**UNIVERSIDAD NACIONAL INTERCULTURAL DE LA AMAZONÍA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS AMBIENTALES**

**CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROFORESTAL ACUÍCOLA**

# CARACTERIZACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS EN TRES NIVELES DE ALTURA DEL CULMO VERDE Y MADURO *Bambusa vulgaris* Var. Vittata (BAMBÚ), YARINACOCHA- UCAYALI.

*Tesis para optar el título profesional de*

*Ingeniero Agroforestal Acuícola*

Presentado por:

JAVIER AUGUSTO CASTAGNE DEL AGUILA

**Yarinacocha – Perú**

**2025**

# ACTA DE CALIFICACIÓN DE LA SUSTENTACIÓN DE LA TESIS

# CONSTANCIA ANTIPLAGIO TURNITIN

## DEDICATORIA

En primer lugar, agradecer a Dios, por brindarme salud y sabiduría para poder terminar mi carrera universitaria y gracias por iluminarme mi camino, por darme fuerzas y entender que el querer es poder que lo posible está hecho y lo imposible lo haremos.

En memoria a mis amados padres Juan Castagne Castro y Maritza Del Aguila Meléndez de Castagne, gracias por guiarme en la vida y darme siempre su apoyo incondicional, hoy no están a mi lado, pero donde estén siempre guiaran mis pasos, que Dios les tenga en su infinita gloria, gracias por la vida que me dieron y por la paciencia que siempre me tuvieron, jamás perdieron la esperanza y creyeron en mí siempre. Los amo.

A mis hermanos Freddy, Leandro, Yumi y Justo Romario por su apoyo incondicional.

A mi amada esposa Wendy Sivelly Romero Contreras y a mis amados hijos Logan Gael Castagne Romero y Juan Víctor Castagne Romero, gracias por ser mis soporte emocional e incondicional, los amo mi amada familia.

## AGRADECIMIENTOS

Mi más sincero agradecimiento a la Universidad Nacional Intercultural de la Amazonia, por darme esa oportunidad de formarme como un profesional útil a la nación y a las personas que han colaborado para la culminación del presente trabajo de tesis.

A la Facultad de Ingeniería y Ciencias Ambientales y un especial reconocimiento al Departamento Académico Agroforestal Acuícola, que me albergo en sus aulas durante el periodo de formación profesional que será inolvidables en el recuerdo.

A los profesores del Departamento académico Agroforestal Acuícola que me trasmitieron sus sabios conocimientos y experiencias ya vividas por ellos y darnos esos valores para nuestra nueva vida profesional, gracias maestros.

Al Ing. Mg. José Sánchez Choy y al Ing. M. Sc. Robert Pecho de la Cruz. Asesores de esta tesis por las orientaciones y horas dedicadas a la revisión de este escrito.

Ing. M. Sc. David Gerardo Lluncor Mendoza, que Dios te tenga en su infinita gloria. A mis amigos. Marco, Victoria y a Leydi que me apoyaron en la fase de campo. Y todas las personas que me apoyaron incondicionalmente para poder concluir este proyecto.

# ÍNDICE GENERAL

Pág.

**RESUMEN** ... 10
**ABSTRACT** ... 11
**I. INTRODUCCIÓN** ... 12
**1.1. Objetivo general.** ... 13
**1.2. Objetivos específicos.** ... 14
**II. REVISIÓN DE LITERATURA** ... 15
**2.1. Antecedentes de la investigación.** ... 15
**Tabla 1.** Promedio de CH en culmos de Guadua. ... 15
**Tabla 2.** Análisis de la composición lignocelulósico del bambú Guadua angustifolia Kunth.. 23
**2.2. Bases teóricas** ... 23
**2.2.1. El bambú** ... 23
**2.2.2. Taxonomía** ... 25
**2.2.3. Propiedades físicas del bambú** ... 26
**III. MÉTODOS** ... 29
**3.1. Lugar de ejecución** ... 29
**3.1.1. Zona de vida** ... 29
**Tabla 3.** Zona de Vida registrada para Yarinacocha.. ... 29
**3.2. Tipo y nivel de investigación** ... 29
**3.2.1. Tipo** ... 29
**3.2.2. Nivel** ... 29
**3.3. Ubicación de la especie** ... 30
**3.4. Identificación botánica** ... 30
**3.5. Selección y extracción de la muestra** ... 30
**3.6. Preparación de las probetas** ... 31
**Tabla 4.** Total, de probetas en dos estados de madurez y nivel de altura de los culmos ... 31
Fuente: Elaboración propia ... 31
**3.7. Codificación de las probetas** ... 31
**Tabla 5.** Codificación de las probetas por mata, nivel y estado de madurez por su orientación. ... 32
**Fuente:** Elaboración propia. ... 32
**3.8. Determinación de las propiedades físicas** ... 32
**3.8.1. Determinación del contenido de humedad** ... 32
**3.8.2. Determinación de la densidad** ... 33
**3.8.3. Determinación de la contracción** ... 34

**Figura 01.** Dirección de las caras tangencial, radial y longitudinal. ..... 35

**3.9. Diseño experimental** ..... 36

**Tabla 6.** Factores y niveles en estudio; estado de madurez(a) y nivel (b). ..... 36

**Tabla 7.** Esquema del análisis de varianza (ANVA). ..... 36

**IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN** ..... 38

**4.1. Contenido de humedad en los culmos de *Bambusa vulgaris* var. vitatta, en dos estados madurez (verde y maduro) y niveles de altura (base, medio y ápice)** ... 38

**Tabla 8.** Contenido de humedad en los culmos de ***bambusa vulgaris*** var. vitatta, en dos estados madurez y tres niveles de altura. ..... 38

**Tabla 9.** Análisis de Varianza del porcentaje del contenido de humedad en relación al estado de madurez y niveles. ..... 38

**Figura 02.** Porcentaje del contenido de humedad en relación al estado de madurez y nivel. ..... 39

**Tabla 10.** Prueba Tukey para el porcentaje de humedad. ..... 39

**Tabla 11.** Prueba Tukey para el porcentaje de humedad en relación al nivel. ..... 40

**4.2. Densidad saturada, básica y anhidra de los culmos de *bambusa vulgaris* var. vitatta, en dos estados madurez (verde y maduro) y niveles de altura (base, medio y ápice)** 41

**Tabla 12.** Promedio de la densidad saturada, básica y anhidra en los culmos de ***bambusa vulgaris*** var. vitatta, según estados madurez y niveles de altura. ..... 41

**4.2.1. Densidad saturada** ..... 42

**Tabla 13.** ANOVA para la densidad saturada ..... 42

**Figura 03.** Interacción para densidad saturada en relación al estado de madurez y nivel. ... 42

**Tabla 14.** Prueba Tukey para densidad saturada en relación al estado de madurez. ..... 43

**Tabla 15.** Prueba Tukey y una confianza de 95% para densidad saturada en relación al nivel. ..... 43

**4.2.2. Densidad básica** ..... 44

**Tabla 16.** ANOVA de la densidad básica relacionando el estado de madurez y nivel g/cm$^3$. 44

**Figura 04.** Gráfico de interacción para densidad básica en relación al estado de madurez y nivel. ..... 44

**Tabla 17.** Prueba Tukey para densidad básica en relación al estado de madurez. ..... 45

**Tabla 18.** Prueba Tukey para densidad básica en relación al nivel ..... 45

..... 45

**4.2.3. Densidad anhidra** ..... 46

**Tabla 19.** Análisis de Varianza de la densidad anhidra relacionando el estado de madurez y nivel. ..... 46

**Figura 05.** Interacción para densidad anhidra en relación al estado de madurez y nivel. ..... 47

**Tabla 20.** Prueba Tukey para densidad anhidra en relación al estado de madurez. ..... 47

**Tabla 21.** Prueba Tukey para densidad anhidra en relación al nivel. ..... 47

**4.3. Determinación de las contracciones: tangencial, radial, longitudinal volumétrica de *bambusa vulgaris* Var. Vitatta a tres niveles y dos estados de madurez** ..... 48

**Tabla 22.** Promedio de la contracción tangencial, radial, longitudinal y volumétrica en los culmos de ***bambusa vulgaris*** var. vitatta, en dos estados madurez y niveles de altura. ..... 48

**4.3.1. Contracción tangencial** ..... 48

**Tabla 23.** ANOVA de la contracción tangencial en relación al estado de madurez y nivel..... 48

**Figura 06.** Interacción para contracción tangencial en relación al estado de madurez y nivel. ..... 49

**Tabla 24.** Prueba Tukey para contracción tangencial en relación al estado de madurez. ..... 49

**Tabla 25.** Prueba Tukey para contracción tangencia en relación al nivel. ..... 50

**4.3.2. Contracción radial** ..... 50

**Tabla 26.** ANOVA de contracción radial relacionando el estado de madurez y nivel. ..... 50

**Figura 07.** Interacción para contracción radial en relación al estado de madurez y nivel. .... 51

**Tabla 27.** Prueba Tukey para contracción radial en relación al estado de madurez. ..... 51

**Tabla 28.** Prueba de Tukey para contracción radial en relación al nivel. ..... 52

**4.3.3. Contracción longitudinal** ..... 52

**Tabla 29.** ANOVA de contracción longitudinal relacionando el estado de madurez y nivel ... 52

..... 52

**Figura 08.** Interacción para contracción longitudinal en relación al estado de madurez y nivel. ..... 53

**Tabla 30.** Prueba Tukey para contracción longitudinal en relación al estado de madurez. ... 53

**Tabla 31.** Prueba Tukey para contracción longitudinal en relación al nivel. ..... 53

**4.3.4. Contracción volumétrica.** ..... 54

**Tabla 32.** ANOVA de contracción volumétrica relacionando el estado de madurez y el nivel. ..... 54

**Figura 09.** Interacción para contracción volumétrica en relación al estado de madurez y nivel. ..... 54

**Tabla 33.** Prueba Tukey para contracción volumétrica en relación al estado de madurez. ... 55

**Tabla 34.** Prueba Tukey para contracción volumétrica en relación al nivel. ..... 55

**V. CONCLUSIONES** ..... 56

**VI. RECOMENDACIONES** ..... 57

**VII. BIBLIOGRAFIA** ..... 58

**VIII. ANEXOS** ..... 62

**Anexo 1.** Certificado de acreditación de ***Bambusa vulgaris*** var. vittata. ..... 62

**Anexo 2.** Mapa de la ubicación de las cinco matas de bambús dentro del campus de la UNIA. ..... 63

**Anexo 3.** Datos para el análisis de varianza para las diferentes variables ***Bambusa vulgaris*** Var. Vittata. ..... 64

**Anexo 4.** Datos de promedios para las diferentes variables ***Bambusa vulgaris*** Var. Vittata. ..... 66

**Anexo 5.** Ubicación e Identificación de la especie. ..... 69

**Anexo 6.** Selección y colección de los culmos verdes y maduro. ..... 69

**Anexo 7.** Seccionamiento en tres partes (Base, Medio y Ápice) y obtención de las probetas de los culmos en estado verde y maduro. ..... 70

**Anexo 8.** Codificado de probetas de los culmos en estado verde y maduro. ..... 70

# ÍNDICE DE TABLAS

Pág.

**Tabla 1.** Promedio de CH en culmos de Guadua. ..... 15
**Tabla 2. :** Análisis de la composición lignocelulósico del bambú Guadua angustifolia Kunth. ……23
**Tabla 3. :** Zona registrada para el distrito de Yarinacocha……29
**Tabla 4.** Total de probetas en dos estados de madurez y nivel de altura de los culmos..... 31
**Tabla 5.** Codificación de las probetas por mata, nivel y estado de madurez por su orientación. ..... 32
**Tabla 6.** Factores y niveles en estudio; estado de madurez(a) y nivel (b). ..... 36
**Tabla 7.** Esquema del análisis de varianza (ANVA). ..... 36
**Tabla 8.** Contenido de humedad en los culmos de ***bambusa vulgaris*** var. vitatta, en dos estados madurez y niveles de altura. ..... 38
**Tabla 9.** Análisis de Varianza del porcentaje del contenido de humedad en relación al estado de madurez y niveles. ..... 388
**Tabla 10.** Información agrupada utilizando el método de Tukey y una confianza de 95% para el porcentaje de humedad en relación al estado de madurez. ..... 399
**Tabla 11.** Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95% para el porcentaje de humedad en relación al nivel. ..... 40
**Tabla 12.** Promedio de la densidad saturada, básica y anhidra en los culmos de ***bambusa vulgaris*** var. vitatta, en dos estados madurez y niveles de altura. ..... 41
**Tabla 13.** Análisis de Varianza de la densidad saturada relacionando el estado de madurez y nivel. ..... 42
**Tabla 14.** Información agrupada utilizando el método de Tukey y una confianza de 95% para densidad saturada en relación al estado de madurez. ..... 43
**Tabla 15.** Información agrupada utilizando el método de Tukey y una confianza de 95% para densidad saturada en relación al nivel. ..... 43
**Tabla 16.** Análisis de Varianza de la densidad básica relacionando el estado de madurez y nivel. ..... 44
**Tabla 17.** Información agrupada utilizando el método de Tukey y una confianza de 95% para densidad básica en relación al estado de madurez. ..... 45
**Tabla 18.** Información agrupada utilizando el método de Tukey y una confianza de 95% para densidad básica en relación al nivel. ..... 455
**Tabla 19.** Análisis de Varianza de la densidad anhidra relacionando el estado de madurez y nivel. ..... 46
**Tabla 20.** Información agrupada utilizando el método de Tukey y una confianza de 95% para densidad anhidra en relación al estado de madurez. ..... 477

**Tabla 21.** Información agrupada utilizando el método de Tukey y una confianza de 95% para densidad anhidra en relación al nivel. ..... 477
**Tabla 22.** Promedio de la contracción tangencial, radial, longitudinal y volumétrica en los culmos de ***bambusa vulgaris*** var. vitatta, en dos estados madurez y niveles de altura. ..... 48
**Tabla 23.** Análisis de Varianza de la contracción tangencial en relación al estado de madurez y nivel. ..... 488
**Tabla 24.** Información agrupada utilizando el método de Tukey y una confianza de 95% para contracción tangencial en relación al estado de madurez. ..... 499
**Tabla 25.** Información agrupada utilizando el método de Tukey y una confianza de 95% para contracción tangencia en relación al nivel. ..... 50
**Tabla 26.** Análisis de Varianza de contracción radial relacionando el estado de madurez y nivel. ..... 50
**Tabla 27.** Información agrupada utilizando el método de Tukey y una confianza de 95% para contracción radial en relación al estado de madurez. ..... 51
**Tabla 28.** Información agrupada utilizando el método de Tukey y una confianza de 95% para contracción radial en relación al nivel. ..... 52
**Tabla 29.** Análisis de Varianza de contracción longitudinal relacionando el estado de madurez y nivel. ..... 52
**Tabla 30.** Información agrupada utilizando el método de Tukey y una confianza de 95% para contracción longitudinal en relación al estado de madurez. ..... 53
**Tabla 31.** Información agrupada utilizando el método de Tukey y una confianza de 95% para contracción longitudinal en relación al nivel. ..... 53
**Tabla 32.** Análisis de Varianza de contracción volumétrica relacionando el estado de madurez y el nivel. ..... 54
**Tabla 33.** Información agrupada utilizando el método de Tukey y una confianza de 95% para contracción volumétrica en relación al estado de madurez. ..... 55
**Tabla 34.** Información agrupada utilizando el método de Tukey y una confianza de 95% para contracción volumétrica en relación al nivel. ..... 555

# ÍNDICE DE FIGURAS

Pág.

**Figura 01.** Dirección de las caras tangencial, radial y longitudinal. ..... 355
**Figura 02.** Gráfico de interacción para el porcentaje del contenido de humedad en relación al estado de madurez y nivel. ..... 399
**Figura 03.** Gráfico de interacción para densidad saturada en relación al estado de madurez y nivel. ..... 42
**Figura 04.** Gráfico de interacción para densidad básica en relación al estado de madurez y nivel. ..... 44
**Figura 05.** Gráfico de interacción para densidad anhidra en relación al estado de madurez y nivel. ..... 477
**Figura 06.** Gráfico de interacción para contracción tangencial en relación al estado de madurez y nivel. ..... 499
**Figura 07.** Gráfico de interacción para contracción radial en relación al estado de madurez y nivel. ..... 51
**Figura 08.** Gráfico de interacción para contracción longitudinal en relación al estado de madurez y nivel. ..... 53
**Figura 09.** Gráfico de interacción para contracción volumétrica en relación al estado de madurez y nivel. ..... 54

## RESUMEN

Se determinó la influencia del estado de madurez y la altura del culmo en las propiedades físicas de ***Bambusa vulgaris*** var. vittata, realizado en el interior del campus de la Universidad Nacional Intercultural de la Amazonía, utilizando cinco matas, seleccionando dos culmos de cada uno, siendo un total de 10 culmos (5 verdes y 5 maduros); el diseño EXPERIMENTAL fue BLOQUE COMPLETO AL AZAR CON arreglo factorial 2 (A) x 3 (B) (Factor A: Estados de madurez. y Factor B: Niveles de altura del culmo), con cinco repeticiones. Los resultados concluyen que el mayor contenido de humedad de los culmos de ***Bambusa vulgaris*** var. vittata en estado verde fue de 105.39% en promedio y con respecto al nivel de altura en la base fue de 110.76%. La mayor densidad saturada estado maduro 1.2 g/cm$^3$, mientras en nivel de altura se realizó en la base, medio y ápice 1.0 g/cm$^3$; densidad básica se obtuvo en estado maduro 0.56 g/cm$^3$, además en nivel de altura fue en el ápice 0.56 g/cm$^3$; y densidad anhidra en estado maduro 0.73 g/cm$^3$, así mismo en nivel de altura, el medio 0.64 g/cm$^3$. La mayor contracción tangencial en estado verde 14.56%, mientras en nivel de altura la base fue de 16.22%; la mayor contracción radial se dio en el estado verde 18.90%, además en nivel de altura es en la base 19.83%; la mayor contracción longitudinal estado verde 0.22%, así mismo en nivel de altura se obtuvo en la base 0.28%; y la mayor contracción volumétrica para el estado verde 34.16%, mientras en nivel de altura en la base 32.54%.



Palabras clave: Bambusa vulgaris Var Vittata, contenido de humedad, densidad saturada y básica, contracción longitudinal, radial y tangencial.

**ABSTRACT**

The influence of the state of maturity and the height of the culm on the physical properties of ***Bambusa vulgaris*** var. Vittata., using bushes of ***Bambusa vulgaris*** var. Vittata, using 5 bushes, where two culms were selected, with a total of 10 culms (5 green and 5 mature); The design was experimental with DBCA of a 2 (A) x 3 (B) factorial arrangement (Factor A: States of maturity and Factor B: Height levels), with five repetitions; The results conclude that the higher moisture content of the culms of Bambusa vulgaris var. Vittata in the green state was 105.39% and with respect to the height level it was in the base 110.76%. The highest saturated density was 1.2 g/cm$^3$ in the mature state, while at the height level it was at the base, middle and apex 1.0 g/cm$^3$; basic density was 0.56 g/cm$^3$ in the mature state, and at height level it was 0.56 g/cm$^3$ at the apex; and anhydrous density was 0.73 g/cm$^3$ in the mature state, likewise at height level it was 0.64 g/cm$^3$ in the medium. The greatest tangential contraction was green state 14.56%, while at the height level it was at the base 16.22%; The greatest radial contraction was in the green state 18.90%, also at the height level it was at the base 19.83%; The greatest longitudinal contraction was in the green state 0.22%, likewise in height level it was at the base 0.28%; and the greatest volumetric contraction was in the green state 34.16%, while in the height level it was at the base 32.54%.

Keywords: Bambusa vulgaris Var Vittata, moisture content, saturated and basic density, longitudinal, radial and tangential contraction.

# I. INTRODUCCIÓN

El bambú es un recurso forestal no maderable con una amplia gama de usos debido a sus propiedades y características versátiles. Puede ser aprovechado de múltiples formas, desde el uso como alimento para consumo humano y animal, bebidas, vestimenta, medicina, carbón, papel, jabones, productos de limpieza, maquillaje, artesanías, instrumentos musicales, mobiliario, laminados, hasta su aplicación como material de construcción, entre otros.

El bambú, como material constructivo, posee excelentes propiedades físico-mecánicas. Ofrece resistencia, durabilidad, flexibilidad, estabilidad y representa una alternativa destacada para la construcción de casas, vigas, muros, vallas, techos, andamios, entre otros elementos estructurales. Su versatilidad y robustez lo posicionan como una opción atractiva y sostenible en diversas industrias, contribuyendo así a la expansión de sus aplicaciones en el ámbito industrial y arquitectónico.

El bambú está cobrando cada vez más protagonismo debido a sus cualidades como recurso ecológico, económico y sostenible. A pesar de ser un excelente recurso amigable con el medio ambiente, rentable y con grandes beneficios, sigue siendo relativamente desconocido y en muchos lugares es considerado como un material para poblaciones de escasos recursos.

En Perú, los bambúes se encuentran distribuidos prácticamente en todo el territorio nacional. La adaptabilidad de estas plantas y la diversidad de ecosistemas, especialmente en los bosques húmedos de montaña de los Andes tropicales, permiten la existencia de numerosas especies aún por identificar.

Particularmente, en el sureste de la Amazonía, en los departamentos de Ucayali, Madre de Dios, Cusco y Junín, se extienden grandes áreas de bosques naturales con bambú. Según datos oficiales del INRENA, estas áreas comprenden aproximadamente 39,978 km2, siendo especies dominantes *Guadua angustifolia, G. sarcocarpa, G. superba, G. chacoensis y G. paniculata* (Lodoño, 2002). Sin embargo, informes recientes indican densidades que oscilan entre el 30% y el 70%.

Los bambúes, es un material versátil dado que posee múltiples usos y facilidad de trans- formación en diferentes productos; ha sido usado en nuestro país desde épocas ancestrales para la elaboración de instrumentos, muebles y en la construcción, en la actualidad y por el desarrollo de nuevas tecnologías (Gonzales, 2018).

Este material poroso de origen vegetal, el bambú, presenta fibras dispuestas axial y longitudinalmente, siendo anisotrópico en sus propiedades físicas, mecánicas y de trabajabilidad. Sus dimensiones pueden cambiar debido a la expansión térmica y al cambio de volumen por la humedad, lo que lo hace comportarse de manera similar a la madera (Gonzales, 2018).

Considerando estas características, se decidió llevar a cabo un estudio específico de las propiedades físicas de ***Bambusa vulgaris*** var. vittata. Aunque existen investigaciones sobre otras especies de bambú, ninguna se ha enfocado en esta variedad particular, que presenta diámetros específicos y únicos.

Estos ensayos forman parte de una investigación realizada en la Universidad Nacional Intercultural de la Amazonia, Facultad de Ingeniería y Ciencias Ambientales, que incluyó la colecta de muestras. Este estudio proporcionará la base necesaria para explorar aplicaciones prácticas en la industria de la construcción, tanto en elementos estructurales como en accesorios de viviendas.

Para llevar a cabo la investigación, se extrajeron diez cúmulos de cinco matas distribuidas dentro del campus UNIA, siguiendo la Norma Técnica para madera (NTP 251.008:1980). Las probetas se elaboraron conforme a la norma ASTM D 2395-02, y los cálculos se realizaron utilizando las fórmulas descritas en la norma ASTM D 143-94.

El objetivo general de esta investigación es determinar las propiedades físicas de la especie ***Bambusa vulgaris*** var. vittata en el campus de la Universidad Nacional Intercultural de la Amazonia (UNIA) ubicado en el departamento Ucayali, provincia de Coronel Portillo, distrito de Yarinacocha. Este estudio se llevará a cabo en tres niveles de altura (base, medio y ápice) y dos estados de madurez (verde y maduro). Los ensayos físicos serán realizados en el laboratorio de Tecnología de la Madera, y las propiedades evaluadas incluirán el contenido de humedad, densidad básica saturada y anhidra, así como la contracción en dimensiones longitudinal, radial, tangencial y volumétrica. El propósito fundamental de esta investigación es aportar datos básicos esenciales que contribuyan al potencial uso de ***Bambusa vulgaris*** var. vittata como material alternativo en la industria de la construcción; en tal sentido, los objetivos de la investigación fueron:

### 1.1. Objetivo general.

- Determinar la influencia del estado de madurez y la altura del culmo en las propiedades físicas de ***Bambusa vulgaris*** var. vittata.

## 1.2. Objetivos específicos.

- Determinar las variaciones en la humedad de los culmos de ***Bambusa vulgaris*** var. vittata en diferentes etapas de madurez y niveles de altura.

- Analizar las variaciones en la densidad saturada, anhidra y básica de los culmos de ***Bambusa vulgaris*** var. vittata en relación con su estado de madurez y niveles de altura.

- Evaluar las variaciones en la contracción tangencial, radial, longitudinal y volumétrica de los culmos de ***Bambusa vulgaris*** var. vittata en función de su estado de madurez y niveles de altura.

# II. REVISIÓN DE LITERATURA

## 2.1. Antecedentes de la investigación.

Hernández y otros, (2021). Se señala que al cortar los tallos antes de que maduren, específicamente aquellos que tienen menos de dos años, presentan un alto nivel de humedad y se pliegan tras el corte, volviéndolos inservibles para la construcción.

De acuerdo a Sapaico, (2019) aporta datos promedios con respecto al contenido de humedad en las cañas de Guadua, con respecto a su estadio de madurez. La siguiente Tabla 1 muestra los valores en términos porcentuales:

**Tabla 1.** Promedio de CH en culmos de Guadua.

| Estadio inicial del culmo | | Estadio seco al aire culmo | |
|---|---|---|---|
| Verde | Maduro | Jóvenes | Maduros |
| 194 % | 86 (51 – 127) | 15 % | 13 % |

Sapaico, (2019), señala que las características físicas y mecánicas del bambú dependen del tiempo de madurez, considerándose como un aspecto fundamental que determina la calidad de la materia prima. Por ello, se observa que las cañas del Dendrocalamus asper en su etapa de madurez verde tienen una duración de entre 6 a 24 meses, y aún no presentan sus propiedades óptimas de resistencia física y mecánica; adicionalmente, durante esta fase, el contenido de humedad asciende al 100%, mostrando altos niveles de azúcares y almidones. Es importante mencionar que, en contraste con las cañas maduras, estas últimas se tardan de 4 a 5 años en alcanzar su máxima resistencia biomecánica, la cual varía según el clima y la región. Por lo tanto, esta fase es la más propicia para la recolección y uso del material, donde el contenido de humedad de las cañas fluctúa entre el 60% y el 90%.

Guzman, (2021) realizo la evaluación de las propiedades físicas de ***Dendrocalamus asper***, en tres estadios de madurez (verde, maduro, sobre maduro) y niveles de altura (base, medio, ápice), en Tingo María. En los resultados obtenidos se observó que el porcentaje de contenido de humedad saturada en los diferentes estadios de madurez fue el siguiente: en culmos verdes, 100,87%; en culmos maduros, 79,90%; y en sobre maduros, 69,15%. En cuanto a los niveles de altura, se registraron los siguientes valores: en la base, 97,88%; en el medio, 81,03%; y en el ápice, 71,00%.

La densidad saturada en las probetas extraídos de los culmos sobre maduros fue 1,18 g/cm$^3$, en culmos maduros 1,16 g/cm$^3$ y en culmos verdes, 1,15g/cm$^3$; mientras que, en los niveles de altura fue 1,17 g/cm$^3$ en el medio, 1,16 g/cm$^3$ en el ápice y 1,16 g/cm$^3$ en la base (Guzman, 2021).

En cuanto a la densidad básica, los valores obtenidos fueron de 0,71 g/cm³ en culmos sobre maduros, 0,66 g/cm³ en maduros y 0,58 g/cm³ en culmos verdes. En relación con los niveles de altura, se registraron los siguientes valores: 0,70 g/cm³ en el ápice, 0,65 g/cm³ en el medio y 0,60 g/cm³ en la base. La densidad anhidra fue 0,86 g/cm$^3$ en los culmos sobre maduros, 0,83 gcm$^3$ en los culmos maduros y 0,78 g/cm$^3$ en verde; sin embargo, en los niveles de altura fue 0,84 g/cm$^3$ en el ápice, 0,83 g/cm$^3$ en el medio y 0,80 g/cm$^3$ en la base (Guzman, 2021).

Calo, (2018) en su investigación realizó caracterización física y mecánica de tres especies de bambúes utilizad en la construcción, en lo cual se seleccionaron y cortaron 15 cañas de bambú de aproximadamente cinco metros de longitud de cada especie para una suma de 45 cañas. Los bambúes tenían una edad de entre cuatro y cinco años. En cuanto a las propiedades físicas, los resultados obtenidos indican lo siguiente: el contenido de humedad en los estadios verdes de la especie *Dendrocalamus asper* fue de 34,46% en el ápice, 42,29% en el medio y 45,48% en la base. En comparación, la especie *Guadua angustifolia* presentó un contenido de humedad de 57,90% en el ápice, 85,86% en el medio y 94,73% en la base. Por otro lado, *Guadua verticillata* mostró un contenido de humedad en estadios verdes de 37,67% en el ápice, 51,30% en el medio y 57,77% en la base. Respecto a la densidad en estadíos saturados, la especie *Dendrocalamus asper* alcanzó valores de 846,44 kg/m³ en el ápice, 857,64 kg/m³ en el medio y 890,96 kg/m³ en la base. En contraste, la especie *Guadua angustifolia* tuvo una densidad saturada de 827,47 kg/m³ en el ápice, 839,20 kg/m³ en el medio y 868,00 kg/m³ en la base. Finalmente, en *Guadua verticillata*, los valores de densidad saturada fueron de 762,05 kg/m³ en el ápice, 839,29 kg/m³ en el medio y 850,59 kg/m³ en la base. la especie que mostró el mayor índice de contracción volumétrica fue la G. Angustifolia, alcanzando un 14. 4%, debido a la cantidad de agua presente cuando estaba fresca. Por otro lado, D. Asper presentó la contracción más baja con un 3,96%. Esta especie experimentó una leve reducción en sus medidas tras el secado en comparación con las otras tres especies, esto se debe a su alta densidad.

Londoño, (2002) destaca que los bambúes, por carecer de tejido de cambium, no experimentan crecimiento secundario ni aumento de diámetro. Su crecimiento se limita

al primario y apical, donde Los entrenudos contienen células dispuestas de manera axial, mientras que los nudos permiten la conexión transversal. El tejido del culmo está formado por células parenquimatosas, haces vasculares y fibras, siendo estas últimas la base del tejido.

Las fibras, constituyendo el tejido esclerenquimatoso, constituyen entre el 40 y el 50 % del material del tallo y entre el 60 y el 70 % de su masa. La disposición interna del corte transversal de un internudo se caracteriza por la configuración, dimensiones, disposición y cantidad de los haces vasculares, en comparación con el tejido esclerenquimatoso (fibras) y el parénquima. Los haces vasculares son más pequeños y numerosos en la periferia del culmo, mientras que hacia el interior son más grandes y escasos, y su tamaño disminuye de la base hacia la punta (Lodoño, 2002).

Soler, (2017) señala que una vez que el bambú alcanza su máxima altura y comienza el proceso de lignificación, mediante el cual la planta se va lignificando paulatinamente. Este proceso, que varía en duración de 2 a 6 años según la especie, conlleva el cierre y secado de las fibras conductoras, otorgando al bambú una consistencia similar a la de la madera.

Conesa (2010) especifica que, los estudios dirigidos a ***Bambusa vulgaris*** en estadíos de desarrollo maduro rastrearon que las propiedades físicas en cuanto a contenido de humedad y densidad básica fueron: CH inicial (%) = 51,50%, mientras que el secado al aire encontró un contenido de humedad de 23,70%, la densidad básica fue de 0,53 g/cm$^3$.

Gutiérrez, (2015) menciona que, con el objetivo de determinar los esfuerzos de flexión, compresión paralela y perpendicular y de cizallamiento a tres niveles de altura (base, medio y ápice), utilizando bambú ***Guadua angustifolia*** Kunth. Los hallazgos indicaron que el cálculo del esfuerzo unitario en el límite proporcional registró una mayor variabilidad en nivel base con 48.86%; el cálculo del módulo de elasticidad registró una mayor variabilidad en nivel ápice con 44.00%; y el cálculo del esfuerzo unitario (MOR) registró una mayor variabilidad en nivel base con 55.99%. Para el cálculo del esfuerzo al límite proporcional y el cálculo del esfuerzo de rotura, se registró una mayor variabilidad en nivel base con el 68.41%; para el cálculo del módulo de elasticidad, se registró una mayor variabilidad en nivel base con el 129.01%. El nivel de variabilidad más alto fue el 53.58% en compresión perpendicular para el cálculo del esfuerzo al límite proporcional. El cálculo del esfuerzo de rotura en cizallamiento mostró una mayor variabilidad en nivel base del 23.50%.

Jara, (2023) sostiene en su estudio de caracterización de las propiedades físicas del ***Dendrocalamus asper*** de dos localidades, Pueblo Nuevo y Laguna de los Milagros. Los resultados fueron los siguiente: En la zona de Pueblo Nuevo se recolectó la especie Dendrocalamus asper, la cual mostró un Porcentaje de Humedad Saturada de 78. 89%. En la zona de Laguna se estableció que este valor es de 69. 19%. Donde el Nivel-Base alcanzó el 88. 12%, el Nivel-Medio se situó en 73. 73%, y el Nivel-Ápice registró un 60. 27%. Respecto al Secado al Aire, no se observaron diferencias estadísticamente significativas en el Porcentaje de Humedad entre los diferentes Niveles de Altura del Fuste y las localidades.

Sánchez, (2018) llevó a cabo un estudio de las propiedades físico-mecánicas de la ***Guadua angustifolia*** Kunth del distrito de Socorro, Santander-Colombia, para lo cual se escogieron 12 culmos de guadua de 9,00m, cortados a 1,5 m para la parte inferior, 4,5 m para la parte central y 3,00 m para la parte superior. 3,00 m para la parte superior. Se seleccionaron muestras para evaluar la humedad, la densidad, compresión paralela a la fibra, compresión perpendicular a la fibra, corte con y sin nudo, tensión paralela a la fibra y flexión, siguiendo los métodos que establece la NTC 5525. En cuanto al contenido de humedad CH de los culmos obtenidos en Socorro Santander, se encontró que las muestras con menor humedad tenían un 41,75% en flexión, mientras que las que se probaron para tensión paralela mostraron el contenido de humedad más alto, siendo un 126,78%. Esto podría explicarse porque las piezas de flexión, debido al momento de recolección de cada prueba y su tamaño, podrían haber perdido humedad al estar en contacto con el ambiente; por lo tanto, es posible que necesiten un período adicional de tiempo, al menos unos catorce días, para que el agua se absorba en los entrenudos y alcance el nivel de saturación del material. En lo que respecta a los resultados de densidad, se observó que la sección con mayor densidad fue la parte superior, con 551,98 kg/m3, mientras que la sección con menor densidad resultó ser la central, con 522,58 kg/m3. El valor promedio registrado en este estudio fue de 545,98 kg/$m^3$ (Sánchez, 2018).

La densidad, definida como la masa por unidad de volumen (Montoya & Orozco, 2018), es una característica que algunos investigadores asocian con la estructura anatómica, la cantidad y distribución de fibras en los haces vasculares, el diámetro del culmo y la pared celular, y también se conoce como gravedad específica. Este parámetro tiene un rango de valores que varía entre 0,5 y 0,9 gr/$cm^3$. En la estructura del culmo, la densidad aumenta desde la capa interna hacia la periférica y de la base al ápice, debido al incremento del porcentaje de fibras. Así, las partes más resistentes del culmo son la superficie externa y la copa. Por otro lado, Hernández (2019) estudió el estadio

de madurez de Guadua angustifolia a través de sus propiedades físico-mecánicas, analizando ejemplares de 2, 4 y 6 años de edad. Los resultados obtenidos para la densidad básica mostraron un aumento desde la base hacia la parte superior, con valores de 0,438 g/cm³ a 0,567 g/cm³ en culmos de 2 años, de 0,501 g/cm³ a 0,615 g/cm³ en culmos de 4 años, y de 0,462 g/cm³ a 0,612 g/cm³ en culmos de 6 años. Se encontraron diferencias significativas en el segmento superior en comparación con los dos segmentos inferiores, con un comportamiento similar en las tres edades. Además, se observó que no existen diferencias significativas entre la densidad del bambú y su grosor en las distintas edades, aunque sí se registraron diferencias numéricas.

Osorio, (2006) determinó que, la densidad en los bambúes varía entre 0,5 y 0,9 gr/cm$^3$, donde la especie y el lugar proveniente donde se extrae la muestra son factores que influyen en la densidad.

Duque y otros, (2010) Se ha observado que diversas características del bambú son influenciadas por la edad del culmo al momento de la recolección; entre estas se encuentran la densidad, el contenido de humedad, la resistencia y el módulo de elasticidad. Muchas de estas características alcanzan su nivel más alto a una edad específica, según la especie, para luego descender nuevamente si los tallos no son recolectados. Según Liese, (1998) señala que un culmo está compuesto por un 52% de tejido parenquimatoso, un 40% de fibras y un 8% de tejido vascular; estos porcentajes pueden variar según la especie. En el caso de G. angustifolia, la composición es de: 51% parénquima, 40% fibras y 9% tejido vascular.

Liese & Kohl, (2015) señalan que la expansión o contracción aparente de las cañas de bambú en sentido radial es moderadamente mayor, siendo en algunos casos muy similar a la contracción en sentido tangencial. Esto se debe a dos factores principales: en primer lugar, el bambú carece de células orientadas radialmente a diferencia de la madera, lo que restringe la reducción en la dirección radial; en segundo lugar, al secarse o humedecerse los tubos de los culmos, la circulación del agua ocurre radialmente a través de los espacios, lo que produce principalmente la inestabilidad dimensional en la dirección radial. Al cosechar culmos que todavía son jóvenes, es decir, con menos de dos años, presentan un alto nivel de humedad y se deforman tras la recolección.

Por otro lado, Hidalgo, (1974) indica que, en el bambú, las células del parénquima están presentes en mayor proporción que las fibras, a diferencia de lo que sucede en la madera. La contracción inicia por debajo del nivel de saturación de las fibras,

impactando tanto su tamaño como el grosor de la pared. Debido a las variaciones en su estructura, densidad y características anatómicas, así como en su grosor, se presenta una notable variabilidad en la dirección tangencial desde el interior hacia el exterior de la pared. Estas diferencias generan anomalías de sequedad, como el desprendimiento y la separación. Además, cuando el bambú se somete a tratamientos de presión, su comportamiento se ve influenciado por estas características.

En relación con las cualidades del bambú, Maya y otros, (2017) Se enfocaron en las características de las cañas de Guadua según el lugar en el que se encuentran y su fase de desarrollo. (madurez).

Se tomaron muestras de las áreas del Jardín Botánico y Yarima en la provincia de Pereira, Colombia. En cuanto a la condición de madurez, se notó una mayor densidad básica en las cañas de 3 y 5 años, lo que sugiere que estas alteraciones en las propiedades físicas tienden a aumentar con el desarrollo y la edad de las cañas. (Maya y otros, 2017).

Cobos & León, (2007), indica que, durante los primeros años de vida, el tallo del bambú pasa por un ciclo de desarrollo en el que experimenta cambios significativos en su estructura. Estas modificaciones estructurales dan lugar a alteraciones en sus propiedades y en los usos para los cuales se emplea. Por ejemplo, en su etapa juvenil (año uno), el tallo tiene paredes celulares delgadas compuestas por fibras y parénquima, con bajo contenido de lignina y sin presencia de almidón. En los años posteriores, se observa un incremento en el grosor de las fibras y las células de parénquima, debido a la adición de laminillas y un proceso posterior de lignificación. Este engrosamiento de las paredes celulares puede seguir ocurriendo incluso después de 10 años de crecimiento. Además, el envejecimiento de los tallos afecta considerablemente su rendimiento funcional, como lo demuestran estudios de 1987 que revelan cambios fundamentales en la composición del tallo entre el primer y el séptimo año de vida.

Por otro lado, en relación con las fases de desarrollo o estadíos de madurez de la especie ***D. asper***, Polo & Panayfo, (2014) explican que las cañas en su fase verde, que abarca de 6 a 24 meses, no han desarrollado aún los atributos de resistencia físico-mecánica. En esta fase, el contenido de humedad llega al 100%, con una alta concentración de azúcares y almidones. En cambio, las cañas maduras necesitan entre 4 y 5 años para lograr una resistencia biomecánica más alta, la cual está

determinada por el entorno natural y las condiciones particulares del área de crecimiento. Por lo tanto, esta etapa se considera la más apropiada para el uso del material, ya que el contenido de humedad de las cañas varía entre el 60% y el 90%.

Correal & Arbelaez, (2010) llevaron a cabo una investigación sobre las propiedades mecánicas del bambú ***Guadua angustifolia*** en Colombia, considerando tanto su edad como sus niveles de altura en el árbol. Este estudio se centró en la evaluación de las propiedades mecánicas de tallos de ***Guadua angustifolia*** de entre 2 y 5 años de edad, distribuidos en varios niveles de altura, utilizando métodos de prueba estandarizados a nivel mundial (ISO 22157). Los resultados de los ensayos mostraron que la parte superior (ápice) tenía la mayor resistencia y módulo de elasticidad en comparación con los otros segmentos, debido a su mayor densidad. Además, se constató que la densidad de la Guadua angustifolia influye más en el módulo de rotura por flexión que en cualquier otra propiedad mecánica evaluada. Se determinó que el estadio maduro de la Guadua angustifolia se alcanza entre los 3 y 4 años de edad, ya que las propiedades mecánicas en estas etapas fueron las más destacadas y se mantuvieron casi estables, mientras que, a los 5 años, las propiedades mecánicas de los culmos fueron inferiores.

Por otro lado, Henao & Rodríguez, (2010) investigaron las variaciones en las propiedades físico-mecánicas de las cañas de Guadua angustifolia. Se analizaron muestras de culmos provenientes del Eje Cafetero colombiano, incluyendo cañas del Jardín Botánico de la Universidad Tecnológica de Pereira, del caserío El Bambusal y de la hacienda Nápoles, con edades entre uno y cinco años. Se realizaron pruebas de compresión, cizallamiento y dureza Brinell siguiendo las normativas ISO/TR 22157-1, ISO/TR 22157-2 y DIN EN 1534. Los resultados fueron analizados en función del estadio de madurez y la ubicación para realizar comparaciones. Se observó que los valores más altos de resistencia a la compresión y al corte se alcanzaron 5 años después de la cosecha del culmo. Además, se verificó que tanto la resistencia a la compresión como la resistencia al cizallamiento estaban vinculadas al estadio de madurez, aumentando durante los primeros años (entre uno y cinco) para luego comenzar a descender.

Lodoño, (2002), destaca que los bambúes, al carecer de tejido cambial, no experimentan crecimiento secundario ni aumento en su diámetro. Su crecimiento se limita al primario y apical, donde los entrenudos contienen células dispuestas axialmente, mientras que los nudos facilitan la interconexión transversal. El tejido del culmo está formado por células parenquimatosas de los haces vasculares y fibras,

siendo estas últimas las que constituyen el tejido principal. Las fibras, que forman el tejido esclerenquimatoso, representan entre el 40% y el 50% del tejido del culmo y entre el 60% y el 70% de su peso. La estructura anatómica del corte transversal de un entrenudo se caracteriza por la forma, tamaño, organización y número de los haces vasculares, en contraste con el tejido esclerenquimatoso (fibras) y el parenquimatoso.

Calderón & Soderstrom, (1980) señalan que las propiedades físico-mecánicas de un tallo de bambú están estrechamente correlacionadas con su estructura anatómica. Estas propiedades mecánicas, determinadas por la gravedad específica que varía de 0.5 a 0.9 g/cm$^3$, dependen del contenido de fibra, el diámetro de la fibra y el espesor de la pared.

Liese & Kohl, (2015) agregan que la distribución porcentual de las células en el culmo sigue un patrón definido tanto horizontal como verticalmente. En dirección horizontal, las células conductivas y el parénquima son más abundantes en el tercio interno de la pared. En el tercio externo, la proporción de fibras aumenta de la base hacia la punta, mientras que la cantidad de tejido de parénquima disminuye.

(Takeuchi & Cortés, 2011) mención que se encontró en las láminas una contracción longitudinal muy baja y una relación de contracción tangencial y radial cercana a 1,0 lo que le da un gran potencial para el uso en la producción de laminados.

Césare, (2019) realizó la evaluación de las propiedades físicas y químicas de la especie Guadua angustifolia obteniendo como resultado el porcentaje de contenido de lignina el 24.25 % para culmo maduros. El valor obtenido es superior al indicado por Cuellar y Muñoz (2010), quienes realizaron un análisis de culmos de la misma especie, con edades entre tres y cinco años. Además, se observa que los porcentajes de holocelulosa, celulosa y hemicelulosa son similares a los reportados por estos mismos autores. Los resultados también se encuentran dentro del rango señalado por Sánchez-Echeverri et al. (2014), quienes estudiaron cuatro culmos de bambú Guadua. Además, se compararon con los valores promedio reportados por Scurlock et al. (2000) para maderas blandas, y se constató que los resultados se ajustan a estos valores, lo que sugiere que el bambú presenta un alto porcentaje de compuestos volátiles característicos de las maderas blandas, lo cual se corrobora con los resultados del análisis elemental. En la siguiente Tabla 2 muestra los valores en términos porcentuales:

**Tabla 2:** Análisis de la composición lignocelulósico del bambú Guadua angustifolia Kunth.

| Muestras | Lignina (%) | Holocelulosa (%) | celulosa (%) | hemicelulosa (%) | Extractivos (%) | Referencias |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Bambú Guadua angustifolia K. | 24.95 | 54.67 | 44.49 | 10.18 | 6.57 | Césare et al, (2019) |
| guadua angustifolia | 21.88 | 58.88 | 47.06 | 11.82 | 6.47 | Cuellar & Muñoz (2010) |
| Bambú Guadua | 24-27 | 50-60 | 37-44 | 13-20 | | Sánchez-Echeverri et al. (2014) |
| Maderas blandas | 24-37 | 45-77 | 35-50 | 10 -40 | | Scurlock et al. (2000) |

Gonzáles et al. (2016), indica que un alto contenido de celulosa es fundamental para la producción de papel; no obstante, la lignina se localiza en la capa intermedia, lo que dificulta la obtención de la celulosa. Por ello, es necesario eliminarla mediante procesos de hidrólisis química o enzimática.

Por otro lado, Cuellar & Muñoz (2010), señala que las fibras naturales de bambú tienen un alto contenido de lignina y celulosa, lo que las convierte en un material atractivo debido a su abundancia, bajo costo y excelentes propiedades mecánicas, lo que las hace un posible sustituto parcial de las fibras sintéticas.

## 2.2. Bases teóricas

### 2.2.1. El bambú

Maita y otros, (2021). Señala que los bambúes son plantas que pertenecen a la familia de las gramíneas. Pueden ser herbáceos o leñosos, que se desarrollan en culmos anualmente, alcanzando alturas que oscilan entre 1 y 60 m, además de un grosor que puede llegar a los 30 cm en la base. Predominantemente son rectos, aunque existen algunas variedades que presentan tallos doblados en sus extremos; unas crecen en agrupaciones densas, creando barreras infranqueables, mientras que otras lo hacen de manera lineal.

Gutiérrez, (2015) manifiesta que, hoy por hoy el bambú se viene considerando como una prominente alternativa forestal sostenible; además, se ha considerado como una gran fuente tanto para la economía, sociedad y la cultura.

El bambú es considerado una de las plantas más valiosas del planeta, y su uso varía según la calidad y las propiedades de su culmo. El estudio de sus propiedades físico-

mecánicas determina su viabilidad como material principal en el diseño y fabricación de muebles. No obstante, las propiedades anatómicas son determinantes para su utilización en la pasta para papel o fibra material (Lodoño, 2002).

Rivera, (2015) determinó las propiedades mecánicas de *Bambusa vulgaris* var. *vittata* en tres niveles de altura (base, medio y ápice) y dos estados de madurez (verde y maduro), utilizando 10 culmos (5 verdes y 5 maduros) recolectados de cinco matas de bambú. Los resultados mostraron que, en compresión paralela, para el esfuerzo al límite proporcional (ELP), el culmo verde presentó un valor de 111.93 kg/cm², mientras que el culmo maduro alcanzó 250.13 kg/cm². En cuanto a los niveles de altura, se obtuvieron los siguientes valores: base 176.4 kg/cm², medio 111.9 kg/cm² y ápice 254.8 kg/cm². Respecto a la resistencia máxima, el culmo maduro tuvo un valor de 377.33 kg/cm², mientras que el culmo verde llegó a 303.47 kg/cm². Para los niveles de altura, la base presentó 409.6 kg/cm², el medio 262.3 kg/cm² y el ápice 349.3 kg/cm². En cuanto al módulo de elasticidad (MOE), el culmo verde mostró 34,880.5 kg/cm² y el culmo maduro 29,478.3 kg/cm². Para los niveles de altura, la base tuvo 21,900.8 kg/cm², el medio 29,997.8 kg/cm² y el ápice 44,639.6 kg/cm².

Asimismo, los resultados estadísticos promedios en compresión perpendicular, en el culmo maduro 52.67 kg/cm², en estado verde 15.13 kg/cm² y en los niveles de altura, para base 42.4 kg/cm², medio 23.3 kg/cm² y ápice 36.0 kg/cm²; en relación a cizallamiento, del culmo verde con 48.8 kg/cm² y maduro con 59.27 kg/cm² y en los niveles de altura para base 47.3 kg/cm², medio 56.8 kg/cm² y ápice 58 kg/cm² (Rivera, 2015).

**a. Estado de madurez**

Las características físicas y mecánicas, así como las cualidades sintéticas del bambú, experimentan alteraciones a lo largo del tiempo. Por esta razón, los aspectos químicos fluctúan en cada etapa de crecimiento del culmo. Así, el nivel de madurez se convierte en un elemento clave en los culmos de bambú, ya que facilita la comprensión de sus posibilidades para diferentes usos. Según Londoño, (2002) el culmo es la parte más valiosa del bambú y su utilización está controlada por la fase de desarrollo.

**b. Tallo tierno o verde**

La transición hacia esta etapa inicia con la pérdida de las hojas caulinares y el surgimiento de ramas basales y apicales. Las varas exhiben un tono verde vivo y presentan en sus nudos dos conjuntos blanquecinos denominados bandas nodales (Soria & Poppens, 2004). La resistencia de los tallos en esta etapa no ha llegado al

estadio ideal para su utilización, no obstante, los tallos partidos y enderezados pueden ser utilizados para hacer canastos, esteras y diferentes trabajos minuciosos (Soria & Poppens, 2004).

Cuando el tallo alcanza una edad de entre uno y tres años, ha experimentado la caída de sus hojas en las ramas y se identifica por su brillante color verde. En esta fase, el tallo es todavía excesivamente delicado para su uso en el ámbito de la construcción (Añazco & Sebastián, 2015).

**c. Tallo maduro**

Los culmos abandonan el verde deslumbrante para pasar a un verde algo más opaco debido al desarrollo de los líquenes, por lo que las bandas nodales no son tan perceptibles (Soria & Poppens, 2004).

El culmo alcanza su nivel máximo de resistencia, lo que lo hace ideal para su uso en construcción. Cuando el tallo supera los 4 años de edad, es adecuado para ser cortado y aprovechado. Se considera "maduro" y se distingue por su color verde opaco. Además, el tallo presenta manchas de líquenes en su superficie. El culmo de Bambusa vulgaris tiene una altura de aproximadamente 15 a 19 m, con entrenudos de 20 a 25 cm y nudos prominentes. Son brillantes tallos huecos amarillo con pocas franjas verdes con un diámetro entre 8 – 15 cm que varía desde la base hasta el ápice, con nudos pronunciados (Añazco & Sebastián, 2015).

Follaje ligero de color verde claro; las hojas son lineales y lanceoladas, de 8 a 20 cm de largo, dispuestas de manera alterna, con poca vellosidad. Las ramas se distribuyen desde el primer metro de la planta, naciendo por encima del nudo y presentando una forma deprimida. Flores en espiga de color crema (diámetro 4 mm); frutos en capsula ovoide de 7 mm de longitud, del mismo color, con una semilla (Añazco & Sebastián, 2015).

### 2.2.2. Taxonomía

| | | |
|---|---|---|
| Grupo | : | Angiosperma |
| Clase | : | Monocotiledónea |
| Orden | : | Poales |
| Familia | : | Poaceae |
| Sub familia | : | Bambusoideae |
| Género | : | Bambusa |
| Especie | : | vulgaris |

Variedad : Vittata

**a. Nombres comunes**

Bulohgading, AurGading, Buloh Kuning (Malasi); Bambú Kuning Indonesia); talamangsilau (Sabah; kinshichiku (Japón); Bambú Amarillo, Golden common bamboo (América); Yellow bamboo (filipinas) (Lodoño, 2002).

**b. Descripción botánica.**

Londoño (2002), menciona que se distingue al bambú por sus entrenudos de color amarillo intenso con rayas verdes desiguales. Culmos de 15 m x 5 – 12 cm, entrenudos de 20 a 25 cm, nudos pronunciados. Lamina foliar lineal-lanceolada, 20 x 1.5-4 cm. Reátegui (2009), señala que el bambú cuenta con hojas caulinares que miden 25 x 20 cm y tienen forma triangular; cuando son jóvenes, poseen el mismo tono que el culmo en la parte superior de la vaina. La lámina caulinar mide de 8 a 10 cm de largo y de 6. 5 a 7 cm de ancho, presentando en su lado inferior pelos de 2 mm. La lígula tiene forma triangular y se destaca en la parte inferior, con aurículas filamentosas que son más oscuras comparadas con el resto de la hoja. Las ramas empiezan a crecer desde el primer metro de la planta, surgiendo justo por encima del nudo y teniendo una forma deprimida.

### 2.2.3. Propiedades físicas del bambú

**a. Contenido de humedad**

Añazco & Sebastián, (2015) señala que el contenido de humedad es una característica sumamente relevante, dado que posee una considerable la importancia esta se determina por la cantidad de agua retenida en su estructura celular, especialmente en el interior de los vasos y el agua que permanece adherida a las paredes de las células.

Generalmente los tallos de esta planta joven tienden a abarcar mayor humedad que los maduros, por ende, se estima que estos tallos jóvenes tienen un contenido de humedad de 100%, sin embargo, los tallos maduros oscilan entre 60 y 90% (Añazco & Sebastián, 2015).

Estacio, (2013) menciona que, si deseamos usar los culmos de bambú como elementos estructurales para construcción o edificación se debe conocer el contenido de humedad (CH) ya que es un valor muy importante. Con respecto al contenido humedad de los bambúes es importante recalcar:

- Se clasifica como un material que absorbe la humedad, donde el nivel de humedad está relacionado con el entorno al que se expone.
- Si buscamos mantener el nivel de humedad entre 10 y 25%, no debe estar en contacto con agua ni en un lugar húmedo, ya que la humedad relativa y la temperatura del entorno influirán en él. En este caso, los niveles de humedad son significativamente más bajos que inmediatamente después de ser cortado. El secado natural, resultado de la temperatura ambiental, disminuye la cantidad de humedad que el bambú retiene.
- Las propiedades de contracción y expansión dependen de las fluctuaciones en el nivel de humedad.
- Para manejar y transportar este material, es necesario realizar un secado, ya que esto facilitará el proceso. Un alto nivel de humedad puede llevar al bambú a sufrir daños debido a insectos y hongos.

Sin embargo; Cobos & León, (2007) menciona que, el contenido de humedad en culmos de Guadua reduce con la altura y con la edad. La época del año es crucial debido a sus fluctuaciones; durante los períodos de sequía la humedad será menor, mientras que durante los períodos de lluvia aumentará la humedad.

Rijo y otros, (1987). Un contenido de humedad (CH) de 135 % para Chusquea culeou y un contenido de humedad (CH) de 199% para Chusquea quilla en la sección nodal e intermodal, según un estudio realizado para determinar sus propiedades tecnológicas fundamentales. Se observa una disminución del contenido de humedad en el culmo para estas dos especies. En cuanto a la densidad básica, ambas especies tuvieron resultados promedio más altos en el nodo que en el internudo, lo que indica una tendencia a aumentar la densidad básica con la talla del culmo.

**b. Densidad**

Si definimos la densidad en términos generales, viene a hacer la proporción que hay con respecto a la masa y el volumen que ocupa un cuerpo (Estacio, 2013).

El peso del material consiste en la suma del peso de la fracción sólida y el peso del agua presente en sus espacios internos. La densidad básica es la que se emplea con mayor frecuencia, ya que las condiciones que considera (peso seco al horno y volumen húmedo) son constantes en una especie específica. La densidad de la parte sólida tiene un valor cercano a 1,56 g/cm3, con ligeras diferencias entre especies. Para especies como Guadua la densidad básica varía desde 0,5 g/cm$^3$ a 0,9 g/cm$^3$, desde la base hacia el ápice, respectivamente (Estacio, 2013).

**c. Contracción.**

Ángeles, (2014), indica con respecto al hinchamiento de la *Guadua* se origina cuando esta gana humedad. El volumen aumenta poco en el sentido axial o de las fibras una vez inmerso, y en el sentido perpendicular, de un 2,5% al 6%. Sin embargo, el aumento en peso es del 50 al 150%. El tallo de Guadua aumenta su volumen hasta que alcanza el punto de saturación, que es entre el 20 y el 25 por ciento de agua. Después de este punto, su volumen no cambiará, aunque siga ganando o absorbiendo agua. Sin embargo, es crucial el cambio en el tamaño de las pizas que están expuestas a fluctuaciones de sequedad y humedad, lo que permite que se produzcan empujes. Si se utiliza para labores, no arriesguen la misma.

# III. MÉTODOS

## 3.1. Lugar de ejecución

El presente trabajo de investigación se llevó a cabo en el laboratorio de Anatomía de la Madera de la carrera profesional de ingeniería Agroforestal Acuícola de la Facultad de ingeniería y Ciencias Ambientales de la Universidad Nacional Intercultural de la Amazonia (UNIA), Ubicado en la carretera San José Km 0.5 (18 L 544887 m E 9077263 m S). Distrito de Yarinacocha, Región Ucayali.

### 3.1.1. Zona de vida.

La Universidad Nacional Intercultural de la Amazonia está ubicada en el distrito de Yarinacocha, en una zona de vida (cuadro 1) de acuerdo con la clasificación de Leslie Holdridge, presentada por el INRENA (1995). Es lo siguiente.

**Tabla 3**. Zona de Vida registrada para Yarinacocha.

| Zona de vida natural | Simbología | Altitud (m.s.n.m) | Clima | Características principales |
|---|---|---|---|---|
| Bosque Húmedo – Tropical Transicional o Bosque Húmedo-Premontado Tropical | Bh - PT | Menor a 350 | Húmedo y cálido | Biotemperatura media anual máxima de 25ºC y media anual mínima de 17ºC; promedio máximo de precipitación total/año 1968 mm y promedio mínimo de 936 mm. Relieve topográfico varia, entre terrenos ondulados y empinados a una configuración colinosa dominante. |

Fuente: Mapa ecológico del Perú (INRENA, 1995).

## 3.2. Tipo y nivel de investigación

### 3.2.1. Tipo

Es de tipo exploratorio – descriptivo. NO ES EXPERIMENTAL

### 3.2.2. Nivel

Es de nivel exploratorio – descriptivo.

### 3.3. Ubicación de la especie

Se identificaron los puntos de ubicación de las cinco matas de ***Bambusa vulgaris*** var. Vittata dentro del Campus UNIA utilizando GPS (ver anexo 05).

### 3.4. Identificación botánica

Se tomaron cinco muestras de estructuras morfológicas diferentes, como culmos, hojas, hojas caulinares, ramas y raíces, y se roció la solución FAA: (un 25% de formol, un 25% de alcohol de 96% y un 50% de agua).

Después, las cinco muestras se prenso con cartón corrugado y papel periódico, y se secaron por 72 horas en la estufa a 60 grados Celsius en el Laboratorio de Anatomía de la Madera de la Universidad Nacional Intercultural de la Amazonía – UNIA (ver anexo 05).

Por último, las muestras se montaron y enviaron a la empresa PRESER BAMBU para ser identificadas. (ver anexo 01).

### 3.5. Selección y extracción de la muestra

Se eligieron cinco matas, cada una con dos culmos, uno verde y uno maduro, totalizando 10 culmos (5 verdes y 5 maduros). Se evaluaron en términos cualitativos como el color de la corteza, la concentración de líquenes y hongos en la superficie de los entrenudos, el buen desarrollo de los culmos, rectos y sin daños patológicos.

Los culmos verdes y maduros fueron seleccionados al azar; las matas 01 y 02 fueron elegidas cerca de los laboratorios de la carrera profesional de Ingeniería Agroforestal Acuícola (zona alta y seca), la mata 03 fue elegida en la antigua garita de la UNIA (zona baja y húmeda), y las matas 04 y 05 fueron elegidas al margen de la universidad y la laguna Yarinacocha (zona rivera de la laguna). Además, se examinó el aspecto fisiográfico (altura, restinga y colinas) del campus universitario en función de la ubicación de las matas (ver anexo 02).

Previo a extraer los culmos, se evaluó el diámetro a altura del pecho (DAP) en pie para tener como referencia los diámetros de los culmos seleccionados. Luego, se orientó el norte magnético con una brújula y se marcó con un plumón indeleble cada uno de los culmos verdes y maduros. Debido a que esto provocaría la formación de hongos en ese lugar y, por lo tanto, disminuiría la calidad y cantidad de la misma, no se cortarán o incisionarán los cuerpos para marcarlos. Se utilizaron la motosierra para extraer los culmos de bambú y luego se cortaron las ramas con un serrucho de mano para evitar

dañar los culmos. Se utilizó una wincha para medir la longitud total de los culmos, el número de nudos, la circunferencia y la longitud de los internudos hasta un diámetro mínimo de 5 cm en el ápice. Seguidamente se dividió en tres partes a distancia entre tres y cuatro metros (Base, Medio y Ápice) (ver Anexo. 07). Previamente los culmos fueron secados al aire, por un periodo de dos meses.

### 3.6. Preparación de las probetas

Con el arco de sierra se cortaron las probetas de 2 centímetro de ancho x 10 cm de longitud en base a la norma ASTM D 2395- 02 y D 143-94, para la prueba de la determinación de contenido de humedad (estado verde y maduro), densidad (saturada, básica y anhidra) y contracción (longitudinal, tangencial, radial y volumétrica) las probetas se extrajeron de los niveles de altura (base, medio y ápice) y estado de madurez (verde y maduro) (ver Anexo 08).

Se obtuvo en 10 culmos (5 verdes y 5 maduros) un total de 120 probetas, 60 probetas de Culmo verde y 60 probetas de Culmo maduro según los niveles de altura (basal, medio, Ápice) para los ensayos físicos.

**Tabla 4.** Total, de probetas en dos estados de madurez y nivel de altura de los culmos

| Altura de Culmo | Estado de madurez | | N.º total/altura |
|---|---|---|---|
| | verde | maduro | |
| Base | 20 | 20 | 40 |
| Medio | 20 | 20 | 40 |
| Ápice | 20 | 20 | 40 |
| N.º total/estado de madurez | 60 | 60 | 120 |

Fuente: Elaboración propia

### 3.7. Codificación de las probetas

Se codifico las probetas de la siguiente manera: 1VB1, 1VB1, 1VB1, 1VB1, 1VM1, 1VM1, 1VM1, 1VM1…; haciendo las repeticiones de cada una de ellas enumerándole consecutivamente cada muestra.

Dónde:

**1VB1:** Mata uno, Culmo Verde, Altura de la Base, uno.

**1VB1:** Mata uno, Culmo Verde, Altura de la Base, uno.

**1VB1:** Mata uno, Culmo Verde, Altura de la Base, uno.

**1VB1:** Mata uno, Culmo Verde, Altura de la Base, uno.

**1VM1:** Mata uno, Culmo Verde, Altura Media, uno.

**1VM1:** Mata uno, Culmo Verde, Altura Media, uno.

**1VM1:** Mata uno, Culmo Verde, Altura Media, uno.

**1VM1:** Mata uno, Culmo Verde, Altura Media, uno.

**Tabla 5.** Codificación de las probetas por mata, nivel y estado de madurez por su orientación.

| Matas | Culmo verde | Culmo maduro |
|---|---|---|
| Mata 1 | 1VB | 1MB |
| | 1VM | 1MM |
| | 1VA | 1MA |
| Mata 2 | 2VB | 2MB |
| | 2VM | 2MM |
| | 2VA | 2MA |

**Fuente:** Elaboración propia.

## 3.8. Determinación de las propiedades físicas

Se determinó según la norma técnica ASTM

- Contenido de humedad: D 2395 – 02 D 143- 94
- Densidad: D 2395 – 02 D 143- 94
- Contracción: D 2395 – 02 D 143- 94

### 3.8.1. Determinación del contenido de humedad

Se llevó a cabo de acuerdo con las normas ASTM D 2395- 02 y D 143-94 para medir el contenido de humedad. Para esta prueba, las muestras se trasladaron al laboratorio y se calentaron gradualmente en la estufa durante todos los días a temperaturas que iban desde 30o, 40o, 50o y 60o hasta 100o C. Después de pasar los días y llegar a una temperatura constante de 100o C, se retiraron las muestras de la estufa y se colocaron en el desecador por 15 minutos. Después de pesar nuevamente, se obtuvieron los resultados del peso seco al horno (Psh).

Se calculó contenido de humedad en las condiciones secas y húmedas, mediante la siguiente formula:

Fórmula de contenido de humedad en base seca.

$$CH(\%) = \frac{P.h - P.s}{P.s} x100$$

CH (%) = contenido de humedad en condición húmeda (%).

P. h = peso húmedo (%).

P. s = peso seco al horno (%).

### 3.8.2. Determinación de la densidad

La densidad se calculó utilizando los estándares ASTM D 2395- 02 y D 143-94. El peso húmedo (Ph) se obtuvo después de saturar las probetas. Después, se utilizó el principio de Arquímedes para determinar el volumen húmedo (Vh) de manera indirecta, sumergiendo la probeta en un peso conocido de agua sin tocar el fondo del recipiente. Luego, se registró el aumento de peso correspondiente, que representa el volumen desplazado por la probeta. Después, se hizo un calentamiento gradual durante todo el día a 30°C, 40°C, 50°C, 60°C, 70°C, 80°C y finalmente a 108°C (+/- 2°C), manteniendo la temperatura durante 20 horas. Después, las probetas se sacaron de la estufa, se dejaron enfriar en el desecador y se pesaron.

El tratamiento se repitió hasta que las muestras alcanzaron un peso constante, o peso seco al horno (Psh). Después, las muestras fueron parafinadas para determinar el volumen seco al horno (Vsh) de manera indirecta mediante la inmersión en agua.

$$\delta sSat(g/cm^3) = \frac{\varphi. - sat(CH^o > 30\%)}{v.sat(CH^o > 30\%)}$$

$$\delta sSA(g/cm^3) = \frac{\varphi. - SA(CH^o > 30\%)}{v.SA(CH^o > 30\%)}$$

$$\delta sSH(g/cm^3) = \frac{\varphi. - SH(CH^o \approx 0\%)}{v.SH(CH^o \approx 0\%)}$$

$$\delta sBas(g/cm^3) = \frac{\varphi. - SH(CH^o \approx 0\%)}{v.Sat(CH^o > 0\%)}$$

Dónde

| | | |
|---|---|---|
| **δ. Bas** | **:** | Densidad básico |
| **δ Sat.** | **:** | Densidad Saturada |
| **δ S.A.** | **:** | Densidad seca al aire |
| **δ S.H** | **:** | Densidad Seca al horno |
| **φ. Sat.** | **:** | Peso saturado |
| **φ SA** | **:** | Peso seco al horno |
| **φ SH** | **:** | Volumen Saturado |
| **v. Sat.** | **:** | Volumen seco al aire |

**v. S.A.** : Volumen seco al horno

### 3.8.3. Determinación de la contracción

Siguiendo las normas ASTM D 2395- 02 y D 143-94, se utilizó el método para medir la contracción o el cambio dimensional en el bambú para medir esta propiedad.

Para esta prueba, se tomaron las 120 probetas y se tomaron medidas de ambas caras. El vernier se colocó en la cara radial de la cara tangencial y en la cara tangencial de la cara radial de la cara tangencial. De esta manera, se calcularon la contracción tangencial, radial y volumétrica total utilizando las fórmulas.

a. Contracción Radial

$$\beta.r(\%) = \frac{dvr(CH^{o} > 30\%) - dsr(CH^{o} \approx 0\%)}{dvr(CH^{o} > 30\%)} x100$$

b. Contracción Tangencial

$$\beta.t(\%) = \frac{dvt(CH^{o} > 30\%) - dst(CH^{o} \approx 0\%)}{dvt(CH^{o} > 30\%)} x100$$

c. Contracción Longitudinal

$$\beta.l(\%) = \frac{dvl(CH^{o} > 30\%) - dsl(CH^{o} \approx 0\%)}{dvl(CH^{o} > 30\%)} x100$$

d. Contracción volumétrica

$$\beta.v(\%) = \frac{dvv(CH^{o} > 30\%) - dsv(CH^{o} \approx 0\%)}{dvv(CH^{o} > 30\%)} x100$$

Dónde:

**d.v.r (C.H.> 30%):** Dimensión radial verde con un contenido de humedad mayor al 30%

**d.v.t (C.H.> 30%):** Dimensión tangencial verde con un contenido de humedad mayor al 30%

**d.v.l (C.H.> 30%):** Dimensión longitudinal verde con un contenido de humedad mayor al 30%

**d.v.r (C.H.> 30%):** Dimensión volumétrica verde con un contenido de humedad mayor al 30%

**d.s.r (C.H.> 30%):** Dimensión radial seca al horno con un contenido de humedad aprox al 0%

**d.s.t (C.H.> 30%):** Dimensión Tangencial seca al horno con un contenido de humedad aprox. al 0 %

**d.s.r (C.H.> 30%):** Dimensión longitudinal seca al horno con un contenido de humedad aprox. al 0 %

**d.s.r (C.H.> 30%):** Dimensión volumétrica seca al horno con un contenido de humedad aprox. al 0 %.

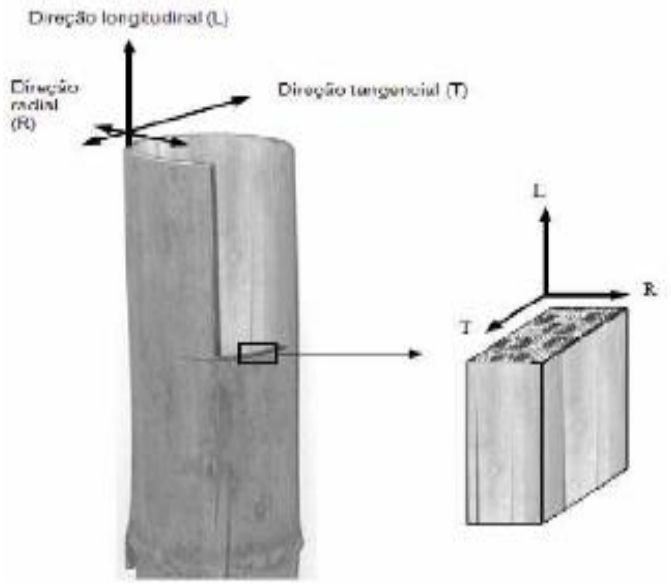



**Figura 01.** Dirección de las caras tangencial, radial y longitudinal.

### 3.9. Diseño experimental

El diseño experimental fue un DBCA con arreglo factorial 2 (A) x 3 (B) (Factor A: Estados de madurez. y Factor B: Niveles de altura), con cinco repeticiones, se utilizó el análisis de varianza para determinar si existen diferencias significativas, posteriormente se aplicó la prueba de Tukey para el nivel de significancia, utilizando el programa estadístico Minitab 18.

**Tabla 6.** Factores y niveles en estudio; estado de madurez(a) y nivel (b).

| **Estado de madurez** | Niveles | Interacción |
|---|---|---|
| Verde(a1) | Base(b1) | a1.b1 |
| | Medio(b2) | a1.b2 |
| | Ápice(b3) | a1.b3 |
| Maduro(a2) | Base(b1) | a1.b1 |
| | Medio(b2) | a1.b2 |
| | Ápice(b3) | a1.b3 |

La investigación tuvo cinco culmos de ***Bambusa vulgaris*** var. vittata, por estados de madurez, teniendo un total de 10 cañas siendo los factores independientes los estadios de madurez de las cañas (A) y niveles de altura (base, medio y ápice), y los factores dependientes el contenido de humedad, densidad (saturada, básica, anhidra), contracción (tangencial, radial, longitudinal y volumétrica).

**Tabla 7.** Esquema del análisis de varianza (ANVA).

| Fuente de Variación | Grado de libertad |
|---|---|
| Bloques (matas) | r – 1 = 4 |
| Estado de madurez (A) | a – 1 = 1 |
| Nivel de Altura (B) | b – 1 = 2 |
| Estado de madurez (A) * Niveles (B) | (a – 1) ***** (b – 1) = 2 |
| Error experimental | N-k=114 |
| Total | 120 |

El presente experimento tuvo el siguiente modelo aditivo lineal

$$Yijk = \mu + \alpha i + \beta j + (\alpha\beta)ij + \gamma k + \varepsilon ijk$$

Dónde:

Yijk = Variable de respuesta observada o medida en la ijk – ésima unidad experimental.

μ = Media general

αi = Efecto del i-ésimo nivel del factor “A”

βj = Efecto del j-ésimo nivel del factor “B”

(αβ)ij = Efecto de la interacción entre el i – ésimo nivel del factor “A” y el j – ésimo nivel del factor “B”

$\gamma k$ = Efecto del k – ésimo bloque

$\varepsilon ijkk$ = Error experimental asociado a la ijk - ésima unidad experimental

# IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

## 4.1. Contenido de humedad en los culmos de *Bambusa vulgaris* var. vitatta, en dos estados madurez (verde y maduro) y niveles de altura (base, medio y ápice)

En la Tabla 8 se observa que el culmo con mayor porcentaje de contenido de humedad, fue en estado verde y nivel base con 139.68%; mientras que el estado maduro y nivel ápice tuvo 49.97% de humedad.

**Tabla 8.** Contenido de humedad en los culmos de ***bambusa vulgaris*** var. vitatta, en dos estados madurez y tres niveles de altura.

| Estado de Madurez | Niveles | Contenido de Humedad % |
|---|---|---|
| VERDE | BASE | 139.68 |
| VERDE | MEDIO | 104.43 |
| VERDE | APICE | 72.09 |
| MADURO | BASE | 81.84 |
| MADURO | MEDIO | 59.65 |
| MADURO | APICE | 49.97 |

Así mismo, para comprobar si existe diferencia significativa entre estos valores se realizó el análisis de varianza de dos factores, mostrándose en la siguiente tabla.

**Tabla 9.** Análisis de Varianza del porcentaje del contenido de humedad en relación al estado de madurez y niveles.

| | Suma de Cuadrados | gl | Media Cuadrática | F | p |
|---|---|---|---|---|---|
| **MATA** | 3146 | 4 | 787 | 4.50 | 0.002 |
| **ESTADO MADUREZ** | 51861 | 1 | 51861 | 296.99 | <.001 |
| **NIVELES** | 49855 | 2 | 24928 | 142.75 | <.001 |
| **ESTADO MADUREZ ✻ NIVELES** | 6531 | 2 | 3266 | 18.70 | <.001 |
| **Residuos** | 19208 | 110 | 175 | | |

En la Tabla 9, se observa que el que el $T_{tab}$ es menor que el $T_{Obs}$, por lo que se rechazó la Hipótesis nula a un nivel de confianza de 95%, lo cual indica existe diferencia significativa entre los promedios de porcentaje de humedad; para comprobar si hay una influencia directa

ente el estado de madurez y los niveles; es decir interacción, se realizó el grafico de interacción.

.

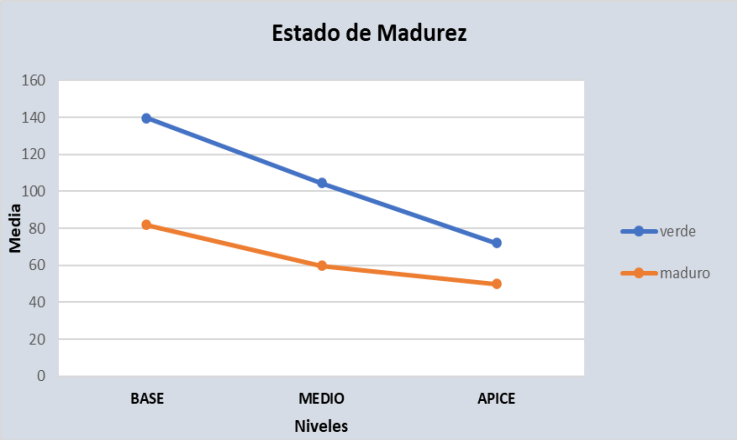



**Figura 02.** Porcentaje del contenido de humedad en relación al estado de madurez y nivel.

En la Figura 2 se observa que los factores son independientes, interpretándose que tanto el estado de madurez y el nivel no interactúan en el porcentaje de humedad. Por lo que se dividió en análisis de varianza a un factor; siendo el primer factor evaluado el estado de madurez con el porcentaje de humedad.

**Tabla 10.** Prueba Tukey para el porcentaje de humedad.

| Estado de madurez | N | Media | Agrupación | |
|---|---|---|---|---|
| VERDE | 15 | 105.40 | A | |
| MADURO | 15 | 63.82 | | B |

Nota: *Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.*

La Tabla 10; exhibe las agrupaciones con letras diferentes en el estado de madurez, entendiéndose que existe diferencia significativa; presentando un porcentaje de humedad en el estado verde una media de 105.40%.

Para Hernández y otros, (2021) los culmos inmaduros menores a dos años tienen un contenido humedad muy alto; así mismo Guzman, (2021) registró que ***Dendrocalamus asper*** presento el contenido de humedad en estado verde de 100,87%, Polo & Panayfo, (2014) explican que las cañas de ***D. asper***, en su fase verde el contenido de humedad alcanza el 100%; Sapaico, (2019) manifiesta que ***Dendrocalamus asper*** con madurez verde el contenido de humedad alcanza el 100% y Sánchez, (2018) ***Guadua angustifolia*** Kunth el contenido de humedad más notable (126,78%).

Por su parte Calo, (2018) sostiene que el contenido de humedad en estadio verde de la especie ***Dendrocalamus asper*** fue de 34,46%; la especie ***Guadua angustifolia*** fue de 57, 90%; y la especie ***Guadua verticillata*** fue de 37,67%.

Por lo encontrado en la presente investigación se coincide con lo mencionado por los autores; ya que el contenido de humedad en estado verde fue de una media de 105.398%; discrepando con lo mencionado por Calo, (2018).

Por otro lado, Conesa (2010) especifica que a ***Bambusa vulgaris*** en estadíos de desarrollo maduro contenido de humedad fue 51,50%. Guzman, (2021) registró que el contenido de humedad en estado maduro fue 79,90%. Jara, (2023) ***Dendrocalamus asper*** presentó un Contenido de Humedad Saturado de 78.89% y en la localidad de Laguna se determinó que es de 69,19%.

Discrepando por lo mencionado por los autores, pudiendo atribuirse al diferente estadio o años de las matas donde se obtuvieron las muestras estudiadas.

**Tabla 11.** Prueba Tukey para el porcentaje de humedad en relación al nivel.

| Niveles | N | Media | Agrupación | | |
|---|---|---|---|---|---|
| BASE | 10 | 110.80 | A | | |
| MEDIO | 10 | 82.04 | | B | |
| APICE | 10 | 61.03 | | | C |

Nota: *Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.*

La Tabla 11; exhibe las agrupaciones con letras diferentes en el nivel de corte, entendiéndose que existe diferencia significativa; presentando una media mayor de humedad en el nivel de la base con 110.80% y un menor porcentaje de humedad en el nivel del ápice con 61.03%.

Calo, (2018) al referirse al contenido de humedad ***Dendrocalamus asper*** fue en el ápice, 42,29% en el medio y 45,48% en la base; la especie ***Guadua angustifolia*** fue en el ápice, 85. 86% en el medio y 94,73% en la base y especie ***Guadua Verticillata*** tuvo un contenido de humedad en el ápice, 51,30% en el medio y 57,77% en la base. Jara, (2023) ***Dendrocalamus asper*** presentó un Contenido de Humedad en el Nivel-Base fue de 88,12%, en el Nivel-Medio de 73,73% y en el Nivel-Ápice fue de 60,27%.

En cuanto al nivel de corte mencionado por los autores se coincide, teniendo evidencia en la investigación que en la base el contenido de humedad siempre es mayor; siendo las diferencias encontradas por los autores atribuible a la especie, años, geografía entre otros factores.

## 4.2. Densidad saturada, básica y anhidra de los culmos de *bambusa vulgaris* var. vitatta, en dos estados madurez (verde y maduro) y niveles de altura (base, medio y ápice)

En la Tabla 12, se muestra que el culmo con mayor densidad saturada fue en estado maduro y nivel ápice con 1.23 g/cm$^3$, el culmo con mayor densidad básica fue en estado maduro y nivel ápice con 0.66 g/cm$^3$ y el culmo con mayor densidad anhidra fue en estado maduro y nivel ápice con 0.84 g/cm$^3$.

**Tabla 12.** Promedio de la densidad saturada, básica y anhidra en los culmos de ***bambusa vulgaris*** var. vitatta, según estados madurez y niveles de altura.

| Estado de Madurez | Niveles | Densidad saturada g/cm$^3$ | Densidad de básica g/cm$^3$ | Densidad anhidra g/cm$^3$ |
|---|---|---|---|---|
| VERDE | BASE | 0.84 | 0.35 | 0.45 |
| VERDE | MEDIO | 0.84 | 0.41 | 0.54 |
| VERDE | APICE | 0.88 | 0.48 | 0.60 |
| MADURO | BASE | 1.18 | 0.48 | 0.63 |
| MADURO | MEDIO | 1.22 | 0.57 | 0.74 |
| MADURO | APICE | 1.23 | 0.66 | 0.84 |

Así mismo, para comprobar si existe diferencia significativa entre estos valores se realizó el análisis de varianza de dos factores, para la densidad saturada, densidad básica y densidad anhidra, mostrándose en los siguientes ítems en sus respectivas tablas.

### 4.2.1. Densidad saturada

**Tabla 13.** ANOVA para la densidad saturada

| | Suma de Cuadrados | gl | Media Cuadrática | F | P |
|---|---|---|---|---|---|
| **MATA** | 0.01798 | 4 | 0.00449 | 5.28 | <.001 |
| **ESTADO MADUREZ** | 4.33448 | 1 | 4.33448 | 5089.66 | <.001 |
| **NIVELES** | 0.00402 | 2 | 0.00201 | 2.36 | 0.099 |
| **ESTADO MADUREZ ✻ NIVELES** | 0.02905 | 2 | 0.01453 | 17.06 | <.001 |
| **Residuos** | 0.09368 | 110 | 8.52e-4 | | |

En la Tabla 13, podemos observar que el que el $T_{tab}$ es menor que el $T_{Obs}$, por lo que se rechazó la Hipótesis nula a un nivel de confianza de 95%, lo cual indica que existe diferencia significativa entre los promedios de densidad saturada; para comprobar si hay influencia directa entre el estado de madurez y los niveles; es decir interacción, se realizó el grafico de interacción.

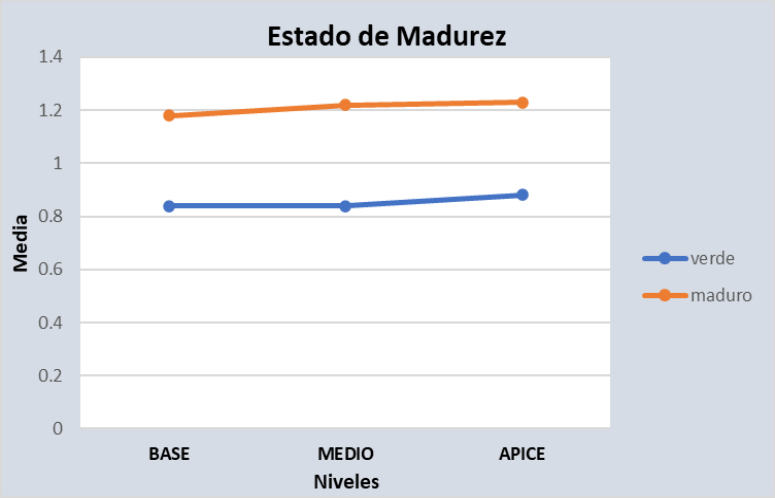



**Figura 03.** Interacción para densidad saturada en relación al estado de madurez y nivel.

En la Figura 3 se observa que los factores son independientes, interpretándose que tanto el estado de madurez y el nivel no interactúan en la densidad saturada. Por lo que se dividió en análisis de varianza de un factor; siendo el primer factor evaluado el estado de madurez con la densidad saturada.

**Tabla 14.** Prueba Tukey para densidad saturada en relación al estado de madurez.

| Estado de madurez | N | Media | Agrupación | |
|---|---|---|---|---|
| MADURO | 15 | 1.21 | A | |
| VERDE | 15 | 0.85 | | B |

Nota: *Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.*

La Tabla 14; exhibe las agrupaciones con letras diferentes en el estado de madurez, entendiéndose que existe diferencia significativa; presentando una media de densidad saturada en el estado maduro de 1.21 g/cm$^3$.

Para Guzman, (2021) la densidad saturada de la especie ***Dendrocalamus asper*** en culmos sobre maduros fue 1,18 g/cm$^3$, maduros 1,16 g/cm$^3$ y verdes, 1,15g/cm$^3$.

Con respecto a lo señalado por el autor la densidad saturada en el estado maduro y verde se discrepa por lo encontrado y se muestra en la tabla 12; pudiendo atribuirse la diferencia por tratarse de especies diferentes.

**Tabla 15.** Prueba Tukey y una confianza de 95% para densidad saturada en relación al nivel.

| Niveles | N | Media | Agrupación |
|---|---|---|---|
| APICE | 10 | 1.06 | A |
| MEDIO | 10 | 1.03 | A |
| BASE | 10 | 1.01 | A |

Nota: *Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.*

La Tabla 15; exhibe las agrupaciones con letras iguales en el nivel de corte, entendiéndose que no existe diferencia significativa entre los niveles; presentando mayor de densidad saturada en el nivel ápice con 1.06 g/cm$^3$ y una menor densidad saturada en el nivel del base con 1.01 g/cm$^3$.

De otro lado Guzman, (2021); también señala que la especie ***Dendrocalamus asper*** presenta densidad saturada en los niveles de altura fue 1,17 g/cm$^3$ en el medio, 1,16 g/cm$^3$ en el ápice y 1,16 g/cm$^3$ en la base.

Con respecto a lo señalado por el autor la densidad saturada en los niveles de altura medio, ápice y base se discrepa por lo encontrado y se muestra en la tabla 13; pudiendo atribuirse la diferencia por tratarse de especies diferentes.

### 4.2.2. Densidad básica

**Tabla 16.** ANOVA de la densidad básica relacionando el estado de madurez y nivel g/cm$^3$

| | Suma de Cuadrados | gl | Media Cuadrática | F | p |
|---|---|---|---|---|---|
| **MATA** | 0.0131 | 4 | 0.00328 | 4.82 | 0.001 |
| **ESTADO MADUREZ** | 0.7148 | 1 | 0.71483 | 1050.35 | <.001 |
| **NIVELES** | 0.4579 | 2 | 0.22897 | 336.44 | <.001 |
| **ESTADO MADUREZ ✻ NIVELES** | 0.0182 | 2 | 0.00909 | 13.35 | <.001 |
| **Residuos** | 0.0749 | 110 | 6.81e-4 | | |

En la Tabla 16, podemos observar que el que el $T_{tab}$ es menor que el $T_{Obs}$, por lo que se rechazó la Hipótesis nula a un nivel de confianza de 95%, lo cual indica que existe diferencia significativa entre los promedios de densidad básica; para comprobar si hay influencia directa ente el estado de madurez y los niveles; es decir interacción, se realizó el grafico de interacción.

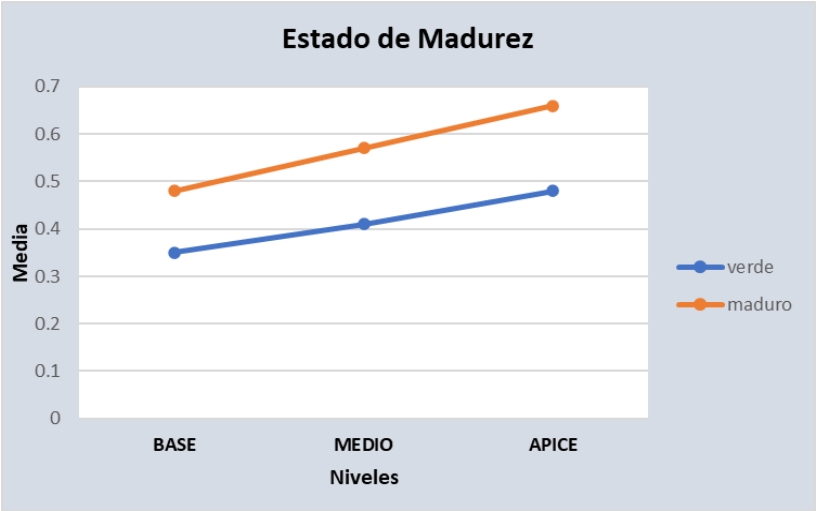



**Figura 04.** Gráfico de interacción para densidad básica en relación al estado de madurez y nivel.

En la Figura 4 se observa que los factores son independientes, interpretándose que tanto el estado de madurez y el nivel no interactúan en la densidad básica. Por lo que se dividió en análisis de varianza de un factor; siendo el primer factor evaluado el estado de madurez con la densidad básica.

**Tabla 17.** Prueba Tukey para densidad básica en relación al estado de madurez.

| Estado de madurez | N | Media | Agrupación | |
|---|---|---|---|---|
| MADURO | 15 | 0.57 | A | |
| VERDE | 15 | 0.41 | | B |

Nota: *Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.*

La Tabla 17; exhibe las agrupaciones con letras diferentes en el estado de madurez, entendiéndose que existe diferencia significativa; presentando una media de densidad básica mayor en el estado maduro de 0.57 g/cm$^3$.

Guzman, (2021) señala que la densidad básica de la especie ***Dendrocalamus asper*** fue de 0,71 g/cm$^3$ en culmos sobre maduros, 0,66 g/cm$^3$ en maduros y 0,58 g/cm$^3$ en culmos verdes; para Conesa (2010) especifica que ***Bambusa vulgaris*** en estadíos de desarrollo maduro la densidad básica fue de 0,53 g/cm$^3$.

Por lo encontrado en la investigación se discrepa con Guzman, (2021), atribuyendo la diferencia por tratarse de especies distintas; sin embargo, se coincide con Conesa (2010) por tratarse de la misma especie.

**Tabla 18.** Prueba Tukey para densidad básica en relación al nivel

.

| Niveles | N | Media | Agrupación | | |
|---|---|---|---|---|---|
| APICE | 10 | 0.57 | A | | |
| MEDIO | 10 | 0.49 | | B | |
| BASE | 10 | 0.42 | | | C |

Nota: *Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.*

La Tabla 18; exhibe las agrupaciones con letras diferentes en el nivel de corte, entendiéndose que existe diferencia significativa entre los niveles; presentando una mayor de densidad básica en el nivel ápice con 0.57 g/cm$^3$ y una menor densidad básica en el nivel del base con 0.42 g/cm$^3$.

Guzman, (2021) la densidad básica de la especie ***Dendrocalamus asper*** en los niveles de altura fue de 0,70 g/cm$^3$ en el ápice, 0,65 g/cm$^3$ medio y 0,60 g/cm$^3$ en la base; Montoya & Orozco, (2018) sostiene que la densidad básica muestran que hay un incremento desde la base hasta la parte superior, con valores de 0,438 g/cm$^3$ a 0,567 g/cm$^3$; Estacio, (2013) sostiene que Guadua la densidad básica varía desde 0,5 g/cm$^3$ a 0,9 g/cm$^3$, desde la base hacia el ápice, respectivamente; Rijo y otros, (1987) manifiesta un incremento de la densidad

básica con la altura del culmo; Maya y otros, (2017) se observó que la densidad básica fue más notable en las cañas de 3 y 5 años de edad.

No coincidiendo con los valores señalados por los autores, atribuyendo la diferencia por tratarse de especies y edades diferentes; sin embargo se coincide con lo señalado por Montoya & Orozco, (2018), Estacio, (2013) y Rijo y otros, (1987) que existe un incremente desde la base hasta la altura.

### 4.2.3. Densidad anhidra

**Tabla 19.** Análisis de Varianza de la densidad anhidra relacionando el estado de madurez y nivel.

| | Suma de Cuadrados | gl | Media Cuadrática | F | p |
|---|---|---|---|---|---|
| **MATA** | 0.0223 | 4 | 0.00557 | 19.3 | <.001 |
| **ESTADO MADUREZ** | 1.4150 | 1 | 1.41499 | 4901.4 | <.001 |
| **NIVELES** | 0.6002 | 2 | 0.30011 | 1039.6 | <.001 |
| **ESTADO MADUREZ ✻ NIVELES** | 0.0348 | 2 | 0.01740 | 60.3 | <.001 |
| **Residuos** | 0.0318 | 110 | 2.89e-4 | | |

En la Tabla 19, podemos observar que el que el $T_{tab}$ es menor que el $T_{Obs}$, por lo que se rechazó la Hipótesis nula a un nivel de confianza de 95%, lo cual indica que existe diferencia significativa entre los promedios de densidad básica; para comprobar si hay influencia directa ente el estado de madurez y los niveles; es decir interacción, se realizó el grafico de interacción.

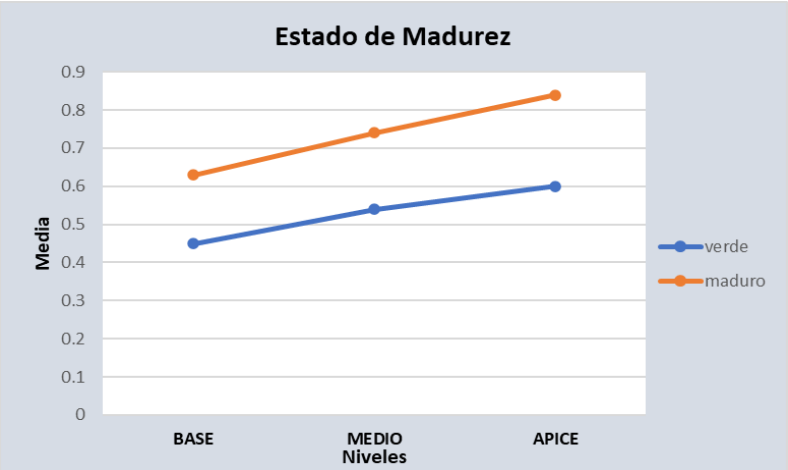



**Figura 05.** Interacción para densidad anhidra en relación al estado de madurez y nivel.

En la Figura 5 se observa que los factores son independientes, interpretándose que tanto el estado de madurez y el nivel no interactúan en la densidad anhidra. Por lo que se dividió en análisis de varianza de un factor; siendo el primer factor evaluado el estado de madurez con la densidad anhidra.

**Tabla 20.** Prueba Tukey para densidad anhidra en relación al estado de madurez.

| Estado de Madurez | N | Media | Agrupación | |
|---|---|---|---|---|
| MADURO | 15 | 0.74 | A | |
| VERDE | 15 | 0.53 | | B |

Nota: *Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.*

La Tabla 20; exhibe las agrupaciones con letras diferentes en el estado de madurez, entendiéndose que existe diferencia significativa entre el estado de madurez; presentando una media mayor de densidad anhidra en el estado maduro de 0.74 g/cm$^3$.

(Guzman, 2021) señala que la densidad anhidra para la especie ***Dendrocalamus asper***, fue 0,86 g/cm$^3$ en los culmos sobre maduros, 0,83 g/cm$^3$ en los culmos maduros y 0,78 g/cm$^3$ en verde. Discrepando con lo mencionado por el autor, atribuyendo la diferencia por tratarse de especies diferentes.

**Tabla 21.** Prueba Tukey para densidad anhidra en relación al nivel.

| Niveles | N | Media | Agrupación | | |
|---|---|---|---|---|---|
| APICE | 10 | 0.72 | A | | |
| MEDIO | 10 | 0.64 | | B | |
| BASE | 10 | 0.54 | | | C |

Nota: *Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.*

La Tabla 21; exhibe las agrupaciones con letras diferentes en el nivel de corte, entendiéndose que existe diferencia significativa entre los niveles; presentando una mayor de densidad anhidra en el nivel ápice con 0.72 g/cm$^3$ y una menor densidad anhidra en el nivel del base con 0.54 g/cm$^3$.

(Guzman, 2021) señala que la densidad anhidra de la especie ***Dendrocalamus asper***, en los niveles de altura fue 0,84 g/cm$^3$ en el ápice, 0,83 g/cm$^3$ en el medio y 0,80 g/cm$^3$ en la base. Discrepando con lo mencionado por el autor, atribuyendo la diferencia por tratarse de especies diferentes.

## 4.3. Determinación de las contracciones: tangencial, radial, longitudinal volumétrica de *bambusa vulgaris* Var. Vitatta a tres niveles y dos estados de madurez

En la Tabla 22, se muestra que el culmo con mayor contracción tangencial, radial, longitudinal y volumétrica fue en estado maduro y nivel base con 18.66%, 23.35%, 0.31% y 43.63% respectivamente.

**Tabla 22.** Promedio de la contracción tangencial, radial, longitudinal y volumétrica en los culmos de ***bambusa vulgaris*** var. vitatta, en dos estados madurez y niveles de altura.

| Estado de madurez | Niveles | Contracción tangencial % | Contracción radial % | Contracción longitudinal % | Contracción volumétrica % |
|---|---|---|---|---|---|
| VERDE | BASE | 18.66 | 23.35 | 0.31 | 43.63 |
| VERDE | MEDIO | 14.48 | 19.48 | 0.23 | 34.46 |
| VERDE | APICE | 10.55 | 13.90 | 0.14 | 24.41 |
| MADURO | BASE | 13.79 | 16.32 | 0.26 | 21.47 |
| MADURO | MEDIO | 9.96 | 13.47 | 0.13 | 13.04 |
| MADURO | APICE | 5.61 | 9.81 | 0.05 | 10.11 |

Así mismo, para comprobar si existe diferencia significativa entre estos valores se realizó el análisis de varianza de dos factores, para la contracción tangencial, radial, longitudinal y volumétrica, mostrándose en los siguientes ítems en sus respectivas tablas.

### 4.3.1. Contracción tangencial

**Tabla 23.** ANOVA de la contracción tangencial en relación al estado de madurez y nivel.

| | Suma de Cuadrados | gl | Media Cuadrática | F | p |
|---|---|---|---|---|---|
| **MATA** | 165.12 | 4 | 41.281 | 14.014 | <.001 |
| **ESTADO MADUREZ** | 683.96 | 1 | 683.956 | 232.191 | <.001 |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| **NIVELES** | 1327.10 | 2 | 663.552 | 225.264 | <.001 |
| **ESTADO MADUREZ ∗ NIVELES** | 1.02 | 2 | 0.509 | 0.173 | 0.842 |
| **Residuos** | 324.02 | 110 | 2.946 | | |

En la Tabla 23, podemos observar que el que el $T_{tab}$ es menor que el $T_{Obs}$, por lo que se rechazó la Hipótesis nula a un nivel de confianza de 95%, lo cual indica que existe diferencia significativa entre los promedios de porcentaje de contracción; para comprobar si hay influencia directa ente el estado de madurez y los niveles; es decir interacción, se realizó el grafico de interacción.

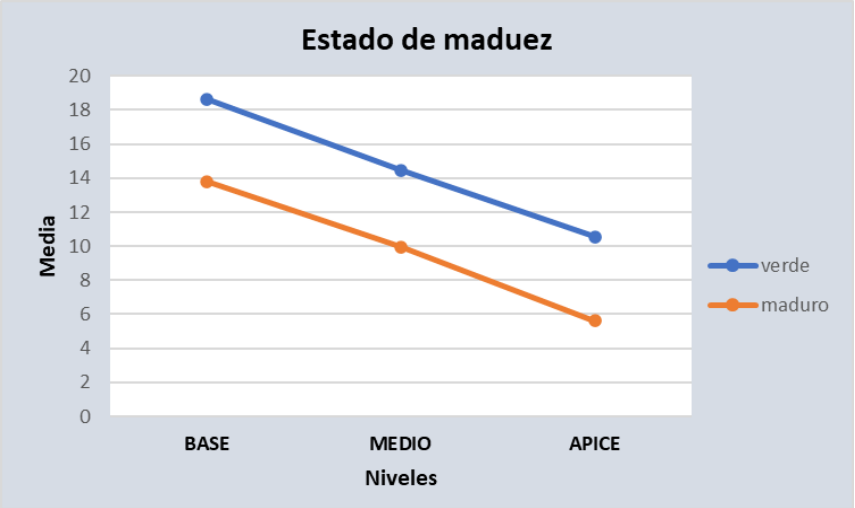



**Figura 06.** Interacción para contracción tangencial en relación al estado de madurez y nivel.

En la Figura 6 se observa que los factores son independientes, interpretándose que tanto el estado de madurez y el nivel no interactúan en la contracción tangencial. Por lo que se dividió en análisis de varianza de un factor; siendo el primer factor evaluado el estado de madurez con la contracción tangencial.

**Tabla 24.** Prueba Tukey para contracción tangencial en relación al estado de madurez.

| Estado de Madurez | N | Media | Agrupación |
|---|---|---|---|
| VERDE | 15 | 14.56 | A |
| MADURO | 15 | 9.79 | B |

Nota: *Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.*

La Tabla 24; exhibe las agrupaciones con letras diferentes en el estado de madurez, entendiéndose que existe diferencia significativa; presentando una media de contracción tangencia en el estado verde de 14.56 %.

**Tabla 25.** Prueba Tukey para contracción tangencia en relación al nivel.

| Niveles | N | Media | Agrupación | | |
|---|---|---|---|---|---|
| BASE | 10 | 16.23 | A | | |
| MEDIO | 10 | 12.22 | | B | |
| APICE | 10 | 8.08 | | | C |

Nota: *Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.*

La Tabla 25; exhibe las agrupaciones con letras diferentes en el nivel de corte, entendiéndose que existe diferencia significativa entre los niveles; presentando mayor de contracción tangencial en el nivel ápice con 16.23 % y una menor contracción tangencia en el nivel del base con 8.08%.

Liese & Kohl, (2015) señalan que la expansión o contracción aparente de las cañas de bambú en sentido radial es moderadamente mayor, siendo en algunos casos muy similar a la contracción en sentido tangencial; Por su parte Hidalgo, (1974) sostiene que se observa una gran variación en la dirección tangencial desde el interior hasta la parte externa de la pared. Coincidiendo con los autores, ya que se observa mayor contracción tangencial en la base y en estado verde.

### 4.3.2. Contracción radial

**Tabla 26.** ANOVA de contracción radial relacionando el estado de madurez y nivel.

| | Suma de Cuadrados | gl | Media Cuadrática | F | p |
|---|---|---|---|---|---|
| **MATA** | 240.2 | 4 | 60.05 | 20.05 | <.001 |
| **ESTADO MADUREZ** | 978.1 | 1 | 978.11 | 326.60 | <.001 |
| **NIVELES** | 1284.5 | 2 | 642.27 | 214.46 | <.001 |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| **ESTADO MADUREZ ✻ NIVELES** | 44.5 | 2 | 22.27 | 7.44 | <.001 |
| **Residuos** | 329.4 | 110 | 2.99 | | |

En la Tabla 26, podemos observar que el que el $T_{tab}$ es menor que el $T_{Obs}$, por lo que se rechazó la Hipótesis nula a un nivel de confianza de 95%, lo cual indica que existe diferencia significativa entre los promedios de contracción radial; para comprobar si hay influencia directa ente el estado de madurez y los niveles; es decir interacción, se realizó el grafico de interacción.

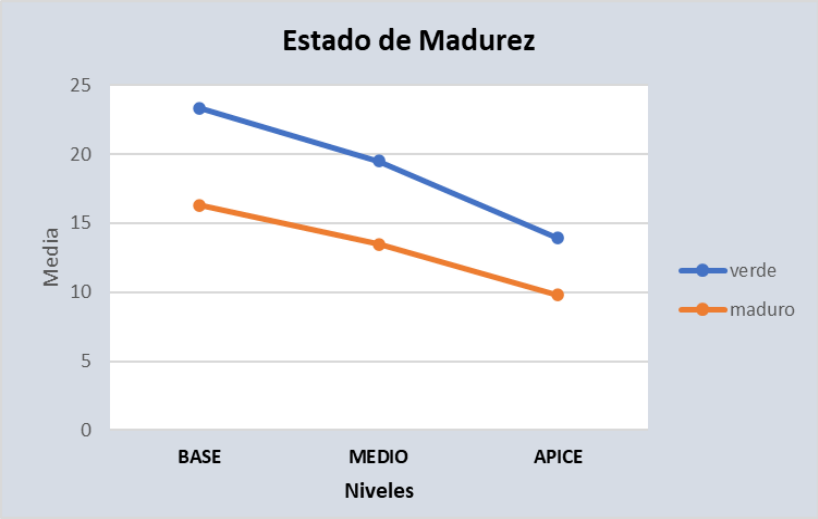



**Figura 07.** Interacción para contracción radial en relación al estado de madurez y nivel.

En la Figura 7 se observa que los factores son independientes, interpretándose que tanto el estado de madurez y el nivel no interactúan en la contracción radial. Por lo que se dividió en análisis de varianza de un factor; siendo el primer factor evaluado el estado de madurez con la contracción radial.

**Tabla 27.** Prueba Tukey para contracción radial en relación al estado de madurez.

| **Estado de Madurez** | **N** | **Media** | **Agrupación** |
|---|---|---|---|
| VERDE | 15 | 18.91 | A |
| MADURO | 15 | 13.20 | B |

Nota: *Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.*

La Tabla 27; exhibe las agrupaciones con letras diferentes en el estado de madurez, entendiéndose que existe diferencia significativa; presentando una media de contracción radial mayor en el estado maduro de 18.91%.

**Tabla 28.** Prueba de Tukey para contracción radial en relación al nivel.

| Niveles | N | Media | Agrupación | | |
|---|---|---|---|---|---|
| BASE | 10 | 19.83 | A | | |
| MEDIO | 10 | 16.48 | | B | |
| APICE | 10 | 11.85 | | | C |

Nota: *Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.*

La Tabla 28; exhibe las agrupaciones con letras diferentes en el nivel de corte, entendiéndose que existe diferencia significativa entre los niveles; presentando una mayor contracción radial en el nivel base con 19.83 % y una menor contracción radial en el nivel del ápice con 11.85 %.

Liese & Kohl, (2015) señalan que el bambú carece de células orientadas radialmente, a diferencia de la madera, lo que limita la contracción en la dirección radial. No coincidiendo con lo señalado por los autores, ya que se encontró en la presente investigación contracción radial, como se observa en la tabla 27 y 28.

### 4.3.3. Contracción longitudinal

**Tabla 29.** ANOVA de contracción longitudinal relacionando el estado de madurez y nivel

| | Suma de Cuadrados | gl | Media Cuadrática | F | p |
|---|---|---|---|---|---|
| **MATA** | 0.00707 | 4 | 0.00177 | 1.68 | 0.159 |
| **ESTADO MADUREZ** | 0.17828 | 1 | 0.17828 | 169.90 | <.001 |
| **NIVELES** | 0.69678 | 2 | 0.34839 | 332.03 | <.001 |
| **ESTADO MADUREZ ✻ NIVELES** | 0.01091 | 2 | 0.00546 | 5.20 | 0.007 |
| **Residuos** | 0.11542 | 110 | 0.00105 | | |

.
En la Tabla 29, podemos observar que el que el $T_{tab}$ es menor que el $T_{Obs}$, por lo que se rechazó la Hipótesis nula a un nivel de confianza de 95%, lo cual indica que existe diferencia significativa entre los promedios de contracción longitudinal; para comprobar si hay influencia directa ente el estado de madurez y los niveles; es decir interacción, se realizó el grafico de interacción.

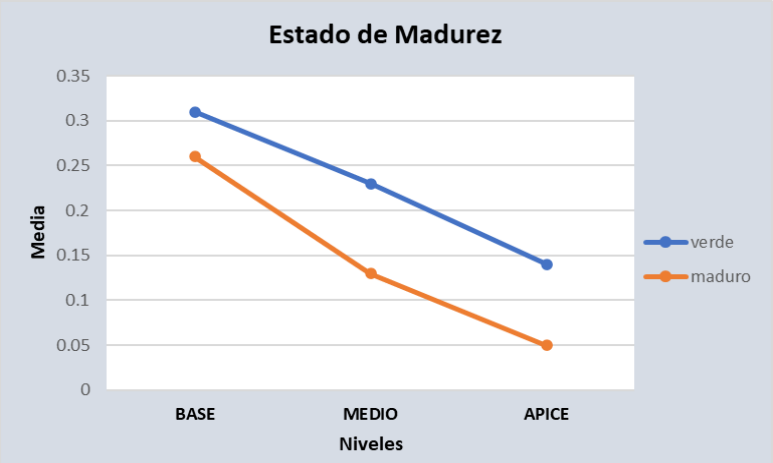



**Figura 08.** Interacción para contracción longitudinal en relación al estado de madurez y nivel.

En la Figura 8 se observa que los factores son independientes, interpretándose que tanto el estado de madurez y el nivel no interactúan en la contracción longitudinal. Por lo que se dividió en análisis de varianza de un factor; siendo el primer factor evaluado el estado de madurez con la contracción longitudinal.

**Tabla 30.** Prueba Tukey para contracción longitudinal en relación al estado de madurez.

| Estado de Madurez | N | Media | Agrupación | |
|---|---|---|---|---|
| VERDE | 15 | 0.22 | A | |
| MADURO | 15 | 0.15 | | B |

Nota: *Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.*

La Tabla 30; exhibe las agrupaciones con letras diferentes en el estado de madurez, entendiéndose que existe diferencia significativa; presentando una media de contracción longitudinal mayor en el estado maduro de 0.22 %.

**Tabla 31.** Prueba Tukey para contracción longitudinal en relación al nivel.

| Niveles | N | Media | Agrupación | | |
|---|---|---|---|---|---|
| BASE | 10 | 0.28 | A | | |
| MEDIO | 10 | 0.18 | | B | |
| APICE | 10 | 0.10 | | | C |

Nota: *Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.*

La Tabla 31; exhibe las agrupaciones con letras diferentes en el nivel de corte, entendiéndose que existe diferencia significativa; presentando una mayor contracción longitudinal en el nivel base con 0.28 % y una menor contracción radial en el nivel del ápice con 0.10 %.

(Takeuchi & Cortés, 2011) menciona que encontró una contracción longitudinal muy baja, menor a 0.1%. Discrepando con los autores por lo mostrado en las tablas 28 y 29.

### 4.3.4. Contracción volumétrica.

**Tabla 32.** ANOVA de contracción volumétrica relacionando el estado de madurez y el nivel.

| | Suma de Cuadrados | gl | Media Cuadrática | F | p |
|---|---|---|---|---|---|
| **MATA** | 369 | 4 | 92.3 | 4.71 | 0.002 |
| **ESTADO MADUREZ** | 11167 | 1 | 11166.8 | 570.10 | <.001 |
| **NIVELES** | 4713 | 2 | 2356.3 | 120.30 | <.001 |
| **ESTADO MADUREZ ✻ NIVELES** | 377 | 2 | 188.5 | 9.62 | <.001 |
| **Residuos** | 2155 | 110 | 19.6 | | |

En la Tabla 32, podemos observar que el que el $T_{tab}$ es menor que el $T_{Obs}$, por lo que se rechazó la Hipótesis nula a un nivel de confianza de 95%, lo cual indica que existe diferencia significativa entre los promedios de contracción volumétrica; para comprobar si hay influencia directa ente el estado de madurez y los niveles; es decir interacción, se realizó el grafico de interacción.

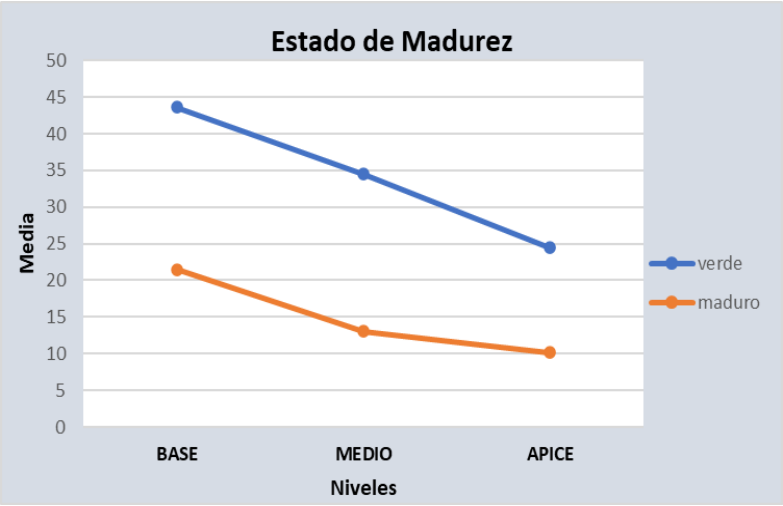



**Figura 09.** Interacción para contracción volumétrica en relación al estado de madurez y nivel.

En la Figura 9 se observa que los factores son independientes, interpretándose que tanto el estado de madurez y el nivel no interactúan en la contracción volumétrica. Por lo que se dividió en análisis de varianza de un factor; siendo el primer factor evaluado el estado de madurez con la contracción volumétrica.

**Tabla 33.** Prueba Tukey para contracción volumétrica en relación al estado de madurez.

| Estado de Madurez | N | Media | Agrupación | |
|---|---|---|---|---|
| VERDE | 15 | 34.16 | A | |
| MADURO | 15 | 14.87 | | B |

Nota: *Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.*

La Tabla 33; exhibe las agrupaciones con letras diferentes en el estado de madurez, entendiéndose que existe diferencia significativa; presentando una media de contracción volumétrica mayor en el estado verde de 34.16 %.

**Tabla 34.** Prueba Tukey para contracción volumétrica en relación al nivel.

| Niveles | N | Media | Agrupación | | |
|---|---|---|---|---|---|
| BASE | 10 | 32.55 | A | | |
| MEDIO | 10 | 23.75 | | B | |
| APICE | 10 | 17.26 | | | C |

Nota: *Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.*

La Tabla 34; exhibe las agrupaciones con letras diferentes en el nivel de corte, entendiéndose que existe diferencia significativa; presentando una mayor contracción volumétrica en el nivel base con 32.55 % y una menor contracción volumétrica en el nivel del ápice con 17.26 %.

Calo, (2018) sostiene que la especie con mayor valor de contracción volumétrica es la ***G. Angustifolia*** fue de 14.4%, a causa del nivel de agua que contenía en estado verde. La especie con menor contracción es ***D. Asper*** con 3,96%. Esta especie sufrió poca disminución de sus dimensiones después del secado a comparación de las otras tres especies, esto por ser de densidad pesada. No coincidiendo con lo señalado con el autor por tratarse de especies diferentes como se observa en la tabla 31 y 32.

# V. CONCLUSIONES

- La variación de la humedad de los culmos de ***Bambusa vulgaris*** var. Vittata en estado verde fue de 105.398% y en estado maduro fue de 63.8%; y con respecto al nivel de altura fue en la base 110.7%, medio 82.0% y ápice 61.0%.

- La variación de la densidad satura fue en estado maduro 1.2 g/cm$^3$ y verde 0.8 g/cm$^3$, mientras en nivel de altura fue en la base, medio y ápice 1.0 g/cm$^3$; densidad básica fue en estado maduro 0.56 g/cm$^3$ y verde 0.41 g/cm$^3$, además en nivel de altura fue en la base 0.41 g/cm$^3$, medio 0.49 g/cm$^3$ y ápice 0.56 g/cm$^3$; y densidad anhidra fue en estado maduro 0.73 g/cm$^3$ y verde 0.52 g/cm$^3$, así mismo en nivel de altura fue en la base 0.53 g/cm$^3$, medio 0.64 g/cm$^3$ y ápice 0.71 g/cm$^3$.

- La variación de la contracción tangencial fue estado verde 14.56% y maduro 9.78%, mientras en nivel de altura fue en la base 16.22%, medio 12.21% y ápice 8.08%; contracción radial fue en estado verde 18.90% y maduro 13.19%, además en nivel de altura fue en el ápice 11.85%, medio 16.47% y base 19.83%; contracción longitudinal fue en estado verde 0.22% y maduro 0.14%, así mismo en nivel de altura fue en el ápice 0.09%, medio 0.18% y base 0.28%; y contracción volumétrica fue en estado verde 34.16% y maduro 14.87% mientras en nivel de altura fue en el ápice 17.25%, medio 23.74% y base 32.54%.

# VI. RECOMENDACIONES

1. Se recomienda realizar más estudios con la misma especie en diferentes regiones, para reforzar los resultados encontrados y contribuir con conocimiento útil de la presente especie.

2. Realizar estudios comparativos de la especie teniendo en cuenta la edad de la especie.

3. Realizar estudios comparativos en distintas zonas geográficas y relacionarlo con sus propiedades físicas.

## VII. BIBLIOGRAFIA


**Ángeles, F. (2014).** *Propiedades físicas y mecánicas de la Guadua Angustifolia con fines estructurales.* Universidad Nacional de Cajamarca. 131 p.: https://repositorio.unc.edu.pe/handle/20.500.14074/366

**Añazco, M., & Sebastián, R. (2015).** *Estudio de la cadena desde la producción al consumo del bambú (Guadua angustifolia) en Perú.* Red Internacional de Bambú y ratán, INBAR - Ecuador: https://bambuecuador.wordpress.com/wp-content/uploads/2018/01/2015-estudio-de-la-cadena-desde-la-produccиocc81n-al-consumo-del-bambucc81-en-perucc81.pdf

**Calderón, C., & Soderstrom, T. (1980).** *The Genera of Bambusoideae (Poaceae) of the American Continent: Keys.* https://doi.org/https://doi.org/10.5479/si.0081024X.44

**Calo, N. (2018).** *Caracterización física y mecánica de tres especies de bambú aptas para la construcción en Guatemala.* Universidad de San Carlos de Guatemala: http://www.repositorio.usac.edu.gt/8629/

**Cobos, J., & León, X. (2007).** *Propiedades físicas mecánicas de la guadua angustifolia kunth y aplicación al diseño de baterías sanitarias del IASA II.* Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE: https://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/1562

**Conesa, J. (2010).** *Determinación de los parámetros mecánicos del culmo del bambú, especie de Bambusa Vulgaris.* Universidad Central Martha Abreu de Las Villas: https://dspace.uclv.edu.cu/items/1ea9755c-db9b-4629-9f9c-27579f389738

**Correal, J., & Arbelaez, J. (2010).** *Influence of age and height position on colombian Guadua angustifolia bamboo mechanical properties.* https://doi.org/http://dx.doi.org/10.4067/S0718-221X2010000200005.

**Cuellar, A. & Muñoz I. (2010).** Fibra de Guadua como refuerzo de matrices poliméricas. Revista Dyna, 162, 137-142.

**Duque, A., Lara, A., Quintero, H., Henao, E., & Monroy, M. (2010).** *Medición indirecta de la madurez del culmo de guadua por medio de las vibraciones mecánicas.* Universidad Técnica de Pereira - Colombia: https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/6980

**Estacio, D. (2013).** *Evaluación de las propiedades físico -mecánicas del Bambú - Bagua - Amazonas.* Universidad Nacional de Cajamarca: https://repositorio.unc.edu.pe/handle/20.500.14074/364

**González, K., Daza, D., Caballero, P. & Martínez, C. (2016).** Evaluación de las propiedades físicas y químicas de residuos sólidos orgánicos a emplearse en la elaboración de papel. Revista Luna Azul, 43, 499-517.

**Gonzales, E. (2018).** *Aprovechamiento, transformación y usos del Bambú.* BAMBUCYT: Bambú para la ciencia, innovación y tecnología: http://www.lamolina.edu.pe/FACULTAD/forestales/revistas/CIB/SEGUNDA_EDICION_REVISTA_BAMBUCYT.pdf

**Gutiérrez, J. (2015).** *Evaluación de propiedades mecánicas del Culmo de guadua angustifolia Kunth., en tres niveles de altura.* Universidad Nacional Agraria de la Selva: https://repositorio.unas.edu.pe/items/e0a17881-4a28-4ee3-8a8d-cc644c23976c

**Guzman, J. (2021).** *Variabilidad de las propiedades físicas de dendrocalamus asper (Schultes f.) backer en tres estadíos de madurez, en Tingo María.* Universidad Nacional Agraria de la Selva: https://repositorio.unas.edu.pe/items/6043aab6-3178-4fe7-a9a9-76fa61112fcd

**Henao, E., & Rodríguez, J. (2010).** *Cambios en las propiedades físico-mecánicas de culmos de Guadua angustifolia como indicadores del estado de madurez.* Universidad Tecnológica de Pereira: Revista sw Recursos Naturales y Ambiente: https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/6979

**Hernández, S. (2019).** *Determinación de la madurez de Guadua angustifolia Kunth por propiedades físico-mecánicas.* Universidad Autónoma Chapingo: https://repositorio.chapingo.edu.mx/items/b64c610f-6b72-4027-9117-a739e554a684

**Hernández, S., Ávalos, A., Zamudio, F., Orozco, G., & Borja, A. (2021).** *Colorimetría de los tallos del Bambú (Guadua angustifolia) en tres estados de Madurez.* https://doi.org/10.4067/s0718-221x2021000100408

**Hidalgo, O. (1974).** *Bambú; su cultivo y aplicaciones en: fabricación de papel, construcción, arquitectura, ingeniería, artesanía.* Estudios técnicos colombianos: https://repository.agrosavia.co/handle/20.500.12324/33244

**INRENA, 1995.** Mapa Ecológico del Perú. Lima, Perú.

**Jara, E. (2023).** *Caracterización de las propiedades físicas del Dendrocalamus asper (bambú) de dos localidades en Pueblo Nuevo, provincia Leoncio Prado.* Universidad Nacional Agraria de la Selva:

https://repositorio.unas.edu.pe/items/039a01a7-be0a-4714-8cd8-10693d48d521

**Liese, W. (1998).** *The anatomy of bamboo culms.* Technical report: https://books.google.com.pe/books/about/The_Anatomy_of_Bamboo_Culms.html?id=dIVAGsXNPSsC&redir_esc=y

**Liese, W., & Kohl, M. (2015).** *Bamboo: The plant and its uses.* https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-3-319-14133-6

**Lodoño, X. (2002).** *Distribución, morfología, taxonomía, anatomía, silvicultura y usos de los bmabues del nuevo mundo.* Universidad Nacional de Colombia: http://www.maderinsa.com/guadua/taller.html

**Maita, V., Muro, J., Remy, M., Amaya, J., & Paredes, N. (2021).** *Manual de manejo integral del bambú Guadua angustifolia Kunth.* Ministerio de Desarrollo y Riego: https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/2364306/Manual%20de%20manejo%20integral%20del%20bambu%CC%81%20%28pag%29.pdf.pdf

**Maya, J., Camargo, J., & Marino, O. (2017).** *Características de los culmos de Guadua de acuerdo al sitio y su estado de madurez.* https://doi.org/http://dx.doi.org/10.14483/udistrital.jour.colomb.for.2017.2.a06

**Montoya, J., & Orozco, C. (2018).** *Fundamentos Prácticos del Secado de Guadua bambú : Proyecto de la energía solar para el secado industrial de la guadua angustifolia.* https://doi.org/ 674.38 M798 22

**Osorio, J. (2006).** *Caracterización en la infraestructura interna de la Guadua angustifolia Kunth y su relación con sus propiedades mecánicas.* Universidad Nacional de Colombia: https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/60134/71756431.2006.pdf

**Polo, F., & Panayfo, J. (2014).** *Experiencias sobre la silvicultura y usos del bambú en Colombia.* Universidad Nacional Agraria La Molina: https://www.academia.edu/16603304/Experiencias_sobre_la_silvicultura_y_usos_del_bamb%C3%BA_en_Colombia

**Rijo, C., Poblete, H., Diaz, J., Torres, M., & Fernández, A. (1987).** ***E****studio de Algunas Características Anatómicas, Físicas y Químicas De Chusquea Culeou (Coligue).* https://doi.org/https://doi.org/10.4206/bosque.1987.v8n1-08

**Rivera, V. (2015).** *Determinación de las propiedades mecánicas del Culmo de bambusa vulgaris var. Vittata (bambú), en tres Niveles de altura y dos estados de madurez, en el Campus de la unia.* Universidad Nacional Intercultural de la

Amazonía: https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UNIA_33f0366fb4472842f4ab5056250de2bf

**Sánchez-Echeverri, L.A., Aita, G., Robert, D., & Rodríguez-García, M.E. (2014)**. Correlación entre compuestos químicos y respuesta mecánica en culmos de dos edades diferentes de Guadua angustifolia Kunth. Madera y bosques, 20 (2), 87-94.

**Sánchez, L. (2018).** *Caracterización de las propiedades físico-mecánicas de la Guadua angustifolia kunth del municipio de Socorro, Santander-Colombia.* Universidad Nacional de Colombia: https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/69554

**Sapaico, E. (2019).** *Análisis y diseño estructural de los elementos en Bambú de una edificación de la Municipalidad Provincial de Satipo.* Universidad Peruana Los Andes: https://repositorio.upla.edu.pe/handle/20.500.12848/930

**Scurlock, J.M.O., Dayton, D.C. & Hames, B. (2000)**. Bambú: ¿un recurso de biomasa pasado por alto? Biomass and Bioenergy 19 (4): 229-244.

**Soler, P. (2017).** *Uso del Bambú en la arquitectura contemporárena.* Universidad Politécnica de Valencia : https://riunet.upv.es/handle/10251/106203

**Soria, P., & Poppens, R. (2004).** *El manejo de Guaduales naturales.* International Network for Bamboo and Rattan: https://bambuecuador.wordpress.com/wp-content/uploads/2018/01/2004-el-manejo-de-guaduales-naturales-para-la-transformaciocc81n-y-comercializaciocc81n-de-latillas-validaciocc81n-de-tecnologicc81a.pdf

**Takeuchi, C., & Cortés, J. (2011).** *Strengthening of the Bamboo Guadua Chain with Production of Laminates*. Universidad Nacional de Colombia: http://www.scielo.org.co/pdf/rfnam/v64n1/a21v64n01.pdf

## VIII. ANEXOS

**Anexo 1.** Certificado de acreditación de ***Bambusa vulgaris*** var. vittata.

Lima, 23 de Agosto de 2013

Señor Ing.: Robert Gilbert Pecho De la Cruz

De mi consideración

Me es grato dirigirme a usted con el propósito de certificarle que la especie colectada en el Campus Universitario de la Universidad Intercultural de la Amazonia (UNIA), del distrito de Yarinacocha, de la Provincia de Coronel Portillo de la Región Ucayali, es *Bambusa vulgaris var* vittata, de la familia POACEAE.

Atentamente

---

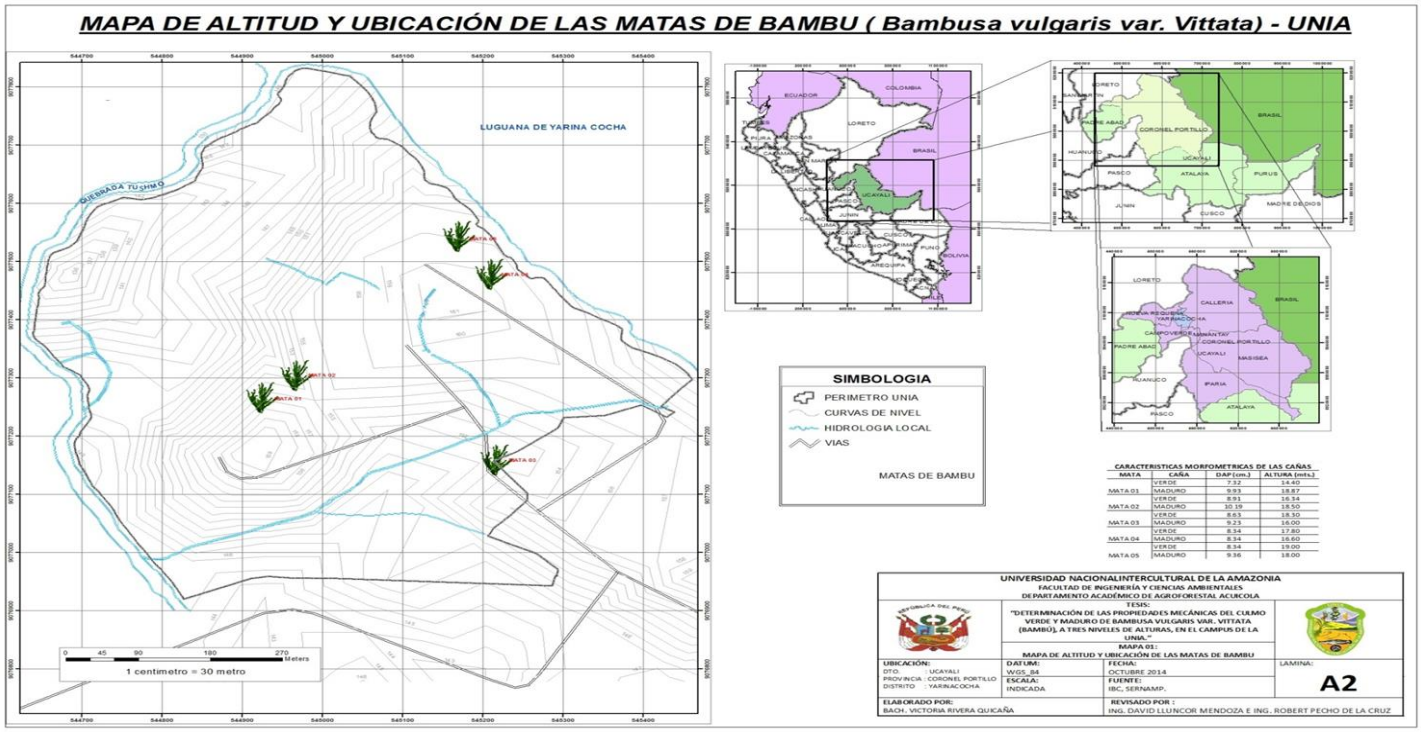
**Ing. Forestal Luis Llerena SuárezGerente**

**PRESERBAMBU E.I.R.L.**

**(CIP 116066)**

Jr. Los Alamos 225 Urb. Alto Los Ficus. Santa Anita — Lima
luisllesu@hotmail.com

**Anexo 2.** Mapa de la ubicación de las cinco matas de bambús dentro del campus de la UNIA.



**Anexo 3.** Datos para el análisis de varianza para las diferentes variables ***Bambusa vulgaris*** Var. Vittata.

| MATA | ESTADO MADUREZ | NIVELES | CONTENIDO DE HUMEDAD % | DENSIDAD SATURADA g/cm | DENSIDAD DE BASICA g/cm3 | DENSIDAD ANHIDRA g/cm | CONTRACCION TANGENCIAL % | CONTRACCION RADIAL % | CONTRACCION LONGITUDINAL % | CONTRACCION VOLUMETRICA % |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | VERDE | BASE | 131.87 | 0.84 | 0.36 | 0.45 | 15.50 | 23.17 | 0.35 | 41.76 |
| | VERDE | BASE | 120.81 | 0.84 | 0.38 | 0.46 | 15.09 | 23.96 | 0.30 | 37.66 |
| | VERDE | BASE | 128.75 | 0.86 | 0.37 | 0.46 | 15.52 | 25.88 | 0.39 | 40.24 |
| | VERDE | BASE | 133.09 | 0.87 | 0.37 | 0.46 | 15.43 | 23.82 | 0.27 | 42.13 |
| | VERDE | MEDIO | 132.76 | 0.84 | 0.36 | 0.51 | 13.23 | 18.55 | 0.21 | 43.68 |
| | VERDE | MEDIO | 128.50 | 0.85 | 0.37 | 0.53 | 13.17 | 18.65 | 0.26 | 40.77 |
| | VERDE | MEDIO | 116.05 | 0.85 | 0.39 | 0.52 | 13.54 | 19.81 | 0.26 | 37.10 |
| | VERDE | MEDIO | 125.94 | 0.84 | 0.37 | 0.53 | 13.46 | 19.16 | 0.22 | 43.86 |
| | VERDE | APICE | 73.30 | 0.85 | 0.49 | 0.58 | 9.12 | 11.36 | 0.13 | 19.81 |
| | VERDE | APICE | 71.06 | 0.85 | 0.50 | 0.57 | 7.92 | 11.33 | 0.15 | 22.53 |
| | VERDE | APICE | 72.57 | 0.85 | 0.49 | 0.57 | 9.26 | 11.48 | 0.12 | 21.77 |
| | VERDE | APICE | 67.99 | 0.85 | 0.50 | 0.58 | 8.20 | 11.41 | 0.14 | 19.22 |
| | MADURO | BASE | 82.56 | 1.22 | 0.47 | 0.64 | 12.28 | 17.05 | 0.39 | 18.27 |
| | MADURO | BASE | 80.70 | 1.22 | 0.47 | 0.63 | 12.01 | 17.04 | 0.20 | 21.43 |
| | MADURO | BASE | 80.98 | 1.23 | 0.44 | 0.62 | 12.51 | 17.13 | 0.25 | 17.17 |
| | MADURO | BASE | 82.63 | 1.22 | 0.48 | 0.66 | 12.40 | 17.08 | 0.26 | 15.92 |
| | MADURO | MEDIO | 76.13 | 1.24 | 0.58 | 0.72 | 10.14 | 14.34 | 0.11 | 15.72 |
| | MADURO | MEDIO | 75.20 | 1.24 | 0.57 | 0.71 | 10.22 | 13.84 | 0.15 | 6.73 |
| | MADURO | MEDIO | 73.19 | 1.24 | 0.59 | 0.73 | 11.40 | 14.76 | 0.16 | 7.74 |
| | MADURO | MEDIO | 74.14 | 1.25 | 0.58 | 0.72 | 10.53 | 14.29 | 0.12 | 9.85 |
| | MADURO | APICE | 66.81 | 1.06 | 0.65 | 0.82 | 5.65 | 10.61 | 0.08 | 17.18 |
| | MADURO | APICE | 67.96 | 1.28 | 0.63 | 0.84 | 5.66 | 10.39 | 0.09 | 8.00 |
| | MADURO | APICE | 69.63 | 1.19 | 0.66 | 0.82 | 5.86 | 10.72 | 0.02 | 9.63 |
| | MADURO | APICE | 68.33 | 1.27 | 0.67 | 0.84 | 5.34 | 10.60 | 0.01 | 7.11 |
| 2 | VERDE | BASE | 133.18 | 0.82 | 0.35 | 0.44 | 16.30 | 24.85 | 0.29 | 45.56 |
| | VERDE | BASE | 138.39 | 0.82 | 0.34 | 0.45 | 16.25 | 18.42 | 0.32 | 45.00 |
| | VERDE | BASE | 132.41 | 0.84 | 0.36 | 0.45 | 16.50 | 25.30 | 0.37 | 43.81 |
| | VERDE | BASE | 137.85 | 0.82 | 0.35 | 0.45 | 16.20 | 18.71 | 0.25 | 44.41 |
| | VERDE | MEDIO | 112.72 | 0.82 | 0.38 | 0.50 | 11.44 | 19.17 | 0.19 | 40.12 |
| | VERDE | MEDIO | 113.88 | 0.84 | 0.39 | 0.51 | 12.49 | 18.47 | 0.23 | 38.54 |
| | VERDE | MEDIO | 109.49 | 0.83 | 0.40 | 0.52 | 13.21 | 19.66 | 0.22 | 39.78 |
| | VERDE | MEDIO | 111.12 | 0.84 | 0.40 | 0.51 | 13.14 | 19.45 | 0.25 | 39.01 |
| | VERDE | APICE | 95.56 | 0.84 | 0.43 | 0.59 | 11.23 | 13.91 | 0.14 | 29.84 |
| | VERDE | APICE | 97.97 | 0.85 | 0.43 | 0.56 | 11.20 | 14.22 | 0.12 | 31.09 |
| | VERDE | APICE | 95.35 | 0.84 | 0.43 | 0.57 | 11.43 | 14.33 | 0.11 | 30.82 |
| | VERDE | APICE | 96.29 | 0.84 | 0.43 | 0.59 | 11.40 | 13.65 | 0.11 | 31.03 |
| | MADURO | BASE | 85.80 | 1.16 | 0.46 | 0.60 | 11.18 | 17.03 | 0.19 | 19.55 |
| | MADURO | BASE | 84.24 | 1.16 | 0.49 | 0.61 | 10.49 | 17.02 | 0.23 | 22.26 |
| | MADURO | BASE | 89.38 | 1.16 | 0.46 | 0.60 | 11.55 | 17.29 | 0.22 | 22.85 |
| | MADURO | BASE | 84.02 | 1.17 | 0.45 | 0.61 | 11.37 | 17.22 | 0.25 | 18.11 |
| | MADURO | MEDIO | 57.21 | 1.21 | 0.56 | 0.69 | 9.51 | 14.43 | 0.14 | 14.58 |
| | MADURO | MEDIO | 57.36 | 1.20 | 0.56 | 0.70 | 9.41 | 13.97 | 0.12 | 17.17 |
| | MADURO | MEDIO | 56.83 | 1.20 | 0.57 | 0.71 | 9.74 | 14.89 | 0.11 | 18.47 |
| | MADURO | MEDIO | 57.38 | 1.21 | 0.59 | 0.71 | 9.61 | 14.47 | 0.11 | 19.03 |
| | MADURO | APICE | 44.07 | 1.24 | 0.64 | 0.78 | 6.15 | 8.96 | 0.06 | 15.68 |
| | MADURO | APICE | 43.42 | 1.25 | 0.63 | 0.81 | 6.13 | 8.76 | 0.12 | 13.29 |
| | MADURO | APICE | 44.30 | 1.24 | 0.65 | 0.82 | 6.33 | 9.05 | 0.02 | 14.02 |
| | MADURO | APICE | 44.44 | 1.24 | 0.62 | 0.82 | 6.21 | 8.86 | 0.02 | 13.23 |
| 3 | VERDE | BASE | 173.81 | 0.84 | 0.31 | 0.47 | 24.65 | 27.09 | 0.36 | 50.89 |
| | VERDE | BASE | 176.64 | 0.84 | 0.30 | 0.46 | 24.58 | 27.12 | 0.35 | 51.84 |
| | VERDE | BASE | 172.14 | 0.83 | 0.30 | 0.44 | 25.28 | 27.29 | 0.31 | 52.01 |
| | VERDE | BASE | 177.99 | 0.84 | 0.30 | 0.49 | 25.24 | 27.17 | 0.28 | 51.23 |
| | VERDE | MEDIO | 85.93 | 0.83 | 0.45 | 0.56 | 16.49 | 22.30 | 0.23 | 25.72 |
| | VERDE | MEDIO | 85.79 | 0.82 | 0.44 | 0.54 | 16.34 | 22.29 | 0.21 | 27.79 |
| | VERDE | MEDIO | 85.32 | 0.82 | 0.44 | 0.57 | 17.10 | 22.63 | 0.19 | 26.04 |
| | VERDE | MEDIO | 81.43 | 0.82 | 0.45 | 0.58 | 16.96 | 22.57 | 0.25 | 25.49 |
| | VERDE | APICE | 60.40 | 0.79 | 0.50 | 0.56 | 13.35 | 15.11 | 0.13 | 20.52 |
| | VERDE | APICE | 53.65 | 0.78 | 0.51 | 0.58 | 13.40 | 15.02 | 0.14 | 18.57 |
| | VERDE | APICE | 62.86 | 0.79 | 0.49 | 0.59 | 14.06 | 15.74 | 0.18 | 21.10 |
| | VERDE | APICE | 64.14 | 0.77 | 0.47 | 0.58 | 13.29 | 15.45 | 0.16 | 24.56 |
| | MADURO | BASE | 82.52 | 1.20 | 0.49 | 0.64 | 15.00 | 14.43 | 0.34 | 20.07 |
| | MADURO | BASE | 82.35 | 1.21 | 0.50 | 0.64 | 15.25 | 14.42 | 0.21 | 19.88 |
| | MADURO | BASE | 82.26 | 1.18 | 0.49 | 0.66 | 15.70 | 14.52 | 0.28 | 22.62 |
| | MADURO | BASE | 82.84 | 1.22 | 0.50 | 0.66 | 15.68 | 14.46 | 0.25 | 21.53 |
| | MADURO | MEDIO | 58.67 | 1.26 | 0.59 | 0.79 | 9.62 | 10.58 | 0.13 | 10.82 |
| | MADURO | MEDIO | 58.42 | 1.26 | 0.63 | 0.76 | 9.63 | 10.55 | 0.14 | 8.11 |
| | MADURO | MEDIO | 58.95 | 1.24 | 0.59 | 0.77 | 9.80 | 10.83 | 0.12 | 11.01 |
| | MADURO | MEDIO | 58.50 | 1.26 | 0.63 | 0.78 | 9.76 | 10.65 | 0.16 | 14.55 |
| | MADURO | APICE | 45.89 | 1.28 | 0.67 | 0.88 | 4.36 | 8.32 | 0.09 | 8.03 |
| | MADURO | APICE | 45.66 | 1.28 | 0.67 | 0.89 | 4.32 | 8.27 | 0.08 | 7.98 |
| | MADURO | APICE | 45.95 | 1.27 | 0.70 | 0.87 | 4.43 | 8.43 | 0.01 | 7.63 |
| | MADURO | APICE | 45.75 | 1.27 | 0.68 | 0.85 | 4.41 | 8.37 | 0.04 | 11.42 |
| 4 | VERDE | BASE | 143.70 | 0.84 | 0.34 | 0.42 | 16.80 | 18.63 | 0.32 | 47.06 |
| | VERDE | BASE | 144.58 | 0.83 | 0.34 | 0.41 | 16.77 | 18.00 | 0.29 | 47.35 |
| | VERDE | BASE | 158.85 | 0.85 | 0.33 | 0.42 | 17.46 | 18.93 | 0.24 | 47.04 |
| | VERDE | BASE | 131.50 | 0.85 | 0.37 | 0.42 | 17.42 | 18.56 | 0.26 | 44.77 |
| | VERDE | MEDIO | 72.67 | 0.82 | 0.48 | 0.54 | 14.89 | 16.44 | 0.18 | 22.18 |
| | VERDE | MEDIO | 88.90 | 0.81 | 0.43 | 0.53 | 14.87 | 17.12 | 0.25 | 33.63 |
| | VERDE | MEDIO | 82.76 | 0.84 | 0.46 | 0.55 | 15.35 | 17.46 | 0.23 | 25.74 |
| | VERDE | MEDIO | 92.44 | 0.83 | 0.43 | 0.55 | 15.12 | 16.36 | 0.20 | 32.27 |
| | VERDE | APICE | 68.98 | 0.76 | 0.45 | 0.58 | 8.91 | 11.88 | 0.11 | 26.88 |
| | VERDE | APICE | 53.22 | 0.78 | 0.51 | 0.59 | 8.78 | 11.74 | 0.12 | 20.00 |
| | VERDE | APICE | 60.38 | 0.73 | 0.46 | 0.58 | 8.97 | 11.95 | 0.15 | 28.86 |
| | VERDE | APICE | 49.62 | 0.76 | 0.51 | 0.56 | 8.93 | 13.00 | 0.16 | 19.77 |
| | MADURO | BASE | 75.15 | 1.16 | 0.45 | 0.61 | 16.29 | 14.51 | 0.27 | 27.81 |
| | MADURO | BASE | 75.81 | 1.16 | 0.49 | 0.64 | 16.25 | 14.50 | 0.25 | 28.36 |
| | MADURO | BASE | 75.16 | 1.17 | 0.47 | 0.62 | 16.83 | 14.52 | 0.23 | 24.83 |
| | MADURO | BASE | 76.72 | 1.16 | 0.48 | 0.63 | 16.64 | 13.48 | 0.28 | 28.58 |
| | MADURO | MEDIO | 53.87 | 1.18 | 0.55 | 0.73 | 9.07 | 11.16 | 0.11 | 15.80 |
| | MADURO | MEDIO | 54.32 | 1.18 | 0.56 | 0.76 | 9.04 | 10.64 | 0.12 | 15.49 |
| | MADURO | MEDIO | 53.24 | 1.18 | 0.54 | 0.73 | 9.25 | 11.34 | 0.15 | 15.07 |
| | MADURO | MEDIO | 53.07 | 1.18 | 0.59 | 0.75 | 9.11 | 11.28 | 0.13 | 13.06 |
| | MADURO | APICE | 47.21 | 1.24 | 0.63 | 0.84 | 3.48 | 9.19 | 0.04 | 7.79 |
| | MADURO | APICE | 47.54 | 1.24 | 0.66 | 0.85 | 3.47 | 9.20 | 0.11 | 8.52 |
| | MADURO | APICE | 47.23 | 1.23 | 0.65 | 0.84 | 3.94 | 9.57 | 0.02 | 8.60 |
| | MADURO | APICE | 47.32 | 1.24 | 0.66 | 0.84 | 3.53 | 9.54 | 0.04 | 6.93 |

| | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 5 | VERDE | BASE | 122.56 | 0.85 | 0.38 | 0.45 | 19.41 | 24.85 | 0.28 | 37.96 |
| | VERDE | BASE | 113.39 | 0.83 | 0.39 | 0.44 | 19.31 | 24.84 | 0.27 | 35.92 |
| | VERDE | BASE | 108.55 | 0.87 | 0.42 | 0.43 | 19.92 | 25.45 | 0.32 | 32.12 |
| | VERDE | BASE | 113.51 | 0.88 | 0.41 | 0.43 | 19.65 | 24.94 | 0.32 | 33.78 |
| | VERDE | MEDIO | 113.10 | 0.86 | 0.40 | 0.56 | 14.40 | 19.61 | 0.24 | 37.32 |
| | VERDE | MEDIO | 117.86 | 0.85 | 0.39 | 0.55 | 14.32 | 18.88 | 0.19 | 36.90 |
| | VERDE | MEDIO | 107.96 | 0.85 | 0.41 | 0.54 | 15.18 | 20.68 | 0.22 | 35.68 |
| | VERDE | MEDIO | 123.91 | 0.85 | 0.38 | 0.56 | 14.83 | 20.38 | 0.29 | 37.62 |
| | VERDE | APICE | 74.07 | 0.86 | 0.49 | 0.57 | 10.26 | 17.19 | 0.15 | 23.64 |
| | VERDE | APICE | 69.91 | 0.84 | 0.49 | 0.58 | 10.22 | 16.06 | 0.13 | 24.12 |
| | VERDE | APICE | 76.47 | 0.83 | 0.47 | 0.57 | 10.59 | 17.52 | 0.16 | 26.86 |
| | VERDE | APICE | 78.02 | 0.85 | 0.48 | 0.58 | 10.39 | 15.60 | 0.15 | 27.10 |
| | MADURO | BASE | 83.72 | 1.15 | 0.49 | 0.64 | 13.29 | 18.49 | 0.24 | 19.04 |
| | MADURO | BASE | 83.34 | 1.17 | 0.49 | 0.62 | 13.27 | 18.46 | 0.27 | 19.45 |
| | MADURO | BASE | 83.79 | 1.18 | 0.47 | 0.64 | 14.38 | 19.20 | 0.22 | 21.25 |
| | MADURO | BASE | 82.82 | 1.17 | 0.48 | 0.61 | 13.35 | 18.56 | 0.28 | 20.42 |
| | MADURO | MEDIO | 54.28 | 1.21 | 0.53 | 0.77 | 10.28 | 16.44 | 0.15 | 11.85 |
| | MADURO | MEDIO | 54.18 | 1.21 | 0.54 | 0.75 | 10.23 | 17.12 | 0.13 | 10.02 |
| | MADURO | MEDIO | 54.31 | 1.21 | 0.54 | 0.76 | 11.43 | 17.46 | 0.16 | 12.25 |
| | MADURO | MEDIO | 53.82 | 1.21 | 0.56 | 0.78 | 11.42 | 16.36 | 0.12 | 13.43 |
| | MADURO | APICE | 44.78 | 1.22 | 0.67 | 0.85 | 8.89 | 11.79 | 0.07 | 9.03 |
| | MADURO | APICE | 43.85 | 1.20 | 0.68 | 0.85 | 7.97 | 11.74 | 0.05 | 8.87 |
| | MADURO | APICE | 44.92 | 1.22 | 0.66 | 0.87 | 8.25 | 11.95 | 0.02 | 8.75 |
| | MADURO | APICE | 44.35 | 1.21 | 0.69 | 0.85 | 7.92 | 11.86 | 0.01 | 10.43 |

**Anexo 4.** Datos de promedios para las diferentes variables ***Bambusa vulgaris*** Var. Vittata.

Promedios de contenido de humedad (%) de Bambusa vulgaris var. vittata

| ESTADO DE MADUREZ | NIVEL | I | II | III | IV | V |
|---|---|---|---|---|---|---|
| VERDE | BASE | 128.63 | 175.14 | 135.45 | 144.66 | 114.50 |
| | MEDIO | 125.81 | 84.62 | 111.80 | 84.19 | 115.71 |
| | APICE | 71.23 | 60.26 | 96.29 | 58.05 | 74.62 |
| MADURO | BASE | 85.86 | 82.49 | 81.72 | 75.71 | 83.42 |
| | MEDIO | 57.19 | 58.64 | 74.67 | 53.62 | 54.15 |
| | APICE | 44.06 | 45.81 | 68.18 | 47.32 | 44.47 |

Promedios de densidad saturada (g/cm³) de Bambusa vulgaris var. vittata

| ESTADO DE MADUREZ | NIVEL | I | II | III | IV | V |
|---|---|---|---|---|---|---|
| VERDE | BASE | 0.85 | 0.83 | 0.84 | 0.84 | 0.86 |
| | MEDIO | 0.85 | 0.83 | 0.83 | 0.82 | 0.85 |
| | APICE | 0.85 | 0.84 | 0.79 | 0.76 | 0.84 |
| MADURO | BASE | 1.22 | 1.17 | 1.20 | 1.16 | 1.17 |
| | MEDIO | 1.24 | 1.20 | 1.25 | 1.18 | 1.21 |
| | APICE | 1.20 | 1.24 | 1.28 | 1.24 | 1.21 |

Promedios de densidad básica (g/cm³) de Bambusa vulgaris var. vittata

| ESTADO DE MADUREZ | NIVEL | I | II | III | IV | V |
|---|---|---|---|---|---|---|
| VERDE | BASE | 0.37 | 0.35 | 0.31 | 0.34 | 0.40 |
| | MEDIO | 0.38 | 0.39 | 0.45 | 0.45 | 0.40 |
| | APICE | 0.50 | 0.43 | 0.49 | 0.48 | 0.48 |
| MADURO | BASE | 0.47 | 0.46 | 0.50 | 0.47 | 0.48 |
| | MEDIO | 0.58 | 0.57 | 0.61 | 0.56 | 0.54 |
| | APICE | 0.65 | 0.63 | 0.68 | 0.65 | 0.67 |

Promedios de densidad anhidra (g/cm³) de Bambusa vulgaris var. vittata

| ESTADO DE MADUREZ | NIVEL | I | II | III | IV | V |
|---|---|---|---|---|---|---|
| VERDE | BASE | 0.46 | 0.45 | 0.47 | 0.42 | 0.44 |
| | MEDIO | 0.52 | 0.51 | 0.56 | 0.54 | 0.55 |
| | APICE | 0.58 | 0.58 | 0.58 | 0.58 | 0.58 |
| MADURO | BASE | 0.64 | 0.61 | 0.65 | 0.63 | 0.63 |
| | MEDIO | 0.72 | 0.71 | 0.78 | 0.74 | 0.76 |
| | APICE | 0.83 | 0.81 | 0.88 | 0.84 | 0.85 |

Promedios de contracción tangencial (%) de Bambusa vulgaris var. vittata

| ESTADO DE MADUREZ | NIVEL | I | II | III | IV | V |
|---|---|---|---|---|---|---|
| VERDE | BASE | 15.38 | 16.31 | 24.94 | 17.11 | 19.57 |
| | MEDIO | 13.35 | 12.57 | 16.72 | 15.06 | 14.69 |
| | APICE | 8.63 | 11.31 | 13.53 | 8.90 | 10.36 |
| MADURO | BASE | 12.30 | 11.15 | 15.41 | 16.50 | 13.57 |
| | MEDIO | 10.57 | 9.57 | 9.71 | 9.12 | 10.84 |
| | APICE | 5.63 | 6.21 | 4.38 | 3.60 | 8.26 |

Promedios de contracción radial (%) de Bambusa vulgaris var. vittata

| ESTADO DE MADUREZ | NIVEL | I | II | III | IV | V |
|---|---|---|---|---|---|---|
| VERDE | BASE | 24.21 | 21.82 | 27.17 | 18.53 | 25.02 |
| | MEDIO | 19.04 | 19.19 | 22.45 | 16.84 | 19.89 |
| | APICE | 11.40 | 14.03 | 15.33 | 12.14 | 16.59 |
| MADURO | BASE | 17.07 | 17.14 | 14.46 | 14.25 | 18.68 |
| | MEDIO | 14.31 | 14.44 | 10.65 | 11.10 | 16.84 |
| | APICE | 10.58 | 8.91 | 8.35 | 9.37 | 11.84 |

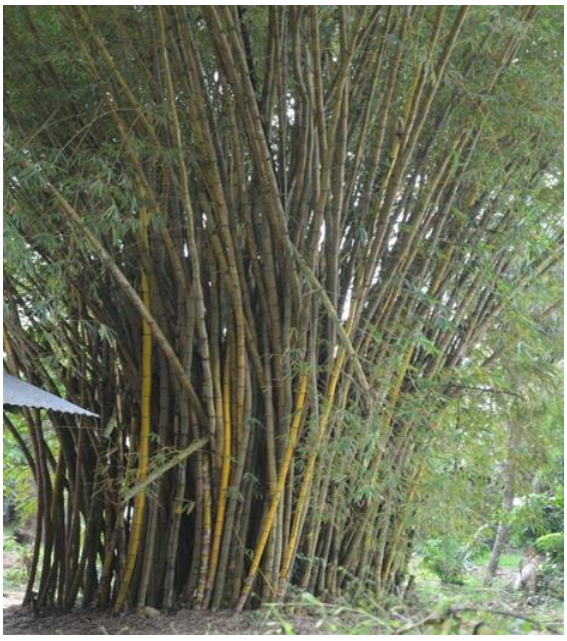
Promedios de contracción longitudinal (%) de Bambusa vulgaris var. vittata

| ESTADO DE MADUREZ | NIVEL | I | II | III | IV | V |
|---|---|---|---|---|---|---|
| VERDE | BASE | 0.33 | 0.31 | 0.33 | 0.28 | 0.30 |
| | MEDIO | 0.24 | 0.22 | 0.22 | 0.22 | 0.24 |
| | APICE | 0.14 | 0.12 | 0.15 | 0.13 | 0.15 |
| MADURO | BASE | 0.28 | 0.22 | 0.27 | 0.26 | 0.25 |
| | MEDIO | 0.14 | 0.12 | 0.14 | 0.13 | 0.14 |
| | APICE | 0.05 | 0.06 | 0.06 | 0.06 | 0.04 |

Promedios de contracción volumétrica (%) de Bambusa vulgaris var. vittata

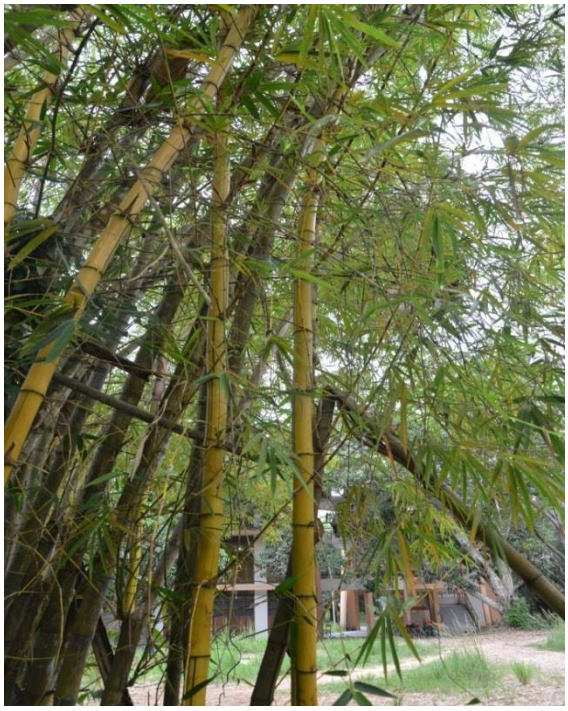
| ESTADO DE MADUREZ | NIVEL | I | II | III | IV | V |
|---|---|---|---|---|---|---|
| VERDE | BASE | 40.45 | 51.49 | 44.70 | 46.56 | 34.94 |
| | MEDIO | 41.35 | 26.26 | 39.37 | 28.45 | 36.88 |
| | APICE | 20.83 | 21.19 | 30.70 | 23.88 | 25.43 |
| MADURO | BASE | 18.20 | 21.02 | 20.69 | 27.39 | 20.04 |
| | MEDIO | 10.01 | 11.12 | 17.32 | 14.85 | 11.88 |
| | APICE | 10.48 | 8.77 | 14.06 | 7.96 | 9.27 |

**Anexo 5.** Ubicación e Identificación de la especie.





**Anexo 6.** Selección y colección de los culmos verdes y maduro.





**Anexo 7.** Seccionamiento en tres partes (Base, Medio y Ápice) y obtención de las probetas de los culmos en estado verde y maduro.






**Anexo 8.** Codificado de probetas de los culmos en estado verde y maduro.



