	2	3	4	5	O de servis	PROTOCOLO
T°:	H inicio							
% RH:	H final							

N° Prob	Especie	Cod	P saturado	N° DE EVALUACIONES DE LA ESTUFA (P anhidro)					OBSERVACIONES
				1	2	3	4	5	
1									
2									
3									
4									
5									
6									
7									
8									
9									
10									
11									
12									
13									
14									
15									
16									
17									
18									
19									
20									
21									
22									
23									
24									
25									
26									
27									
28									
29									
30									
31									
32									
33									
34									
35									
36									
37									
38									
39									
40									

ANALISTA:

CITEforestal Pucallpa

FORMATO DE REGISTRO DE MEDIDAS PARA ENSAYOS MECANICOS PARA BAMBÚ

VERSION: V1

CODIGO: LAB-FO-06

PROTOCOLO

FECHA: **Especie**

Analista:

N° Pr	Cod	DIAMETRO				LARGO				ESPESOR 1				ESPESOR 2			
		D1AC	D1BD	D2AC	D2BD	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D
1	A1C-FE	13.90	13.70	13.40	13.60	76.60	76.90	76.60	76.40	13.80	16.01	17.22	15.35	16.44	18.41	20.32	19.32
2	A2C-FE	15.10	15.60	15.00	15.60	78.40	78.70	78.70	78.60	20.63	22.11	23.90	21.79	20.26	20.88	20.23	18.50
3	A3C-FE	12.70	12.80	12.60	12.50	75.30	75.50	76.00	75.60	15.85	14.88	13.84	14.08	20.90	18.74	17.65	16.05
4	A1B-FE	12.70	12.40	12.40	12.30	76.70	76.50	76.20	76.40	9.58	11.02	8.73	9.49	7.90	9.01	8.60	8.72
5	A2B-FE	13.20	13.30	13.20	13.40	75.60	75.70	75.70	75.80	10.58	10.22	10.41	10.08	11.89	11.21	11.67	11.58
6	A3B-FE	14.90	14.20	14.20	13.80	76.80	76.60	76.80	76.50	13.49	13.63	13.64	13.09	12.33	13.28	12.98	11.51
7	A1SB-FE	12.80	12.10	13.20	12.40	76.00	76.50	76.40	76.10	9.48	9.75	10.07	9.19	10.18	11.71	10.17	9.53
8	A2SB-FE	12.00	12.30	11.80	11.90	76.90	76.60	77.10	77.00	10.56	10.70	11.98	10.93	10.62	10.45	12.44	11.07
9	A3SB-FE	13.20	13.90	14.90	14.20	76.20	75.60	75.50	75.90	11.75	11.97	10.87	10.85	11.53	12.26	11.39	10.85
10	A1C-CZN	13.80	13.90	14.20	13.80	14.30	14.10	14.00	14.20	12.72	13.34	13.37	12.09	13.38	13.95	14.67	13.97
11	A1C-CZ	13.40	13.50	13.00	13.50	14.00	14.10	14.20	14.10	17.01	18.57	19.13	19.17	18.11	18.48	18.68	19.64
12	A1C-CPA	13.70	14.10	13.40	13.30	14.60	14.50	14.60	14.60	13.16	13.70	12.54	13.36	13.16	13.57	11.87	13.38
13	A2C-CZN	13.80	13.70	14.20	14.10	13.00	13.00	13.00	13.00	12.54	13.90	15.66	13.20	13.42	14.51	15.45	14.70
14	A2C-CZ	13.80	13.70	14.00	14.10	11.40	11.30	11.30	11.40	12.89	13.87	14.05	11.33	13.02	14.12	14.68	11.36
15	A2C-CPA	14.00	14.00	13.80	13.40	14.20	4.20	14.30	14.30	11.80	13.29	14.36	13.54	11.55	13.57	14.00	13.93
16	A1C-CPE	15.50	15.40	15.60	15.40	15.60	15.40	15.60	15.80	18.67	19.92	18.11	16.85	21.35	20.14	19.52	16.91
17	A3C-CZN	13.50	13.90	13.90	14.20	13.00	13.60	13.60	13.40	14.10	13.00	14.53	14.28	15.40	13.35	13.92	15.47
18	A3C-CZ	14.00	13.40	14.10	13.80	13.00	13.00	13.00	12.90	15.67	14.08	15.11	15.42	15.60	14.15	15.75	16.14
19	A3C-CPA	13.90	13.40	12.80	12.80	13.90	14.00	13.90	13.80	15.62	14.54	15.60	13.79	13.65	14.96	16.36	14.16
20	A1B-CZN	12.90	12.90	13.30	13.40	12.60	12.80	12.90	12.80	12.08	10.66	10.34	11.58	13.92	12.47	11.56	12.77
21	A1B-CPE	13.30	13.10	13.20	13.40	9.80	9.60	9.80	10.00	12.23	12.58	11.29	11.30	14.10	14.70	12.60	11.11
22	A1B-CZ	14.80	14.30	14.60	13.80	14.50	14.60	14.30	14.20	12.25	11.73	12.28	12.38	12.22	11.58	13.00	13.42
23	A1B-CPA	13.30	13.30	13.20	13.00	13.40	13.50	13.60	13.60	12.52	13.54	11.02	10.59	12.24	12.58	10.88	10.81
24	A1B-SN	12.90	12.80	13.00	12.70	13.10	13.10	13.30	13.20	9.54	9.00	9.84	9.14	10.57	9.57	8.93	9.09
25	A2B-CZN	12.90	12.80	13.30	13.10	13.70	13.80	14.00	13.90	13.64	11.39	10.79	12.07	14.57	12.76	12.44	14.01
26	A2B-CZ	13.20	13.30	13.80	13.50	14.20	14.00	13.80	14.10	10.06	9.74	10.64	10.07	12.34	12.68	13.22	11.89
27	A2B-CPA	13.40	13.00	13.20	12.80	13.90	13.90	13.60	13.80	9.66	11.31	10.36	10.14	9.36	10.87	9.69	9.59
28	A2B-SN	13.20	12.80	13.40	13.00	13.40	13.60	13.60	13.50	10.51	13.32	15.41	12.62	12.14	12.88	14.56	12.34
29	A3B-CZN	13.20	12.80	13.60	13.40	12.90	12.90	13.00	13.10	11.70	10.93	11.11	11.09	11.41	10.86	11.33	10.93
30	A3B-CZ	14.60	14.40	15.00	14.70	13.20	13.20	12.70	12.70	11.60	12.54	12.00	10.51	15.01	14.70	13.81	13.13
31	A3B-CPA	13.10	13.30	12.80	13.00	14.00	14.30	14.20	13.80	10.99	13.11	12.27	9.33	10.40	11.95	11.48	10.24
32	A3B-SN	13.10	13.40	12.80	12.90	12.60	12.70	12.90	12.70	16.34	15.36	12.54	13.75	15.45	12.00	11.35	11.99
33	A1SB-CZN	14.60	14.60	15.20	15.20	15.80	15.90	15.90	15.80	13.93	12.49	12.75	15.01	14.39	13.72	12.61	14.82
34	A1SB-CZ	11.80	11.90	12.00	12.20	11.80	11.90	11.90	11.80	10.60	11.75	11.95	10.12	11.46	11.52	11.99	11.13
35	A1SB-CPA	12.70	12.50	12.80	12.60	12.70	12.60	12.80	12.70	9.37	9.37	9.81	8.88	9.49	9.36	9.82	9.10
36	A2SB-CZN	12.80	12.00	12.90	12.60	12.10	12.20	12.10	12.00	9.92	9.33	9.38	9.95	10.23	10.01	9.48	9.71
37	A2SB-CZ	14.70	14.50	15.20	15.00	15.80	15.60	15.50	15.60	14.21	15.31	13.46	12.63	14.15	13.77	13.73	12.66
38	A2SB-CPA	13.80	13.80	14.10	14.10	15.10	15.00	15.00	15.20	10.91	11.63	11.63	10.70	11.09	11.62	11.40	10.55
39	A1SB-CPE	11.90	11.70	11.90	11.60	15.20	15.30	15.10	14.90	10.28	9.30	11.48	11.49	11.12	9.88	11.85	12.31

ANEXO 3.
ANÁLISIS DE VARIANZA DE DATOS

Tabla 30. Análisis de varianza del contenido de humedad en condición verde del bambú de tres especies de *Guadua* y tres niveles longitudinales del culmo.

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Entre especies	2	12913.7	6456.83	105.42	0.00
Entre niveles	2	268.3	134.15	2.19	0.141
Interacción	4	867.5	216.88	3.54	0.027
Error	18	1102.5	61.25		
Total	26	15151.9			
R2 = 92.72%;	S. = 7.83	X. = 82.50	CV. = 9.49%		

Tabla 31. Análisis de varianza del contenido de humedad en equilibrio higroscópico del bambú de tres especies de *Guadua* y tres niveles longitudinales del culmo

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Entre especies	2	25.404	12.7022	31.67	0.000
Entre niveles	2	1.413	0.7064	1.76	0.200
Interacción	4	6.623	1.6557	4.13	0.015
Error	18	7.22	0.4011		
Total	26	40.66			
R2 = 82.24%;	S. = 0.64	X. = 14.34	CV. = 4.42%		

Tabla 32. Análisis de varianza de la densidad verde del bambú de tres especies de *Guadua* y tres niveles longitudinales del culmo

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Entre especies	2	0.000461	0.00023	2.48	0.112
Entre niveles	2	0.0006	0.0003	3.22	0.064
Interacción	4	0.001796	0.000449	4.83	0.008
Error	18	0.001674	0.000093		
Total	26	0.004531			
R2 = 63.05%;	S. = 0.01	X. = 1.21	CV. = 0.80%		

Tabla 33. Análisis de varianza de la densidad en equilibrio higroscópico del bambú de tres especies de *Guadua* y tres niveles longitudinales del culmo

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Entre especies	2	0.034666	0.017333	5.65	0.012
Entre niveles	2	0.006697	0.003349	1.09	0.357

Interacción	4	0.0179	0.004475	1.46	0.256
Error	18	0.055212	0.003067		
Total	26	0.114475			
R2 = 51.77%;	S. = 0.06	X. = 1.03	CV. = 5.38%		

Tabla 34. Análisis de varianza de la densidad anhidra del bambú de tres especies de *Guadua* y tres niveles longitudinales del culmo

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Entre especies	2	0.025999	0.013	7186.76	0.000
Entre niveles	2	0.028113	0.014057	7771.14	0.000
Interacción	4	0.015535	0.003884	2147.13	0.000
Error	18	0.000033	0.000002		
Total	26	0.06968			
R2 = 99.95%;	S. = 0.00	X. = 0.93	CV. = 0.14%		

Tabla 35. Análisis de varianza de la densidad básica del bambú de tres especies de *Guadua* y tres niveles longitudinales del culmo.

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Entre especies	2	0.04637	0.023187	2.730	0.092
Entre niveles	2	0.01395	0.006977	0.820	0.456
Interacción	4	0.02085	0.005213	0.610	0.658
Error	18	0.15285	0.008492		
Total	26	0.23403			
R2 = 34.69%;	S. = 0.09	X. = 0.71	CV. = 13.02%		

Tabla 36. Análisis de varianza de la contracción de la pared del bambú de tres especies de *Guadua* y tres niveles longitudinales del culmo.

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Entre especies	2	378.849	189.425	449623	0.000
Entre niveles	2	45.691	22.845	54226	0.000
Interacción	4	57.773	14.443	34283	0.000
Error	18	0.008	0		
Total	26	482.321			
R2 = 100%;	S. = 0.02	X. = 13.97	CV. = 0.15%		

Tabla 37. Análisis de varianza de la contracción longitudinal del bambú de tres especies de *Guadua* y tres niveles longitudinales del culmo.

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Entre especies	2	0.295083	0.147542	15.180	0.000
Entre niveles	2	0.009307	0.004654	0.480	0.627
Interacción	4	0.022319	0.00558	0.570	0.685
Error	18	0.174911	0.009717		
Total	26	0.501621			
R2 = 65.13%;	S. = 0.10	X. = 0.35	CV. =	27.85%	

Tabla 38. Análisis de varianza del módulo de ruptura del bambú de tres especies de *Guadua* y tres niveles longitudinales del culmo.

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Entre especies	2	10.0932	5.04659	74.95	0.000
Entre niveles	2	0.1159	0.05795	0.86	0.44
Interacción	4	1.0219	0.25548	3.79	0.021
Error	18	1.212	0.06733		
Total	26	12.443			
R2 = 90.26%;	S. = 0.26	X. = 3.35	CV. =	7.74%	

Tabla 39. Análisis de varianza del esfuerzo en el límite proporcional bambú de tres especies de *Guadua* y de tres niveles longitudinales del culmo.

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Entre especies	2	10.5239	5.26197	80.21	0.000
Entre niveles	2	0.2207	0.11035	1.68	0.214
Interacción	4	1.2051	0.30127	4.59	0.01
Error	18	1.1808	0.0656		
Total	26	13.1305			
R2 = 91.01%;	S. = 0.26	X. = 3.09	CV. =	8.28%	

Tabla 40. Análisis de varianza del módulo de elasticidad bambú de tres especies de *Guadua* y de tres niveles longitudinales del culmo.

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Entre especies	2	23.4204	11.7102	41.01	0.000
Entre niveles	2	0.8122	0.4061	1.42	0.267
Interacción	4	1.6471	0.4118	1.44	0.261
Error	18	5.1398	0.2855		
Total	26	31.0195			
R2 = 83.43%;	S. = 0.53	X. = 7.15	CV. =	7.47%	

Tabla 41. Análisis de varianza del esfuerzo último en la compresión

paralela del bambú de tres especies de *Guadua* y de tres niveles longitudinales del culmo.

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Entre especies	2	218.1	109.07	2.01	0.163
Entre niveles	2	260.1	130.03	2.4	0.119
Interacción	4	140.1	35.03	0.65	0.637
Error	18	975.3	54.18		
Total	26	1593.6			
R2 = 38.80%; S. = 7.36 X. = 39.50 CV. = 18.64%					

Tabla 42. Análisis de varianza del módulo de elasticidad en la compresión paralela del bambú de tres especies de *Guadua* y de tres niveles longitudinales del culmo.

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Entre especies	2	43469205	21734602	1.41	0.270
Entre niveles	2	22433717	11216858	0.73	0.497
Interacción	4	58625919	14656480	0.95	0.459
Error	18	277971429	15442857		
Total	26	402500270			
R2 = 30.94%; S. = 3929.74 X. =11454 CV. = 34.31%					

Tabla 43. Análisis de varianza del esfuerzo último en la compresión perpendicular del bambú de tres especies de *Guadua* y de tres niveles longitudinales del culmo.

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Entre especies	2	930.75	465.375	3572.61	0.000
Entre niveles	2	316.56	158.282	1215.11	0.000
Interacción	4	540.5	135.126	1037.34	0.000
Error	18	2.34	0.13		
Total	26	1790.16			
R2 = 99.87%; S. = 0.36 X. = 16.74 CV. = 2.16%					

Tabla 44. Análisis de varianza de la resistencia última al corte con nudo del bambú de tres especies de *Guadua* y de tres niveles longitudinales del culmo.

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Entre especies	2	69.498	34.749	23.82	0.000
Entre niveles	2	7.677	3.8387	2.63	0.099
Interacción	4	2.282	0.5704	0.39	0.812

Error	18	26.255	1.4586	
Total	26	105.712		
R2 = 75.16%;	S. = 1.21	X. = 6.79	CV. =	17.78%

Tabla 45. Análisis de varianza de la resistencia última al corte sin nudo del bambú de tres especies de *Guadua* y de tres niveles longitudinales del culmo.

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Entre especies	2	118.152	59.0759	43.02	0.000
Entre niveles	2	1.816	0.9078	0.66	0.528
Interacción	4	11.738	2.9345	2.14	0.118
Error	18	24.721	1.3734		
Total	26	156.426			
R2 = 84.20%;	S. = 1.17	X. = 6.90	CV. =	16.98%	

ANEXO 4.
INFORME DE IDENTIFICACION DE ESPECIES DE BAMBÚ

Proyecto "Mejoramiento y Ampliación de los Servicios del Sistema Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación Tecnológica

SUBPROYECTO: DETERMINACIÓN DEL COMPORTAMIENTO A LA PROPAGACIÓN CLONAL, INDUSTRIALIZACIÓN Y CAPTURA DE CARBONO DE TRES ESPECIES DE BAMBÚ NATIVO EN LA AMAZONIA PERUANA

CONTRATO N°44-2019-FONDECYT-BM-IADT-MU

INFORME DE IDENTIFICACION DE ESPECIES DE BAMBÙ

INDICADOR QUE CORRESPONDE AL HITO 1: COLECTA DE ESPECIES DE BAMBÚ

ING. ING. M.SC. NATALIA REÀTEGUI ECHEVERRI
CONSULTORA

Octubre 2019

Título de Proyecto: "DETERMINACIÓN DEL COMPORTAMIENTO A LA PROPAGACIÓN CLONAL, INDUSTRIALIZACIÓN Y CAPTURA DE CARBONO DE TRES ESPECIES DE BAMBÚ NATIVO EN LA AMAZONIA PERUANA"

Actividad: INFORME DE IDENTIFICACION DE ESPECIES DE BAMBÙ

Instituciones Asociadas:
Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana- IIAP (Proponente)
Instituto Tecnológico de la Producción-ITP (Socio)

Objetivos del proyecto
Generar tecnología para el uso de 03 especies de bambú nativo con fines de propagación vegetativa, análisis de propiedades físicas y mecánicas, trabajabilidad, secado, preservado y captura de carbono en Ucayali.

1. Evaluar el comportamiento de la propagación clonal de tres (03) especies de bambú nativo de la amazonia peruana.
2. Determinar las reservas de carbono potencial de tres (03) especies de bambú nativo en un escenario de plantaciones industriales
3. Determinar las propiedades físico mecánicas y tecnológicas al secado, preservado y trabajabilidad de tres (03) especies de bambú nativo
4. Fortalecer las capacidades y difusión de Resultados

Consultora:
Ing. M.Sc. Natalia Reátegui Echeverri

Coordinador y equipo técnico

Investigador Principal:	Ing. M.Sc. Jorge Manuel Revilla Chávez
Coordinador Administrativo:	Lic. Adm. Melvin Teodomiro Flores Villanueva
Coinvestigador:	Ing. M.Sc. Wilson Francisco Guerra Arevalo
Coinvestigador:	Ing. M.Sc. David Gerardo Llúncor Mendoza
Coinvestigador:	PhD. Dennis del Castillo Torres
Coinvestigador:	Ing. M.Sc. Carlos Abanto Rodriguez
Asistente de Investigación:	Ing. Krystel Rojas Mego
Asistente de Investigación:	Ing. Erick Robinson García del Aguila
Equipo Técnico:	Téc, Rony Rios Gonzales
	Téc. Rusber Tapullima Pashanase
	Téc. Cesar Armando Young Salva
	Téc. Carlos Marín Pérez
	Téc. Lenin Franco López Ahuanari

Pucallpa-Perù, Octubre del 2019

I. ANTECEDENTES

El 14 de Setiembre del 2018, mediante Resolución de Dirección Ejecutiva N 192-2018-FONDECYT-DE, se aprueban las Bases Integradas de la Convocatoria 2018-I para la presentación de Proyectos de Investigación Aplicada y Desarrollo Tecnológico, mediante un Acuerdo de Préstamo N°8682-PE, por lo cual el 27 de Agosto del 2018 de inicia el proceso selección de proyectos de investigación, en el mismo se presenta el proyecto "DETERMINACIÓN DEL COMPORTAMIENTO A LA PROPAGACIÓN CLONAL, INDUSTRIALIZACIÓN Y CAPTURA DE CARBONO DE TRES ESPECIES DE BAMBÚ NATIVO EN LA AMAZONIA PERUANA" con el objeto de Generar tecnología para el uso de 03 especies de bambú nativo con fines de propagación vegetativa, análisis de propiedades físicas y mecánicas, trabajabilidad, secado, preservado y captura de carbono en Ucayali, siendo seleccionada por lo cual 23 de Noviembre del 2018 se suscribe el contrato y el 28 de Diciembre del 2018 se realiza el 1er. Desembolso a favor del proyecto.

El proyecto dio inicio en el mes de Enero del 2019, en cuyo primer hito se considera como una de las tareas el desarrollar un Informe de **Identificación de tres especies de bambú** nativo en el ámbito del proyecto. La identificación botánica es parte fundamental del primer eslabón de la cadena productiva del bambú y, en general, de cualquier recurso forestal y de fauna silvestre.

II. MARCO TEORICO

El bambú es una especie forestal no maderable milenaria, presente en la vida del poblador rural de las primeras culturas del Nuevo Mundo, como se observa en los restos arqueológicos de Caral (5,000 años ADP) y otras culturas preincaicas, alcanzando su mayor auge durante el Virreinato y en especial en el siglo XVII con el uso obligatorio en las construcciones de la denominada "quincha", con el objeto de prevenir los daños que causan los frecuentes movimientos sísmicos en las edificaciones y consecuentemente en la vida de los pobladores, en especial de la costa del Océano Pacífico. Aún cuando en el Perú existían más de 4 millones de ha de bosques naturales de bambú en forma asociativa con otras especies forestales en diferentes densidades, políticas erradas del siglo pasado que promovieron la ampliación de la frontera agrícola en la amazonía, el uso de materiales de alto impacto ambiental en las construcciones y la extracción selectiva de las denominadas maderas finas (cedro y caoba), produjo el incremento de la tala ilegal, seguido por la tumba y quema de los bosques amazónicos, con fines de agricultura migratoria de subsistencia y para cultivos de productos ilícitos, fueron y continúan hasta la fecha; la causa principal del incremento de la pérdida de los bosques tropicales.

Los bambúes, que pueden ser herbáceos y leñosos, son gramíneas. En el grupo de bambúes leñosos los tallos pueden superar los 25 m de altura formado densos que producen oxígeno y almacenan CO_2 constantemente debido al crecimiento ininterrumpido de culmos y rizomas. Su sistema radicular en redes compactas, evita la erosión y contribuye al manejo de los recursos hídricos. Asimismo, los culmos de los bambúes, tienen propiedades físico-mecánicas y químicas que compiten con las de otras especies maderables, con ventaja de su mayor velocidad de crecimiento, así, las plantaciones de bambú pueden ser aprovechadas sostenibleMente y a perpetuidad como fuente de materia prima en: la industria de la

construcción, como material estructural sismo resistente, producción de pulpa para papel, fabricación de laminados, artículos para el hogar, artículos deportivos, artículos musicales, carbón activado, fibras textiles, etanol celulolítico y eco-plásticos para la industria automotriz.

Los brotes tiernos de algunas especies son alimentos de alto valor nutricional y las hojas fuente de sustancias diversas de valor para la fabricación de cosméticos, fármacos, fertilizantes, entre otros. A nivel mundial, más de mil millones de personas viven en casas de bambú y 2.5 mil millones de personas usan productos de bambú, siendo el mercado actual superior a los 10 mil millones de dólares al año y proyectado a superar los 20 mil millones al año 2015. Es decir, que es un recurso con enorme potencial para jugar un papel importante en el desarrollo socio económico del país y por consiguiente en la lucha contra la pobreza; además de su enorme valor ambiental, especialmente cuando el planeta sufre los impactos acelerados del calentamiento global, la escasez del recurso hídrico y la pérdida de los bosques tropicales.

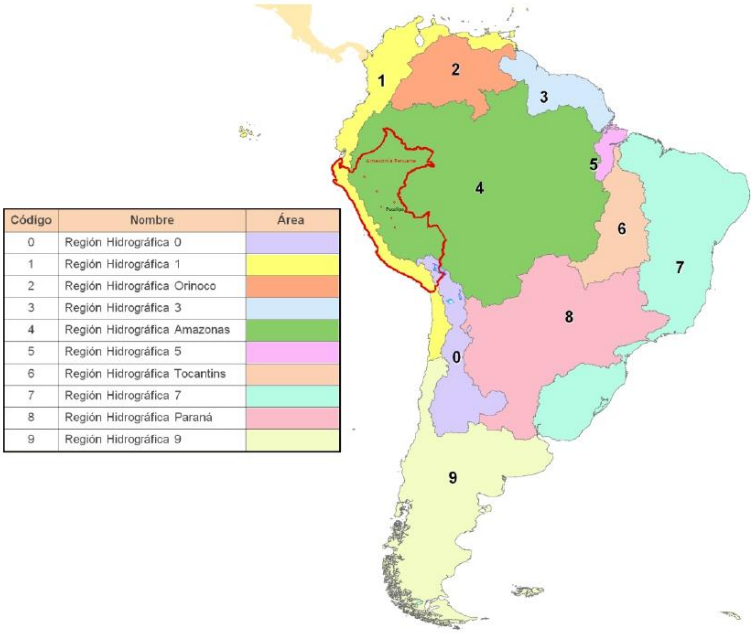
En el Perú, se encuentran numerosas especies nativas y exóticas que se desarrollan desde el nivel del mar hasta los 4,000 msnm, en los valles de la costa, los bosques húmedos de la región andina y amazónica. Se ha reportado en el sur oeste de la Amazonía entre los departamentos de Ucayali y Madre de Dios, varios cientos de miles de kilómetros de hectáreas se encuentran dominados por bosques de bambúes, conocidos como "pacales" entre los que predominan 2 especies del género Guadua y en los bosques tropicales húmedos de montaña de los Andes, predominan las formaciones de bosques de diversas especies del género Chusquea, Rhipidocladum y Aulonemia., albergando ambos ecosistemas diversas especies de flora y fauna silvestre, por lo mismo la selva central y selva norte alberga una variedad de especies de bambúes leñosos en el centro de diversificación la cordillera de los Andes, albergando el 33% de las especies. Se sabe por ejemplo, que estos bambúes presentan un incremento en su diversidad a medida que se asciende en las montañas, observándose una mayor concentración de especies entre los 2000-3000 msnm. Por debajo de los 1000 m de altitud, la diversidad disminuye registrándose un mayor incremento en el número de individuos en el rango de especie y un predominio de los géneros Arthrostylidium, Guadua y Rhipidocladum. Por encima de los 3000 m únicamente se encuentran especies de los géneros Chusquea y Aulonemia.

III. MATERIALES Y METODOS

3.1. UBICACIÒN

La colecta de material vegetativo, leñoso y muestras botánicas se realizó dentro del ámbito hidrográfico de la amazonia en la división política del Perù que comprende los departamentos principalmente de Ucayali, Pasco, Junín y San Martín (ver Mapa 1)

Mapa 1.- Circunscripción hidrográfica de la amazonia peruana en América del sur



Código	Nombre	Área
0	Región Hidrográfica 0	
1	Región Hidrográfica 1	
2	Región Hidrográfica Orinoco	
3	Región Hidrográfica 3	
4	Región Hidrográfica Amazonas	
5	Región Hidrográfica 5	
6	Región Hidrográfica Tocantins	
7	Región Hidrográfica 7	
8	Región Hidrográfica Paraná	
9	Región Hidrográfica 9	

3.2. METODOLOGIA

3.2.1 Protocolo de colección botánica, prensado y montaje de bambúes

3.2.1.1 Colecta de datos de sitio y hábito

- Colectar datos de posicionamiento geográfico utilizando un GPS. En su defecto anotar localidad, altitud, detalles ecológicos.
- Anotar detalles de la "mata" o plantas vivas: hábito (erecto y formando matas, erecto con culmos difusos, arqueado, erecto y arqueado en la punta, decumbente, rastrero y escandente) altura total, diámetro promedio (tomar los DAP, de varios individuos y hacer un promedio).

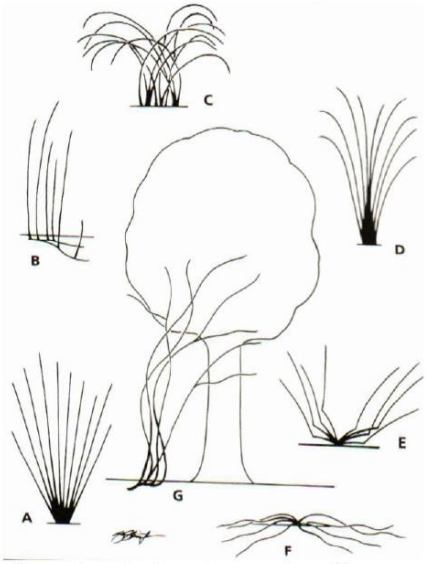


Ilustración 1. Hábito a. erecto, formando matas; b.erecto, con culmos difusos; c. arqueado; d. erecto y arqueado en ls punta; e. decumbente; f. rastrero; g. escandente (Fuente: Judziewicz et al, 1999)

- Tomar fotografías de la planta en su hábitat, incluyendo detalles vulnerables a la colecta: color del culmo, posición de las hojas, forma de la mata, presencia de agua en el culmo.
-

3.2.1.2 Colecta

- Culmo: al menos un internudo con dos nudos completos incluyendo ramas.

Si la hoja caulinar es persistente, mantenerla en el nudo.

- Hoja caulinar: si es decidua, colectarla, una buena muestra tiene lámina y vaina caulinar. Colectar varias por si presentan dimorfismo. En el caso del género Chusquea, es importante colectar una rama con la hoja caulinar persistente pues es un carácter importante para diferenciar secciones del género.

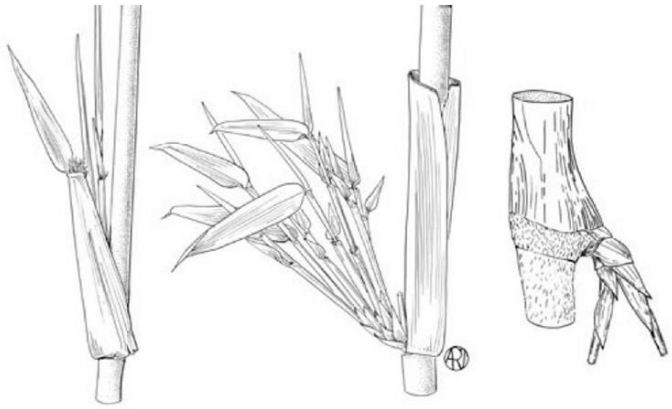


Ilustración 2. tipos de ramificación 1)intravaginal 2) extravaginal 3) infravaginal (fuente: Judziewicz et al 1999)

Ramas: completas con hojas, en caso de existir órgano floral colectarlo cuidadosamente, no separar las espiguillas o pseudoespiguillas de las ramas. Asimismo, para los especímenes del género Chusquea, la colecta debe incluir un profilo o rama no desarrollada, donde se vea claramente el arreglo de las posibles ramas. Esto es una característica importante para diferenciar las secciones dentro del género.

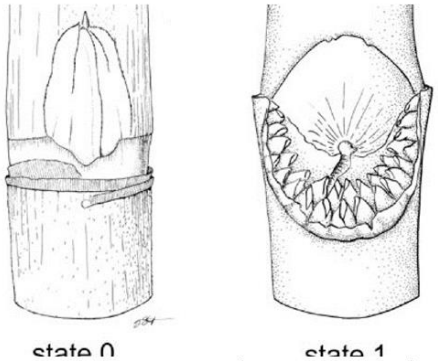


Ilustración 3. Complemento de brotes (Judziewicz et al 1999)

- Inflorescencias: colectarlas completas y la mayor cantidad posible para su estudio minucioso en laboratorio.
- Rizomas: sólo en el caso de géneros de rizomas pequeños. Evitar rizomas de guadua, dendrocalamus, bambusa y phyllostachys.

Todas las muestras deben ir correctamente codificadas.

3.2.1.3 Prensado

- Las hojas deben ser inmediatamente prensadas para evitar la ondulación de las mismas por deshidratación. Se puede utilizar una prensa botánica convencional
- Los culmos se pueden colectar en costales, exceptuando los culmos con ramas y hojas caulinares persistentes. En ese caso, deben ser prensadas.

3.2.1.4 Montaje en herbario

- Culmos: deben ser secados a baja temperatura para evitar fracturas. Asimismo, para ahorrar espacio se recomienda partirlos en la mitad y guardar una de las partes. Una vez secos, se deben preservar. Se puede utilizar una solución de 3 partes de alcohol por 1 de formol, o a preferencia de cada herbario.
- Ramas, hojas, hojas caulinares y culmos pequeños: se pueden mantener prensados hasta que se sequen. Normalmente el contenido de agua es bajo, por lo que no hay tanto riesgo de pudrición. Se preservan con alcohol. Se montan en cartulinas, respetando el tamaño estandarizado del herbario. Las muestras se pegan o atan a una tira de cartulina sujeta con alfileres. Esto permitirá apreciar mejor la muestra en el herbario. La hoja caulinar debe pegarse a la tira sobre el haz o envés de la misma, cuidando de dejar el área de la lígula libre.
- Las muestras deben llevar una ficha de colección donde figure el nombre de la especie, la familia, el nombre del colector, coordenadas geográficas, altitud, detalles del sitio, descripción de la planta en su hábitat.

3.2.2 Muestras Colectadas

De las colectas realizadas se obtuvieron treinta seis (6) muestras botánicas que se detallan en el cuadro 1.

Cuadro 1: Colectas botánicas, propágulos y culmos de bambú de los departamentos de Junín, Pasco y San Martín.

Colecta	Nombre Común	Genero	Especie	Coordenadas		Altitud (msnm)	Región	Provincia	Distrito	Sector
				E	N					
IIAP-01	Guadua sp.	Guadua	weberbauer i	485992	8818554	1078	Pasco	Villa Rica	Villa Rica	Alto kakazu
IIAP-02	Guadua sp.	Guadua	lynnclarkiae	251121	9353423	860	San Martin	Moyobamba	Moyobamba	Comunidad Atumplay (a 1hora de viaje terrestre)
IIAP-03	Guadua sp.	Guadua	Superba	543936	9062472	142	Ucayali	Coronel Portillo	Manantay	CFB Km. 15; Int. 8km; 15min/bote; Caminata de 15min
IIAP-04	Chusquea sp.	Chusquea	sect. Longiprophyllae prob. Sp. Nov.	0456799	8768420	2200	Junín	Chanchamayo	San Ramón	Bosque de Puyu Sacha
IIAP-05	Chusquea sp.	Chusquea	sect. Longiprophyllae prob. Sp. Nov 2.	456799	8768420	2200	Junín	Chanchamayo	San Ramón	Bosque de Puyu Sacha
IIAP-06	Rhipidocladum sp	Rhipidocladum	harmonicum	456799	8768420	2200	Junín	Chanchamayo	San Ramón	Bosque de Puyu Sacha

3.2.3 Resultados de la Identificación botánica

Código: IIAP- 01
Nombre: *Guadua weberbaueri* Pilg.
Comentarios a la identificación: Esta especie presenta dos líneas nodales. En guaduas, sólo la especie *Guadua sarcocarpa* comparte esta característica. Ambas especies son vegetativamente parecidas, con algunas diferencias como el tamaño del fruto y la espiguilla, además que a G. weberbaueri tiene hojas foliares pubescentes a diferencia de la G. sarcocarpa. Asimismo, se determinó que la muestra es G weberbaueri debido a su distribución geográfica, las poblaciones de G. sarcocarpa se encuentran hacia el este del país, en Madre de Dios y Puno, colindando con Brasil y Bolivia.

Usos y potencialidad: estructuras ligeras, artesanía, muebles, como estructura para paredes de bahareque, paisajismo.
Especímenes revisados: PERÚ:Pasco, Villa Rica, sector alto Cacazú, 1600 msnm, 2005, Daza 4048-AD (MOL-FCF); PERU, Madre de Dios, Tambopata, comunidad castañal, 1999, CM 40874, 40877, 40878, 40879, 40880 (MOL-FCF) PERÚ, Junín, Chanchamayo, Fundo Génova, 2007, Reátegui LG4 (MOL-FCF), PERÚ, Madre de Dios, Tahuamanu, San Lorenzo, 2000, Sereceda 40945, 40946 (MOL-FCF)

Código: IIAP-02
Nombre: *Guadua lynnclarkiae* Londoño.
Comentarios a la identificación: El holotipo presenta dimorfismo en hojas caulinares y espinas. Este coincide en una de las muestras con el colectado en San Martín, el cual no presenta setas orales en el medio de la lígula de la hoja caulinar, esta misma muestra coincide con las dimensiones de las espinas del espécimen colectado a identificar.

Usos y potencialidad: construcción, artesanías, muebles, paisajismo
Especímenes revisados: PERÚ, San Martín, Moyobamba, comunidad de Atumplaya, 2018, Reátegui 40881, 40882 (MOL-FCF); PERÚ, San Martín, Rioja, CCPP Porvenir, 828 msnm, 2016, Ortiz K-030, K-034 (MOL-FCF); holotipo: PERÚ: San Martín, Rioja, distrito San Fernando, sector Boca del Río Soritor, 420 msnm, 2010, Londoño, Takahashi & Panduro 1044 (MOL, hol!)

Código: IIAP-03
Nombre: *Guadua superba* Huber.
Comentarios a la identificación: Presenta dimorfismo en hojas, las hojas foliares más anchas presentan fimbrias en las vainas. Lígula curvada, con la parte más alta en la parte media de la hoja, con presencia de aurículas fimbriadas a los lados. Entrenudos casi sólidos.

Usos y potencialidad: los culmos casi sólidos de G. superba, podrían tener potencial para la construcción, paisajismo
Especímenes revisados: BRASIL: Amazonas, Río Univini, Lago de Agua Preta 1974 Murça Pires, J.; 14106 (US); COLOMBIA: Leticia, Parque Nacional Amacayacu, Isla de Mocagua,

Río Amazonas, 50 m, 1990, Londoño & Kobayashi 542 (US); PERU: Loreto, Pacaya Samiria, 1993, Del Carpio 2042, 2406 (MOL-FCF);

Código: IIAP-04
Nombre: *Chusquea* sect. Longiprohyllae prob. Sp. Nov.
Comentarios a la identificación: El especímen colectado estaba en floración. Se hizo la comparación con las especies descritas en la sección y hay varias diferencias. Las especies más parecidas a la colectada fueron Ch. exasperata y Ch. londoniae. Se trata de una nueva especie sin describir.

Usos y potencialidad: paisajismo. Los culmos gruesos de esta especie podrían utilizarse en artesanía.
Especímenes revisados: ECUADOR,4800 ft, 1945, McClure 21365, 40882 (MO); COLOMBIA, Guatapé, Santa Rita, 1850 msnm, 1986, Pohl 15444 (MO)

Código: IIAP-05
Nombre: *Chusquea* sect. Longiprohyllae prob. Sp. Nov. 2
Comentarios a la identificación: Especímen en estado vegetativo. Se hizo la comparación con las especies descritas en la sección y hay varias diferencias. Lo más probable es que se trate de una nueva especie sin describir.

Usos y potencialidad: paisajismo. Los culmos gruesos de esta especie podrían utilizarse en artesanía. Brotes de rama pequeños y carnosos con potencial comestible.

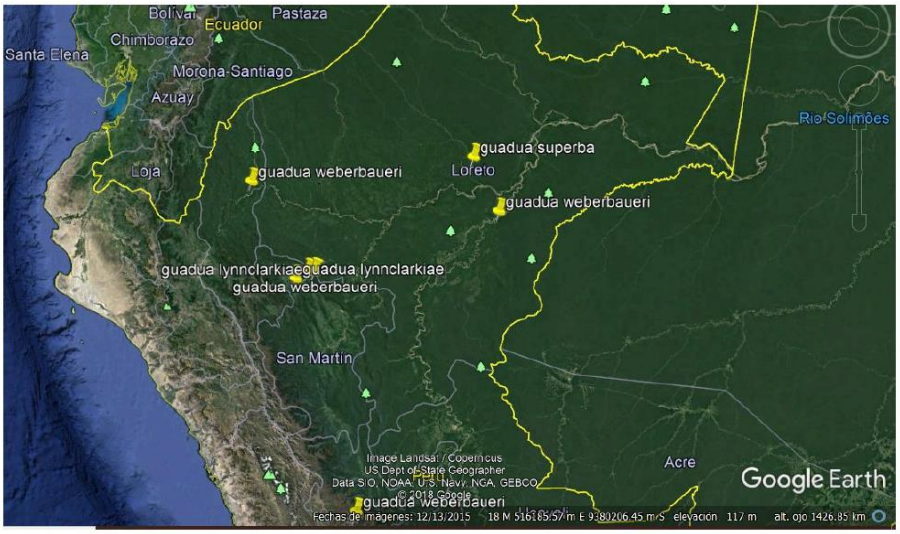
Especímenes revisados: ECUADOR,4800 ft, 1945, McClure 21365, 40882 (MO); COLOMBIA, Guatapé, Santa Rita, 1850 msnm, 1986, Pohl 15444 (MO); PERU: San Martín, Naranjo, sector Venceremos, 1848 msnm, Londoño, Takahashi &Panduro 1038 (MOL)

Código: IIAP-06
Nombre: *Rhipidocladum harmonicum*
Comentarios a la identificación: plantas en regeneración. Presencia del escudo del nudo característico del género. Se identifica por longitud de hojas foliares.

Usos y potencialidad: Se utiliza para la confección de zampoñas.
Especímenes revisados: PERU: Junín, Chanchamayo, Bosque Puyu Sacha, 2200 msnm, 2007, Reátegui 40867 (MOL-FCF)

3.3. Mapas de Especies de Bambù colectados

Del mismo modo se cuenta con los mapas de ubicación de colectas de bambú, previas de las especies identificadas, tomando en cuenta la base de datos TROPICOS del Herbario del Missouri Botanical Garden, que compila las colecciones de todos los herbarios para ubicar las existencias de las colecciones de este trabajo





IV. CONCLUSIONES

- Se colectaron 6 especies de bambúes: *Guadua superba, Guadua weberbaueri, Guadua lynnclarkiae, 2 especies nuevas de Chusquea y Rhipidocladum harmonicum*
- Las 3 especies de Guadua colectadas tienen potencial para la construcción, G. lynnclarkiae como piezas estructurales y G. superba y G. weberbaueri para la construcción de estructuras livianas o utilizándolas en técnicas como el "Bahareque", asimismo en mueblería y artesanía.
- Se encontraron dos especies de *Chusquea* nueva para la ciencia en la zona de colección, donde, existen más especies a colectar. Sin embargo, la expedición llegó luego de la floración de la mayoría de especies del género, las cuales tienen floración gregaria, donde todas luego del evento fenológico, mueren para dejar a una nueva generación regenerar.
- Asimismo la especie Rhipidocladum harmonicum se encontraba en regeneración luego de su posible floración gregaria.

V. RECOMENDACIONES

- Se recomienda hacer más colectas de bambú a nivel nacional, ya que existen vacíos de diversidad de Bambusoideas, en esta parte de los Andes. Prueba de esto es la enorme posibilidad de que, al colectar una especie de bambú nativo este sea nuevo para la ciencia.
- El género Guadua es el género más comercialmente atractivo para la cadena productiva, sin embargo, la guadua más comercializada, que, se creía era G angustifolia, nativa de Colombia y Ecuador, resulta ser, al menos 3 especies distintas y nativas del Perú, entre ellas G. lynnclarkiae. Se recomienda, por tanto, hacer un estudio poblacional comparando estudios moleculares y fisionómicos de poblaciones de guadua en el nororiente para poder establecer a ciencia cierta las especies que se están propagando y estableciendo a nivel nacional.
- La especie Rhipidocladum harmonicum se encuentra en una situación vulnerable, y, en general los bambúes nativos, por la pérdida de hábitat. Se recomienda establecer plántulas de esta especie en viveros, y estudiar su comportamiento ecológico, para poder propagarla a plantaciones para surtir a los fabricantes de instrumentos musicales de su materia prima.

VI. BIBLIOGRAFIA

Clark, L. 1990. Chusquea sect. Longiprophyllae (Poaceae: Bambusoideae): A New Andean Section and New Species. Systematic Botany, Vol. 15, No. 4 pp. 617-634

Judziewicz, E; Clark, L; Londoño, X; Stem, M. 1999. Washington, US. American Bamboos. Smithsonian Institution Press. 392 p.

Lizarazu, M; de Rúgolo, Z; Vega, A. 2013. A New Species of Guadua (Poaceae, Bambusoideae, Bambuseae) and Synopsis of the Genus in Argentina and Neighboring Regions. Systematic Botany 38(4): pp. 1062–1075.

Londoño, X. 2013. Dos Nuevas Especies de Guadua para el Perú (POACEA: BAMBUSOIDEA: BAMBUSEAE: GUADUINAE). J. Bot. Res. Inst. Texas 7(1): 145 – 153.

Killeen, T. J. 1990. The grasses of Chiquitania, Santa Cruz, Bolivia. Ann. Missouri Bot. Gard. 77(1): 125–201.

VII. ANEXOS

7.1. Certificado de Identificación de Especie

El certificado de identificación y el depósito de la colecta se adjuntan a este documento.

7.2. Fotos de Expediciones y Colectas



Ilustración 4. Hoja caulinar y Detalle del nudo de G. superba



Ilustración 5. Culmos de G. superba





Ilustración 6. Hojas con fimbrias y culmo casi sólido de G. superba



Ilustración 7. G. lynnclarkiae. Hoja caulinar y culmos

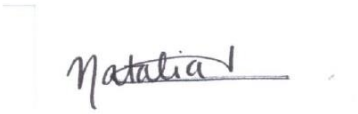


Ilustración 8. Chusquea sect. longiprophyllae prob. sp. nov 1



Ilustración 9. chusquea prob. sp. nov 2. Prensado de hojas

Es todo cuanto informo a usted para conocimiento y demás fines.
Atentamente



.....
Ing. M.Sc. Natalia Reátegui Echeverri
Consultora