



**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA CENTROAMERICANA**

**FACULTAD DE INGENIERÍAS**

**PROYECTO DE GRADUACIÓN**

**“EL BAMBÚ COMO MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN ALTERNATIVO PARA  
CERRAMIENTOS EN EDIFICACIONES”**

**PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO**

**INGENIERO CIVIL**

**PRESENTADO POR:**

**10911006      KARLA MARÍA CARRANZA ZÚNIGA**

**ASESOR TEMÁTICO: ING. JULIO CESAR LÓPEZ ZERÓN**

**ASESOR TEMÁTICO: ING. NAHÚN ERNESTO FÚNEZ NÚÑEZ**

**ASESOR METODOLÓGICO: ING. KARLA ANTONIA UCLÉS BREVÉ**

**UNITEC, CAMPUS TEGUCIGALPA; ABRIL, 2020.**

## **AGRADECIMIENTOS**

Le agradezco a Dios por haberme dado el privilegio y la oportunidad de poder culminar con mi carrera, de darme sabiduría en todo el trayecto y poder llegar a la meta.

A mis padres, Karla Zúniga y Joaquín Carranza, que siempre han estado en apoyo constante, dándome ánimo y fortaleza, al igual que a mi hermano Luifer, por ser mi aliado incondicional.

A mis catedráticos que dieron un aporte significativo a lo largo de mi carrera, enseñándome muchas lecciones académicas y de vida.

A las personas especiales que conocí durante estos años, que más que mis colegas se convirtieron en grandes amigos y cómplices, pasando momentos de estrés y momentos de celebración que fortalecieron la amistad.

A la empresa donde laboro, "ASP Consultores", por darme la oportunidad de seguir creciendo como profesional para cumplir con excelencia cada una de mis obligaciones en el ámbito laboral.

A todos mis amigos y familiares por la confianza puesta en mí en todo momento.

## RESUMEN EJECUTIVO

El bambú *Guadua Angustifolia* ha sido utilizado como material de construcción debido a sus propiedades físicas y mecánicas. La especie se ha encontrado en la zona centro norte del país, en plantaciones controladas en la Escuela Agrícola Panamericana Zamorano y en el Jardín Botánico Lancetilla, por lo que se ha llevado a cabo este trabajo de investigación con el objetivo de proponer el cultivo de esta especie de bambú, en zonas propicias del país, para utilizarlo en cerramientos de edificaciones, específicamente para paredes y cubiertas.

Para caracterizar mecánicamente esta especie de bambú se ha calculado, a partir de ensayos de laboratorio la resistencia a la compresión (psi) y se ha utilizado la estadística para definir la ecuación  $y = -251 - 303x + 542z + 30344w$ , de manera que se pueda estimar la resistencia esperada o variable dependiente "y", a través de las variables independientes consistentes en área de contacto "x" (pulg<sup>2</sup>), altura "z" (pulgadas) y densidad "w" (libras/ pulg<sup>3</sup>), de las muestras de bambú *Guadua Angustifolia* obtenidas del Parque Cerro Juana Laínez, Tegucigalpa, MDC. Así mismo, se ha calculado la resistencia a la flexión, segunda variable dependiente para caracterizar el bambú *Guadua Angustifolia*, obteniendo la regresión lineal  $y = -17166 + 7366x + 418z + 77563w$ , definida para estimar la resistencia a la flexión, en función del espesor del culmo o tallo del bambú "x" (pulgadas), altura "z" (pulgadas) y densidad "w" (libras/ pulg<sup>3</sup>), variables independientes de muestras de similares características.

Complementariamente se han investigado las condiciones climáticas y de relieve que se requieren para el cultivo de esta especie de bambú, identificando los departamentos de Atlántida, Colón, Comayagua, Cortés, Intibucá, Lempira, Olancho, Santa Bárbara y Yoro, como los más propicios.

Adicionalmente, se ha llevado a cabo una comparación entre la madera de pino y esta especie de bambú, de donde se ha observado una mayor resistencia a la compresión en el bambú y una mayor resistencia a la flexión en la madera de pino.

Finalmente, en función de la comparación entre la madera de pino y el bambú *Guadua Angustifolia* y las características físicas y mecánicas, se ha concluido que puede ser sugerido como material sustituto de la madera de pino para cerramientos en edificaciones.

## ABSTRACT

Guadua Angustifolia bamboo has been used as a construction material due to its physical and mechanical properties. The species has been found in the central north region of the country, in controlled plantations at the Panamerican Agricultural University Zamorano and the Lancetilla Botanical Garden, so this research work has been carried out with the objective of proposing the cultivation of this bamboo species, in favorable areas of the country, to be used in building enclosure, specifically for walls and roofs.

It's been calculated that in order to mechanically characterize this bamboo species, compression resistance (psi) which has been detected from laboratory tests and statistics have been used to define the equation " $y = 9072 - 576x - 1432s + 101z + 549w$ ", so that the expected resistance or dependent variable "y" can be estimated through the independent variables consisting of the contact area "x" (in<sup>2</sup>), external diameter "s" (inches), height "z" (inches ) and weight "w" (pounds), from the Guadua Angustifolia samples obtained from the Cerro Juana Laínez National Park, Tegucigalpa, MDC. Likewise, flexural strength, the second dependent variable to characterize Guadua Angustifolia bamboo, has been found, obtaining linear regression " $y = -23045 + 5824x + 771z + 521w$ ", defined to estimate the resistance to flexion, based on the thickness of the culm or stem of the bamboo "x" (inches), height "z" (inches) and weight "w" (Pounds), independent variables from samples with similar characteristics.

In addition, the climatic and relief conditions required for the cultivation of this bamboo species have been investigated, identifying the departments of Atlántida, Colón, Comayagua, Cortés, Intibucá, Lempira, Olancho, Santa Bárbara and Yoro, as the most favorable.

Furthermore, a comparison has been carried out between pine wood and this bamboo species, where a higher compressive strength has been seen in bamboo and a greater flex resistance in pine wood.

Finally, based on the comparison between pine wood and Guadua Angustifolia bamboo and the physical and mechanical characteristics, it has been concluded that it can be suggested as a substitute material for pine wood for building enclosures.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

I.	Introducción.....	1
II.	Planteamiento del Problema .....	2
2.1.	Precedentes del Problema .....	2
2.2.	Definición del Problema .....	3
2.3.	Justificación .....	3
2.4.	Preguntas de Investigación .....	5
2.5.	Objetivos.....	6
2.5.1.	Objetivo General.....	6
2.5.2.	Objetivos Específicos.....	6
III.	Marco Teórico .....	7
3.1.	Bosques Nacionales y el Uso de la Madera.....	7
3.2.	El Bambú en el Mundo .....	8
3.3.	Especies de Bambú en Honduras.....	10
3.4.	La Guadua Angustifolia .....	11
3.4.1.	Generalidades .....	11
3.4.2.	Condiciones Climáticas Necesarias para el Cultivo del Bambú.....	15
3.4.3.	Condiciones Climáticas en Honduras .....	16
3.4.4.	Propiedades Físicas del Bambú.....	22
3.4.5.	Propiedades Mecánicas de la Guadua Angustifolia .....	25
3.5.	La Guadua Angustifolia Frente a Otros Materiales.....	27
3.6.	Consideraciones en la Elección de un Tallo de Bambú.....	28
3.7.	Preservación y Secado de la Guadua Angustifolia .....	30
3.7.1.	Preservación Química.....	31
3.7.2.	Estivado para Secado .....	31

3.8.	Empleo del Bambú en Sistemas de Cerramiento en Edificaciones .....	32
3.9.	Empleo del Bambú en Columnas .....	32
3.9.1.	Uniones entre Sobrecimiento y Columnas .....	33
3.9.2.	Unión para Columna con Anclaje Interno (Caso 1) .....	33
3.9.3.	Unión para Columna con Anclaje Externo (Caso 2).....	34
3.10.	Empleo del Bambú en Muros Estructurales .....	35
3.10.1.	Unión entre Sobrecimiento y Muro Estructural de Bambú .....	35
3.10.2.	Unión con Solera de Madera Aserrada .....	35
3.10.3.	Uniones entre Muros.....	37
3.11.	Consideraciones del Bambú en Muros Estructurales .....	37
3.12.	Construcciones con Bambú como Elemento Estructural .....	40
3.12.1.	Construcciones Rurales .....	40
3.12.2.	Construcciones Urbanas .....	40
3.12.3.	Construcciones Turísticas .....	41
3.13.	Empleo del Bambú en Vigas .....	41
3.13.1.	Viga Compuesta de Bambú y Acero de Refuerzo .....	41
3.13.2.	Viga Compuesta Tipo "A" .....	42
3.13.3.	Viga Compuesta Tipo "B" .....	43
3.14.	Empleo del Bambú en Cubiertas .....	43
3.14.1.	Estructura de la Cubierta .....	43
3.15.	Recubrimiento Recomendado en Estructuras de Techo de Bambú .....	46
3.16.	Detalles Constructivos con Bambú en Edificios.....	47
3.17.	Uso del Bambú en Honduras.....	48
3.17.1.	El Bambú para uso en Viviendas.....	48
3.17.2.	El Bambú para uso Comercial.....	48
3.18.	Estadística Aplicada .....	49
3.18.1.	Medidas de Tendencia Central.....	49

3.18.2.	Población y Muestra.....	50
IV.	Metodología.....	51
4.1.	Enfoque.....	51
4.1.1.	Enfoque Cuantitativo.....	51
4.1.2.	Enfoque Cualitativo.....	51
4.2.	VARIABLES DE LA INVESTIGACIÓN.....	51
4.2.1.	VARIABLES DEPENDIENTES.....	51
4.2.2.	VARIABLES INDEPENDIENTES O EXPLICATIVAS.....	52
4.3.	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS APLICADOS.....	52
4.3.1.	Ensayo de Resistencia a la Compresión.....	52
4.3.2.	Ensayo de Resistencia a la Flexión.....	53
4.3.3.	Estadística Descriptiva.....	54
4.4.	MATERIALES.....	55
4.4.1.	Bambú (Guadua Angustifolia).....	55
4.4.2.	Madera de Pino.....	55
4.5.	Población y Muestra.....	55
4.6.	Metodología de Estudio.....	56
4.6.1.	Hipótesis.....	56
4.6.2.	Metodología.....	56
V.	ANÁLISIS Y RESULTADOS.....	57
5.1.	Condiciones Climáticas en Honduras.....	57
5.2.	Ensayos de Laboratorio para el Bambú Guadua Angustifolia.....	58
5.2.1.	Ensayo a Compresión del Bambú Guadua Angustifolia.....	58
5.2.2.	Ensayo a Flexión del Bambú.....	65
5.3.	Ensayos de Laboratorio para la Madera de Pino.....	72
5.3.1.	Ensayo a la Compresión de la Madera.....	73
5.3.2.	Análisis Comparativo a Compresión entre el Bambú y la Madera de Pino.....	74

5.3.3.	Ensayo a la Flexión de la Madera de Pino.....	75
5.3.4.	Análisis Comparativo a Flexión entre el Bambú y la Madera de Pino .....	76
VI.	Conclusiones.....	77
VII.	Recomendaciones .....	79
VIII.	Anexos.....	80
8.1.	Actas de Asesoramiento Técnico .....	80
IX.	Bibliografía .....	88

## **ÍNDICE DE ILUSTRACIONES**

Ilustración 1.	Mapa de deforestación de Honduras.....	2
Ilustración 2.	Ejemplo de vivienda con cerramiento de bambú .....	4
Ilustración 3.	Vista interior del bambú .....	4
Ilustración 4.	Detalle del bambú en estructuras y cerramientos.....	5
Ilustración 5.	Tipos y productos derivados de la madera en Honduras.....	7
Ilustración 6.	Distribución del cultivo del bambú en el mundo.....	8
Ilustración 7.	Cronología de plantaciones de bambú en Costa Rica .....	9
Ilustración 8.	Bambú en el Jardín Botánico Lancetilla .....	10
Ilustración 9.	Bosque y elementos secos de Guadua Angustifolia .....	12
Ilustración 10.	Morfología Guadua Angustifolia .....	13
Ilustración 11.	Usos de la Guadua Angustifolia .....	14
Ilustración 12.	Mapa de temperatura promedio anual en Honduras.....	16
Ilustración 13.	Mapa del relieve de Honduras.....	17
Ilustración 14.	Mapa de precipitación histórica anual en Honduras .....	18
Ilustración 15.	Mapa de humedad relativa promedio anual de Honduras .....	19

Ilustración 16. Mapa de brillo solar promedio anual en Honduras .....	20
Ilustración 17. Mapa de capacidad y uso del suelo en Honduras .....	21
Ilustración 18. Estructura interna de la Guadua Angustifolia .....	23
Ilustración 19. Esquema del ensayo de flexión estática con culmos de bambú .....	26
Ilustración 20. Tallo con hueco para hábitat animal.....	29
Ilustración 21. Tallo con deformaciones.....	29
Ilustración 22. Tallo con enfermedad producto de plagas.....	30
Ilustración 23. Preservación química de tallos de Guadua Angustifolia .....	31
Ilustración 24. Secado por estivado .....	31
Ilustración 25. Unión con anclaje interno .....	34
Ilustración 26. Unión con anclaje externo.....	34
Ilustración 27. Unión con varilla de acero anclada.....	36
Ilustración 28. Unión con varilla de hierro roscada.....	36
Ilustración 29. Uniones entre muros.....	37
Ilustración 30. Tipo de corte boca de pescado.....	38
Ilustración 31. Tipo de corte de pico de flauta .....	38
Ilustración 32. Panel con estructura de culmos.....	39
Ilustración 33. Detalle uniones en panel con estructura de culmos de guadua.....	39
Ilustración 34. Paneles estructurales con guadua.....	39
Ilustración 35. Panel de Guadua Angustifolia.....	40
Ilustración 36. Bambú aplicado en paredes de vivienda.....	40
Ilustración 37. Bambú en zoológico de Leipzig, Alemania.....	41
Ilustración 38. Viga compuesta.....	41

Ilustración 39. Detalles de conectores de sección compuesta .....	42
Ilustración 40. Viga compuesta tipo A .....	42
Ilustración 41. Viga compuesta tipo B.....	43
Ilustración 42. Uniones diagonales.....	45
Ilustración 43. Unión perpendicular con perno .....	46
Ilustración 44. Bambú utilizado en cubiertas.....	47
Ilustración 45. Bambú utilizado en cubiertas.....	47
Ilustración 46. Vivienda en San Antonio de Cortés, Honduras.....	48
Ilustración 47. Comercio en Puerto Cortés, Honduras.....	48
Ilustración 48. Máquina de ensayo a compresión.....	53
Ilustración 49. Máquina de ensayo a flexión .....	54
Ilustración 50. Ícono del Software Minitab.....	54
Ilustración 51. Ubicación de extracción de muestras de bambú .....	58
Ilustración 52. Muestras de bambú para ensayo a compresión.....	59
Ilustración 53. Registro de alturas                      Ilustración 54. Registro de pesos .....	59
Ilustración 55. Ensayo a compresión del bambú.....	60
Ilustración 56. Gráfico de resistencia a la compresión vs. área de contacto (bambú) .....	63
Ilustración 58. Gráfico de resistencia a la compresión vs. altura (bambú) .....	63
Ilustración 59. Gráfico resistencia a la compresión vs. densidad (bambú).....	64
Ilustración 60. Muestras de bambú para ensayo a flexión .....	65
Ilustración 61. Registro de pesos de muestras de bambú .....	65
Ilustración 62. Ensayo a flexión del bambú.....	67
Ilustración 63. Gráfico resistencia a la flexión vs. espesor (bambú) .....	69

Ilustración 64. Gráfico resistencia a la flexión vs. altura .....	70	
Ilustración 65. Gráfico resistencia a la flexión vs. densidad.....	70	
Ilustración 66. Muestras de madera rolliza de pino.....	72	
Ilustración 67. Registro de diámetros	Ilustración 68. Registro de pesos.....	72
Ilustración 69. Ensayo de resistencia a la compresión (madera).....	73	
Ilustración 70. Comparativa a compresión de bambú y madera .....	74	
Ilustración 71. Ensayo de resistencia a la flexión de la madera.....	75	
Ilustración 72. Comparativa a flexión de bambú y madera .....	76	

### **ÍNDICE DE TABLAS**

Tabla 1. Características y usos de la Guadua Angustifolia según su segmento longitudinal .....	24
Tabla 2. Resistencia mecánica de la guadua.....	27
Tabla 3. Comparativa de bambú frente a otros materiales.....	28
Tabla 4. Cantidad de muestras por ensayo .....	55
Tabla 5. Condiciones climáticas de Honduras.....	57
Tabla 6. Datos de las muestras de bambú para ensayo a compresión .....	60
Tabla 7. Resultados obtenidos del ensayo a compresión del bambú.....	61
Tabla 8. Estadística descriptiva de resistencia compresión del bambú.....	61
Tabla 9. Resistencia a compresión ajustada y residuo del bambú .....	62
Tabla 10. P-valor de variables en la ecuación .....	62
Tabla 11. Resumen de R <sup>2</sup> por variable .....	64
Tabla 12. Datos de las muestras de bambú para ensayo a flexión .....	66
Tabla 13. Resultados obtenidos del ensayo a flexión del bambú .....	67
Tabla 14. Estadística descriptiva de resistencia a flexión del bambú .....	67

Tabla 15. Resistencia a flexión ajustada y residuo del bambú.....	68
Tabla 16. P-valor por variable.....	69
Tabla 17. Resumen de R <sup>2</sup> obtenidos por variable.....	71
Tabla 18. Comparativa con otros autores.....	71
Tabla 19. Datos obtenidos de las muestras de madera .....	73
Tabla 20. Resultados de resistencia a la compresión de la madera.....	74
Tabla 21. Tabla comparativa de resistencia a la compresión .....	74
Tabla 22. Datos obtenidos muestras madera.....	75
Tabla 23. Resultados del ensayo a la flexión de la madera.....	76
Tabla 24. Tabla comparativas de resistencia a flexión .....	76

### **ÍNDICE DE ECUACIONES**

Ecuación 1. Resistencia a la compresión.....	25
Ecuación 2. Esfuerzo de flexión.....	26
Ecuación 3. Media de una muestra .....	49
Ecuación 4. Regresión lineal resistencia a la compresión del bambú.....	61
Ecuación 5. Regresión lineal para la resistencia a la flexión del bambú .....	68

## **GLOSARIO**

**Basa:** Parte del culmo de la guadua que más se utiliza, el diámetro es intermedio y la distancia entre nudos es mayor que en la cepa, tiene una longitud aproximada de 11 metros.

**Cepa:** Es la parte del culmo con mayor diámetro y espesor de pared, posee una longitud aproximada de 4 metros y en la construcción se utiliza como columna.

**Culmo:** Se refiere al tallo fistuloso y articulado de las gramíneas, formado por nudos, entrenudos o internodios.

**Rastrel:** Listón grueso de madera o bambú que sirve de base para clavar o fijar otros elementos de revestimiento de una pared, suelo, techo, etc.

**Sobrebasa:** Parte del culmo donde el diámetro es menor y la distancia entre nudos es un mayor, comparado con la basa, la longitud es menor, aproximadamente cuatro metros.

## **I. INTRODUCCIÓN**

El uso del bambú como material constructivo es una de las opciones para aportar al equilibrio del ser humano con la naturaleza, como una propuesta a favor de la disminución de la tala de los bosques de pino, por lo que, conociendo sus propiedades físicas, mecánicas y estructurales, puede ser sugerido como material alternativo en el rubro de la construcción.

Tomando en consideración que Honduras posee las condiciones climáticas y el tipo de suelo necesarios para la producción de la especie *Guadua Angustifolia*, además de la rapidez de propagación que la caracteriza, se analizará el bambú como alternativa para la sustitución de la madera de pino como material de construcción.

Las plantaciones de *Guadua Angustifolia* que se encuentran en la zona norte del país pueden extenderse a áreas mayores, tomando como ejemplo a Costa Rica, país centroamericano que cuenta con cultivos superiores a 1000 hectáreas, tal como lo reflejan investigaciones que lo proponen como material de construcción, para lo que se llevan a cabo capacitaciones regionales, tanto para la producción como para el procesamiento, lo que podría experimentarse en Honduras.

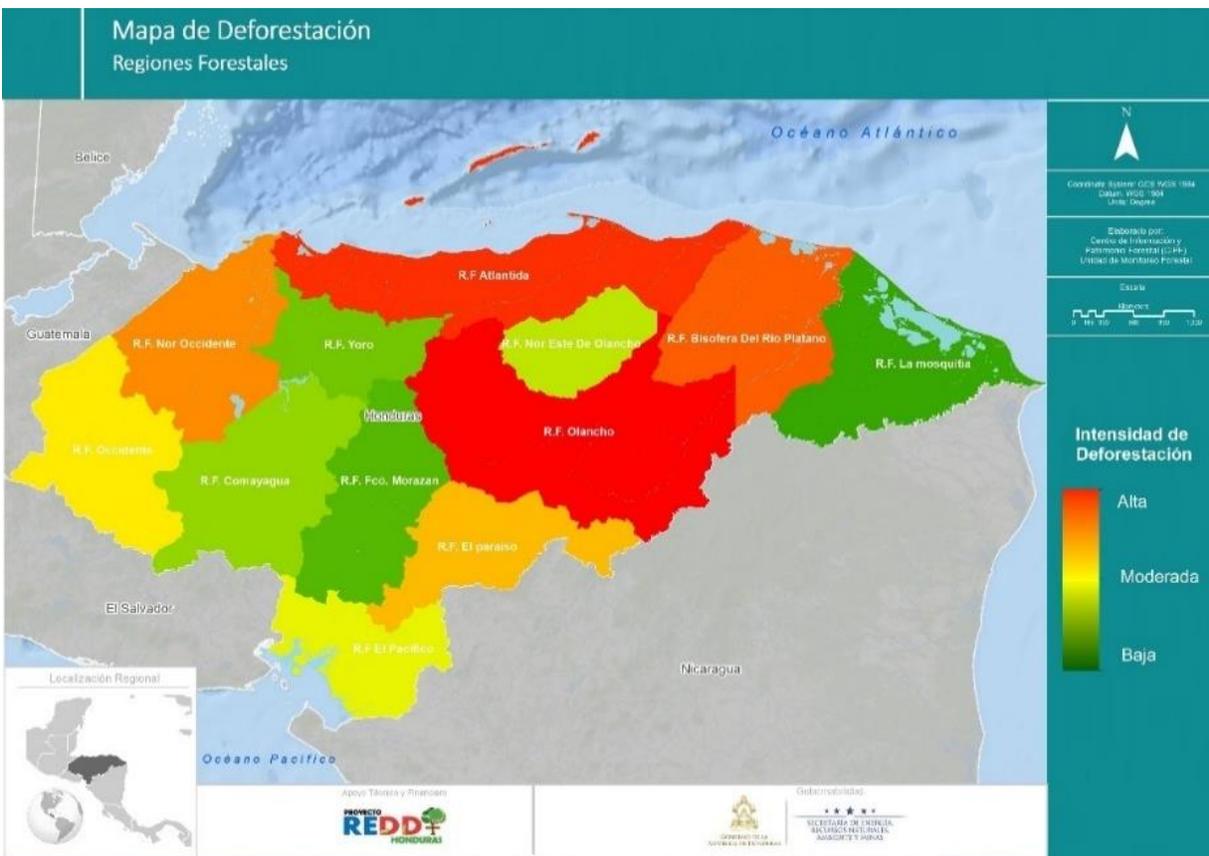
En la presente investigación se analizará qué departamentos de Honduras son aptos para el cultivo del bambú *Guadua Angustifolia* en función de las condiciones climáticas y características geográficas. Así mismo, mediante pruebas de laboratorio se analizarán las propiedades mecánicas de resistencia a compresión y flexión, para determinar los tipos de sistemas constructivos en los que el bambú puede convertirse en un material sustituto de la madera de pino.

El analizar las propiedades físicas y mecánicas del bambú servirá para proponerlo como material en cerramientos de edificaciones, específicamente para paredes y cubiertas.

## II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

### 2.1. PRECEDENTES DEL PROBLEMA

La deforestación del país se ha incrementado en las últimas décadas registrándose un avance significativo, según cifras que reflejan el comportamiento en los últimos 40 años, durante los cuales se han deforestado 1.7 millones de hectáreas de bosque, lo que equivale a toda la superficie del departamento de Gracias a Dios, de acuerdo con estudios desarrollados por la Organización de las Naciones Unidas (ONU) y el Instituto de Conservación Forestal (ICF). (Cespad, 2015)



**Ilustración 1. Mapa de deforestación de Honduras**

Fuente: (Forestal, Unidad de Monitoreo, 2019)

Para evitar el avance de la deforestación es necesaria la concientización de la población en el uso de materiales alternativos en sustitución de la madera de pino, tales como el bambú, de manera que se pueda contrarrestar la tala excesiva de los bosques, en beneficio del medio ambiente.

Además de deforestación, la tala de los bosques propicia conflictos territoriales, lo que representa un costo social, debido a los efectos de la lucha por la apropiación de los recursos naturales, provocada por la disminución de las fuentes de agua, la agudización de los periodos de sequía, el aumento de la pobreza y la migración. (Cespad, 2015)

## **2.2. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA**

La tala desmedida de los bosques nacionales, debido al uso intensivo de la madera como material de construcción, está provocando un daño irreparable al medio ambiente, especialmente en perjuicio de las fuentes de agua, por lo que realizar una investigación sobre materiales que sustituyan a la madera de pino, en este caso del bambú *Guadua Angustifolia*, se vuelve imperativo para el sector construcción, de manera que se colabore con la preservación del medio ambiente, aprovechando la ventaja que posee el bambú de propagarse rápidamente, caso contrario de los bosques de pino, que requieren de aproximadamente 3 veces más de tiempo (Falck, 2015) para volverse sostenibles.

## **2.3. JUSTIFICACIÓN**

Honduras es un país con un alto índice de pobreza, 52.6% de la población total para 2017 (Banco Mundial, 2019). El bambú, por ser un material de rápido crecimiento, puede aportar no solo en materia ambiental, sino en términos económicos al sector construcción, utilizándolo como material de construcción alternativo en sustitución de la madera de pino, como puede observarse en las imágenes que se muestran a continuación, de viviendas con cerramientos de bambú.

El bambú es económicamente viable como materia prima, es la especie forestal con mayores posibilidades de suplir la demanda de especies maderables a menores costos como ha sido utilizado en China y Costa Rica. Así mismo, debido a sus propiedades físico-mecánicas que le confieren resistencia, durabilidad y funcionalidad, la *Guadua Angustifolia*, es un material sustituto para la construcción habitacional y otros. (González, 2017)



**Ilustración 2. Ejemplo de vivienda con cerramiento de bambú**

Fuente: (Diario de Centroamérica, 2013)

Según la escala Janka, (Rao, Dhanarajan, & Sastry, 1985) el bambú tiene una dureza y resistencia superior al roble y muy superior al pino y al abeto, maderas comunes en el rubro de la construcción, por lo que al tratarse de una especie de rápido crecimiento puede resultar una solución de menor costo.

La imagen que se comparte a continuación muestra el interior del bambú, cuyo diámetro promedio es de 10cm, además de algunas muestras de su uso en cerramientos, observándose cómo es utilizado para diversos acabados.



**Ilustración 3. Vista interior del bambú**

Fuente: (Bambuterra, 2020)



**Ilustración 4. Detalle del bambú en estructuras y cerramientos**

Fuente: (Bambuterra, 2020)

Siendo un material que cumple en pruebas de resistencia a compresión y flexión, puede sustituir a la madera de pino en función de los resultados, para obras que exijan la misma funcionalidad constructiva, especialmente en cerramientos. Sus características geométricas permiten realizar construcciones artísticamente complejas, poniendo en evidencia el valor de un elemento valioso de la naturaleza forestal, por lo que el bambú representa una solución socioambiental debido a la facilidad y velocidad de expansión de los cultivos.

#### **2.4. PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN**

1. ¿Cuáles son las condiciones climáticas y geográficas necesarias para el cultivo del bambú?
2. ¿Qué departamentos de Honduras son propicios para el cultivo de bambú *Guadua Angustifolia*?
3. ¿Cuál es la resistencia a compresión y flexión de la especie *Guadua Angustifolia*?
4. ¿Cómo explican las características físicas, las resistencias a compresión y flexión del bambú *Guadua Angustifolia*?
5. ¿Para qué tipo de obras, a partir de la resistencia a la compresión y flexión, puede ser utilizado el bambú *Guadua Angustifolia*?
6. ¿Cómo se diferencian el bambú *Guadua Angustifolia* y la madera de pino en función de sus características físicas y mecánicas?

## **2.5. OBJETIVOS**

### 2.5.1. OBJETIVO GENERAL

Definir las propiedades físicas y mecánicas del bambú *Guadua Angustifolia* mediante ensayos de laboratorio e investigación científica, para identificar su uso como material de construcción en cerramientos de edificaciones en sustitución de la madera de pino.

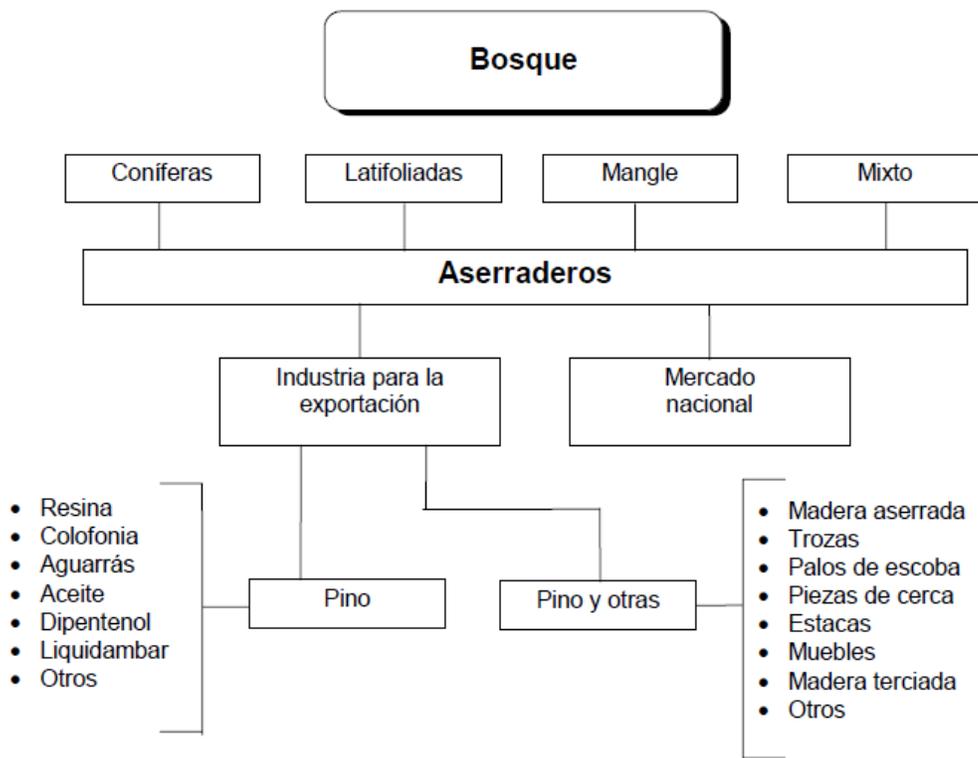
### 2.5.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Investigar las condiciones climáticas y geográficas que propician la expansión de las plantaciones del bambú *Guadua Angustifolia*.
2. Definir qué departamentos de Honduras cumplen con las condiciones necesarias para el cultivo de bambú *Guadua Angustifolia*.
3. Realizar ensayos de resistencia a la compresión y flexión a muestras de bambú *Guadua Angustifolia*.
4. Analizar las características físicas del bambú *Guadua Angustifolia* y como explican las resistencias a compresión y flexión.
5. Definir a partir de la resistencia a la compresión y flexión, para que tipos de obras de cerramiento puede ser utilizado el bambú *Guadua Angustifolia*.
6. Establecer mediante pruebas de laboratorio e investigación científica, las características físicas y mecánicas del bambú *Guadua Angustifolia*.

### III. MARCO TEÓRICO

#### 3.1. BOSQUES NACIONALES Y EL USO DE LA MADERA

El siguiente diagrama muestra los usos de la madera de los bosques nacionales, así como los productos derivados, entre los cuales se encuentra la madera de pino, material de uso masivo en el sector construcción.



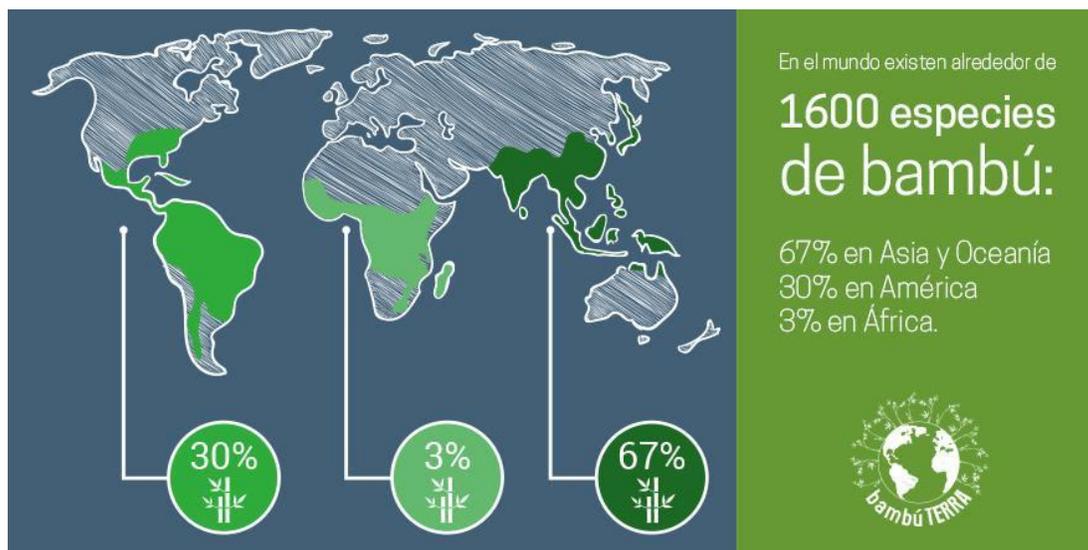
**Ilustración 5. Tipos y productos derivados de la madera en Honduras**

Fuente: (Pomareda, Esteban , & Figueroa, 1998)

La viabilidad del sistema de explotación forestal depende entre otros factores, del mantenimiento del equilibrio en los ecosistemas forestales. Esta es quizás una de las labores fundamentales de la sociedad en la preservación de los bosques, dada su importancia en actividades que favorecen a la economía al proveer una serie de funciones vitales para los demás sistemas vivos, entre los que se cuentan la fijación de carbono, el mantenimiento de las cuencas hidrográficas, el control de la erosión etc. (Pomareda, Esteban , & Figueroa, 1998)

### 3.2. EL BAMBÚ EN EL MUNDO

El bambú es una planta que pertenece a la familia de las Gramíneas o Poaceae (lo mismo que el gras, la caña de azúcar y el arroz, entre otros), existiendo alrededor de 1600 especies a nivel mundial, y propagándose de forma natural en todos los continentes, a excepción de Europa.



**Ilustración 6. Distribución del cultivo del bambú en el mundo**

Fuente: (Bambuterra, 2015)

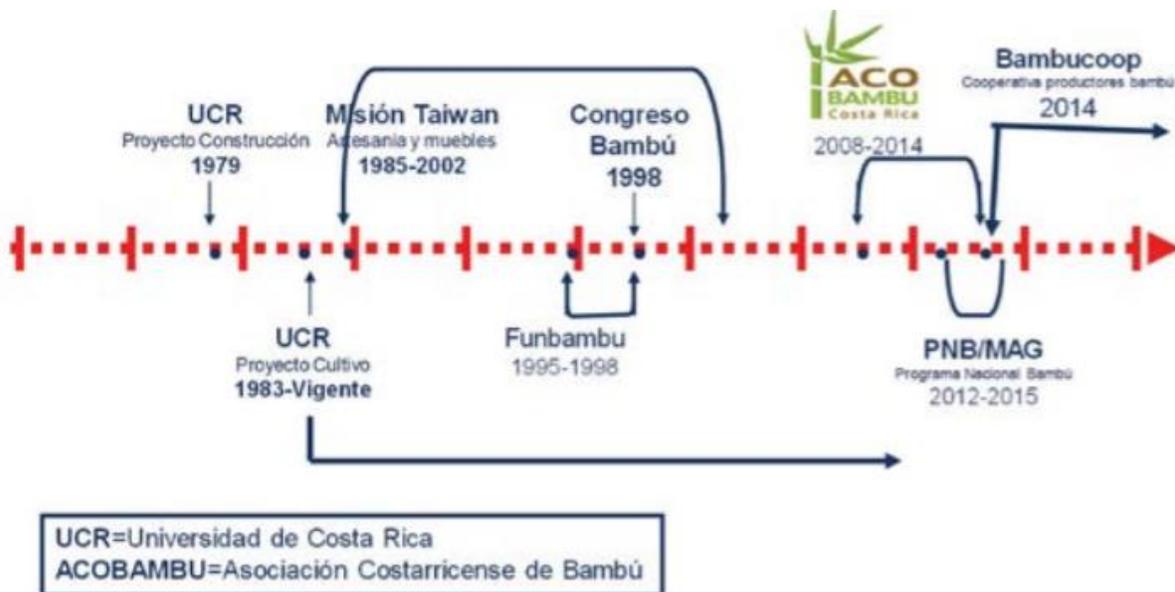
El bambú es conocido como "la planta de los mil usos", por la diversidad de especies y sus distintas características con múltiples usos, desde lo más simple, como cañas para construcción, hasta prendas de vestir, pasando por brotes comestibles, carbón activado, artículos utilitarios, etc. Pueden ser plantas pequeñas (menores a 1 m de alto y de 0.5 cm de diámetro) o muy grandes (de 25 m de alto y hasta 30 cm de diámetro). (Preserbambú, 2019)

En el mundo hay 1.400 especies, de ellas, unas 600 están en Latinoamérica, de las cuales 80 son del género guadua. Unas 40 especies de guadua pertenecen a Centroamérica, donde hay diversos estudios sobre su uso y aplicación en la industria de casas, la confección de muebles y ornamentos. (Diario Ecología, 2019)

Varios países han realizado estudios de bambú, siendo Asia el continente promotor, encontrándose estrechamente vinculado a la civilización china (Hsiung, Bamboo.org, 1991). El uso del bambú puede seguirse retrospectivamente casi hasta la nueva edad de piedra, como prueban

las esteras y cestas de ese material descubiertas en las excavaciones de las ruinas de Hemodu y Shishan en la provincia de Zhejiang, descubiertas hace más de 4800 y 5300 años, respectivamente. Los chinos han usado mucho el bambú por ser de propagación fácil, crecimiento rápido, producción elevada, maduración rápida y baja exigencia de rotación. Por ejemplo, se ha usado tradicionalmente el bambú para la construcción completa de una vivienda, excepto en la chimenea. El bambú ha sido aplicado en vigas, paredes, tabiques, techos, puertas y ventanas, así como en el andamiaje para la construcción de edificios altos. (Hsiung, fao.org, 2019)

(González, 2017) manifiesta que el desarrollo del bambú en Costa Rica nació con las primeras plantas que se introdujeron desde América del Sur. Años después, en 1979, el arquitecto Rafael García Picado incursionó en la construcción de bambú con su proyecto presentado en la Universidad de Costa Rica, y en 1985 se inauguró la primera vivienda construida totalmente con bambú, en Buenos Aires de Puntarenas, de donde surgió el interés de varias instituciones de utilizarlo en viviendas de interés social. Costa Rica cuenta con sitios destinados a la producción y laboratorios para conocer las propiedades mecánicas del bambú, como se muestra esquemáticamente la línea de tiempo de la aceptación del bambú como material de construcción.



**Ilustración 7. Cronología de plantaciones de bambú en Costa Rica**

Fuente: (González, 2017)

### 3.3. ESPECIES DE BAMBÚ EN HONDURAS

El bambú puede suplir a otras especies maderables de más lento crecimiento. Para el caso, un pino tarda 40 años en producir aproximadamente 1.3 m<sup>3</sup> de madera, el bambú produce aproximadamente el triple, en el mismo período de tiempo. (Falck, 2015)

Entre las especies de bambú que prevalecen en Honduras se encuentran la *Guadua Angustifolia* y la *Guadua Aculátea*. La *Guadua Angustifolia*, tiene un diámetro aproximado de 10 cm, cuya textura rectilínea la convierte en la especie de bambú más apropiada como material construcción.

La *Guadua Angustifolia* existente en Honduras provino originalmente de Costa Rica, existiendo viveros en la Escuela Agrícola Panamericana Zamorano, en el departamento de Francisco Morazán y en el Jardín Botánico Lancetilla, en el departamento de Atlántida.



**Ilustración 8. Bambú en el Jardín Botánico Lancetilla**

Fuente: (Durón, 2009)

Cuando se construye una vivienda con bambú se reduce el uso de cemento, ya que se utiliza únicamente para la cimentación, para protegerlo de la humedad. La estructura de bambú se combina (se viste) con paja, palma, teja y se presta a mucha creatividad para dejar un hábitat con diferentes detalles estéticos, tal como puede observarse en países como Costa Rica, donde es común el uso para distintos elementos constructivos en viviendas, reduciendo el uso de la madera.

En Honduras existen dos especies de Guadua: **la Guadua Angustifolia y la Guadua Aculétea.**

Según la Escuela Nacional de Ciencias Forestales (ESNACIFOR) en la actualidad el Jardín Botánico Lancetilla está cubierta por 18 especies: 4 nativas y 14 exóticas. 17 de estas se plantaron en 1927, solamente el Durio se plantó en 1946. Del total, 9 especies son maderables, 4 frutales, 1 gramínea (bambú) y 4 ornamentales. En el Jardín Botánico Lancetilla existen 16 especies de bambú, éstas pertenecen a la familia Gramineae, su reproducción es simple y rápida, se propaga por rizomas y no está en peligro de extinción. Dentro del plan de investigación por parte de la ESNACIFOR se plantea la evaluación de parcelas permanentes de Guadua Angustifolia. (ESNACIFOR, 1998)

¿Cómo se reconoce la guadua? Su tallo es verde, tiene nudos blancos, presenta ramas con espinas en la parte baja y sus hojas son en forma de lanza. Crece de 20 a 25 metros, las ramas pueden llegar medir hasta 30 metros y se desarrolla en grupos de plantas que se llaman "macoyas". La Guadua Angustifolia tiene un diámetro aproximado de 10 cm, por ser rectilínea es apropiada para usarla en construcción. También tiene la ventaja de que se reproduce por "chusquines" o "hijos" que se multiplican fácilmente, encontrándose actualmente en viveros de la Escuela Agrícola Panamericana Zamorano y en el Jardín Botánico Lancetilla. (Falck, 2015)

### **3.4. LA GUADUA ANGUSTIFOLIA**

#### **3.4.1. GENERALIDADES**

De las guaduas presentes en Honduras, la Angustifolia es la más importante, gracias a sus propiedades físico-mecánicas (Importaciones y Proyectos. Especialistas en Bambú, 2018), además de que es considerada como la tercera especie de bambú de mayor extensión en el mundo, superada únicamente por dos especies asiáticas. (Moreno Montoya, Osorio Serna, & Trujillo de los Ríos, 2006)

La guadua no incrementa su diámetro con el paso del tiempo, sino que emerge del suelo con su diámetro final, al ser una monocotiledónea carece de tejido de *cambium* (tejido vegetal específico de las plantas leñosas, situado entre la corteza y el leño), por lo que no "engorda" como los árboles. (Importaciones y Proyectos. Especialistas en Bambú, 2018)



**Ilustración 9. Bosque y elementos secos de *Guadua Angustifolia***

Fuente: (BambúExport, 2020)

Según el tipo de suelo y las condiciones climáticas el diámetro puede llegar a alcanzar de 22 a 25 cm, aunque lo habitual es que se mantengan entre 8 y 13 cm.

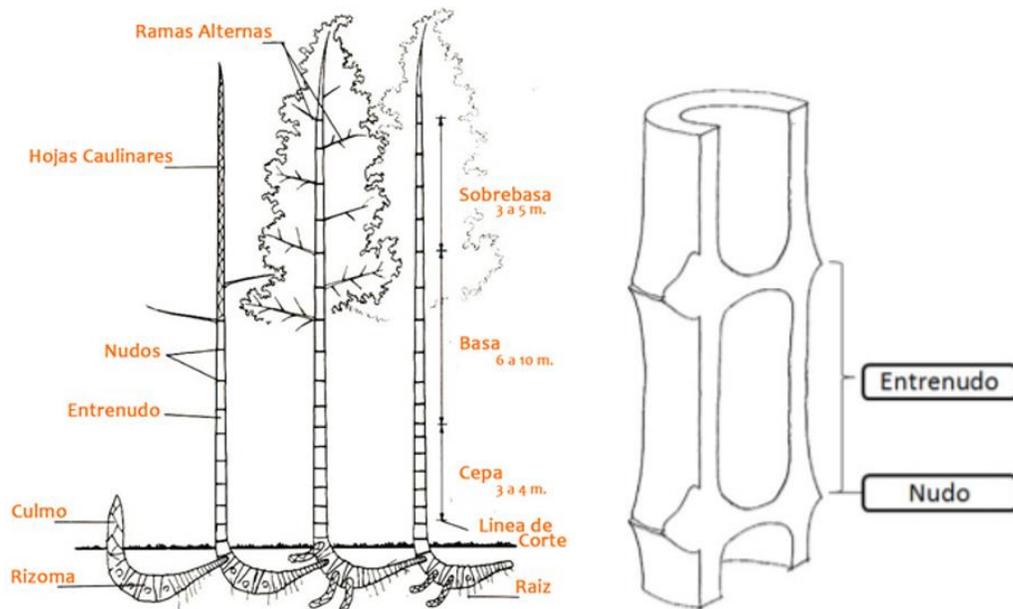
Durante los primeros 6 meses crecen protegidas por hojas caulinares, a un mayor ritmo en comparación a los árboles, y pueden llegar a crecer hasta 15 cm diarios, hasta alcanzar su altura final de 20 a 30 m, caracterizado por un verde intenso en el tallo. A partir de ese momento inicia el desarrollo de las ramas laterales y el follaje y durante los siguientes años, la planta fijará gran cantidad de CO<sub>2</sub> ambiental, aportando biomasa al terreno y desarrollando su estructura leñosa.

Tras unos 4 años el *culmo*, que según (Escobar, Belalcázar, & Rippstein, 1993) "Se refiere al tallo fistuloso y articulado de las gramíneas, formados por nudos, entrenudos o internodios", se vuelve verde claro mate, con evidente presencia de líquenes en su corteza exterior, y es cuando se considera que el tallo tiene la madurez idónea para su uso como material estructural y se puede proceder con el corte. Si este se realiza correctamente (sobre el primer nudo y sin romperlo) comienza en la planta un mecanismo de transferencia rizomática de energía y un nuevo culmo comienza a generarse, con lo que la nueva producción está garantizada. Una explotación regular

y controlada favorece el desarrollo de la guadua en su conjunto y estimula su regeneración natural. (Importaciones y Proyectos. Especialistas en Bambú, 2018)

Se estima que la composición ideal de cañas en un guadual es de un 10% de brotes, un 30% en tallos jóvenes, y un 60% de cañas ya maduras, con una densidad de 4.000 a 8.000 tallos por hectárea. La productividad estimada para un bosque de guadua está entre 1.200 y 1.400 tallos por hectárea/año, lo que la convierte en una alternativa en vez de la madera para la producción de laminados estructurales, tableros, pisos, etc. Los tallos de guadua, con sus más de 20 m. de altura, se despiezan en cañas de longitud estándar de 6 m., y según su posición original en la planta, se establecen 3 secciones diferenciadas.

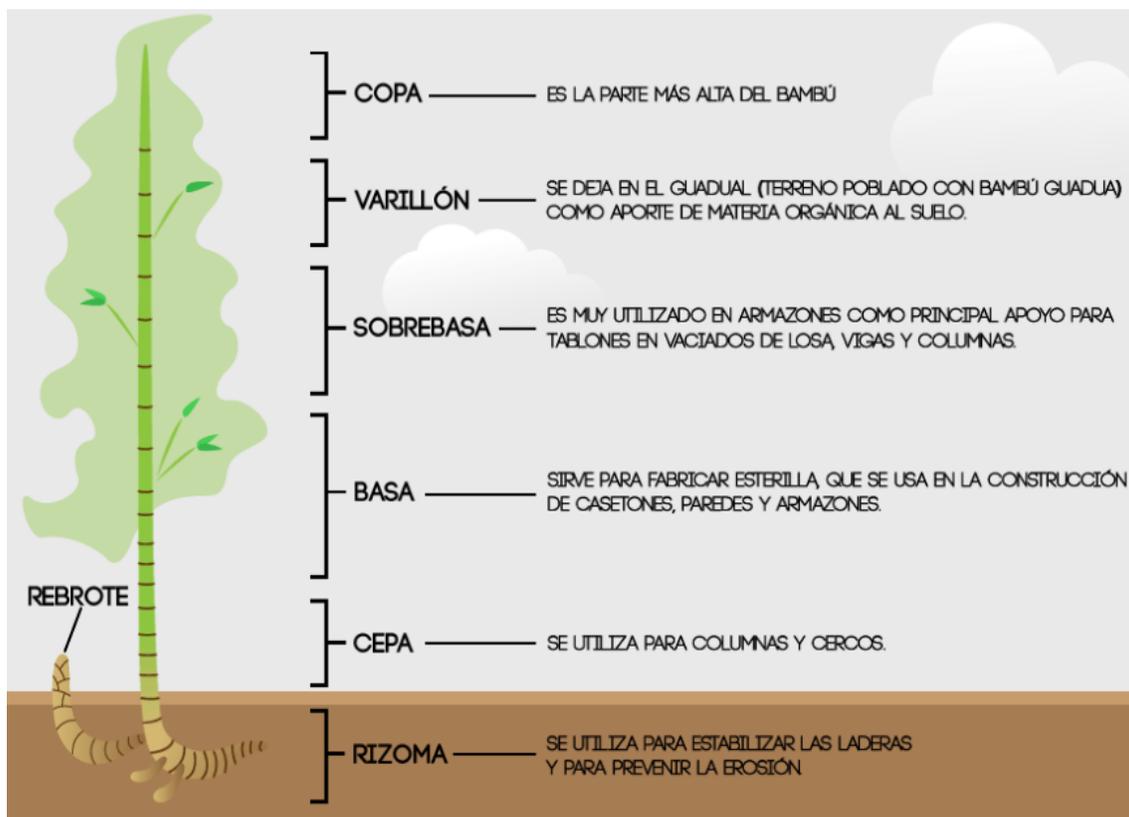
Morfológicamente, la Guadua Angustifolia está compuesta por raíz, tallo, hojas, flores y frutos, sin embargo, es el tallo, y particularmente el culmo, el que es empleado para aplicaciones estructurales. El culmo es una especie de cilindro hueco en el cual se distinguen 3 partes: la cepa, la basa y la sobrebasa, cada una de las cuales a su vez se encuentra dividida en segmentos o entrenudos de entre 10 y 15 cm. de altura, separados por diafragmas (nudos). (Importaciones y Proyectos. Especialistas en Bambú, 2018)



**Ilustración 10. Morfología Guadua Angustifolia**

Fuente: (Importaciones y Proyectos. Especialistas en Bambú, 2018)

Las cañas obtenidas de la sección más alta o *sobrebasa*, presentan paredes finas, pero mantienen un alto contenido en fibra, son usadas para mobiliario auxiliar, viguetas y *rastrales*. Las secciones intermedias o *basa* son esbeltas y muy ligeras en relación con su resistencia, mantienen el diámetro exterior y son fibrosas, por lo que son las piezas más usadas en construcción, especialmente en la fabricación de vigas y cerchas compuestas. Las piezas de la parte inferior se llaman *cepas*, las cuales presentan un gran espesor de pared, entrenudos cortos y por su resistencia a la compresión son perfectas para columnas. (Importaciones y Proyectos. Especialistas en Bambú, 2018)



**Ilustración 11. Usos de la Guadua Angustifolia**

Fuente: (Teneche, 2018)

### 3.4.2. CONDICIONES CLIMÁTICAS NECESARIAS PARA EL CULTIVO DEL BAMBÚ

#### 3.4.2.1. *Temperatura*

Es uno de los factores climáticos limitantes en la distribución de esta especie. El rango óptimo oscila entre los 20° C y los 26° C. Cuando se cultiva en lugares donde los rangos de temperatura se alejan del óptimo, los diámetros y las alturas de los tallos resultan menores afectándose notoriamente el desarrollo vegetativo a temperaturas bajas. (Mateus & Torres Rico, 2018)

#### 3.4.2.2. *Relieve*

El óptimo desarrollo se logra entre los 1000 y los 1600 msnm. (Mateus & Torres Rico, 2018)

#### 3.4.2.3. *Precipitación (Lluvia)*

Esta especie crece deficientemente en áreas donde la precipitación es inferior a 1,200 mm anuales. Los mejores rodales se presentan cuando el rango de precipitación se ubica entre los 2,000 mm y 2500 mm/año. (Mateus & Torres Rico, 2018)

#### 3.4.2.4. *Humedad Relativa*

Factor muy importante en el desarrollo de la especie. La humedad que más favorece el desarrollo de los bosques de guadua está comprendida entre el 75% y el 85%, (Mateus & Torres Rico, 2018)

#### 3.4.2.5. *Brillo Solar*

La luminosidad para un excelente desarrollo de la guadua debe estar comprendida entre 1.800 y 2,000 horas/luz/año, aproximadamente de 5 a 6 horas/luz/día. (Mateus & Torres Rico, 2018)

#### 3.4.2.6. *Características del Suelo*

Los suelos propicios para su plantación son los suelos ricos en materia orgánica, con buenos drenajes, húmedos, pero no inundables, es donde mejor se comporta la guadua. La guadua requiere suelos con profundidad efectiva desde moderadamente profunda hasta muy profundos. El perfil del suelo ideal es el que presenta texturas gruesas y medias, con apariencia textura liviana a mediano. (Delgado, 2006)

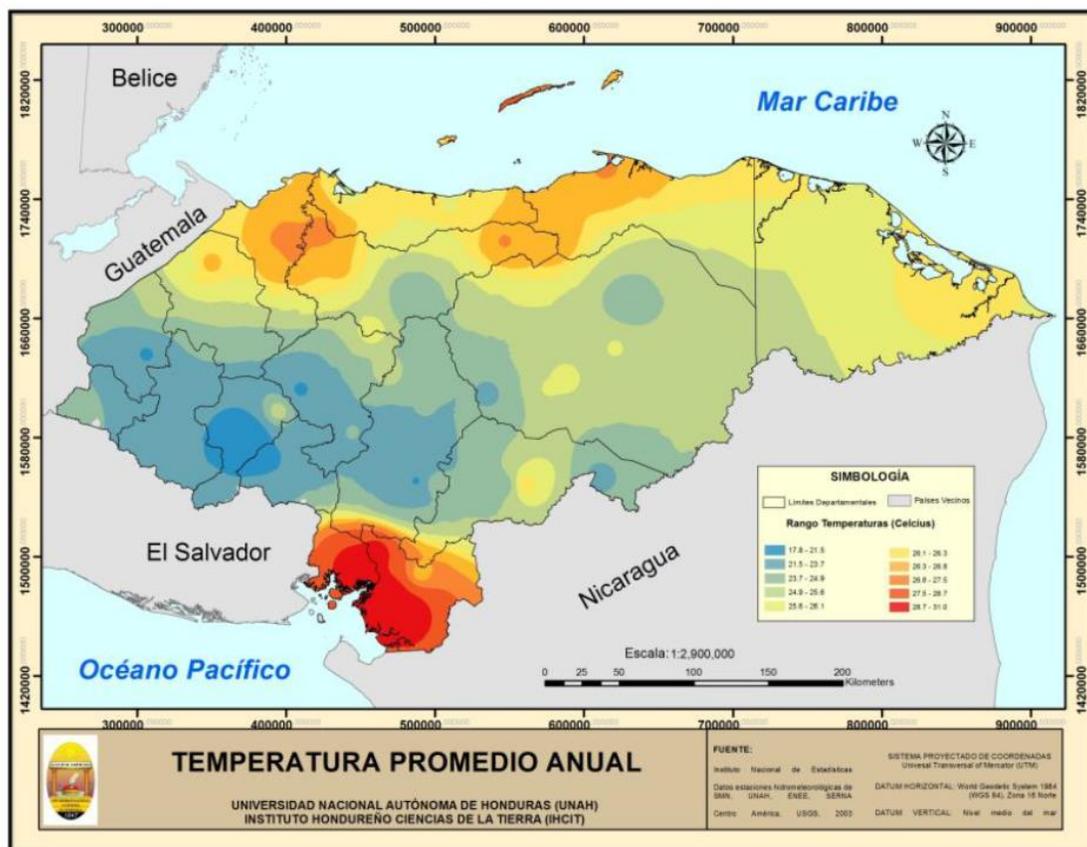
### 3.4.3. CONDICIONES CLIMÁTICAS EN HONDURAS

A continuación, se presenta una serie de mapas con indicadores de las condiciones climáticas en presentes en Honduras.

#### 3.4.3.1. Temperatura

Honduras, por estar localizada en el Ecuador, recibe suficiente cantidad de radiación solar, siendo sus temperaturas medias más elevadas en las costas que en las regiones de la alta montaña, por tener las horas de iluminación casi iguales, debido a la latitud, no hay grandes variaciones en las temperaturas en el transcurso de los distintos meses del año. ( Instituto Hondureño de Ciencias de la Tierra, 2012)

En el siguiente mapa se pueden observar cómo varían las temperaturas en el país siendo los departamentos más cálidos los de la zona sur y los más fríos los departamentos del occidente.

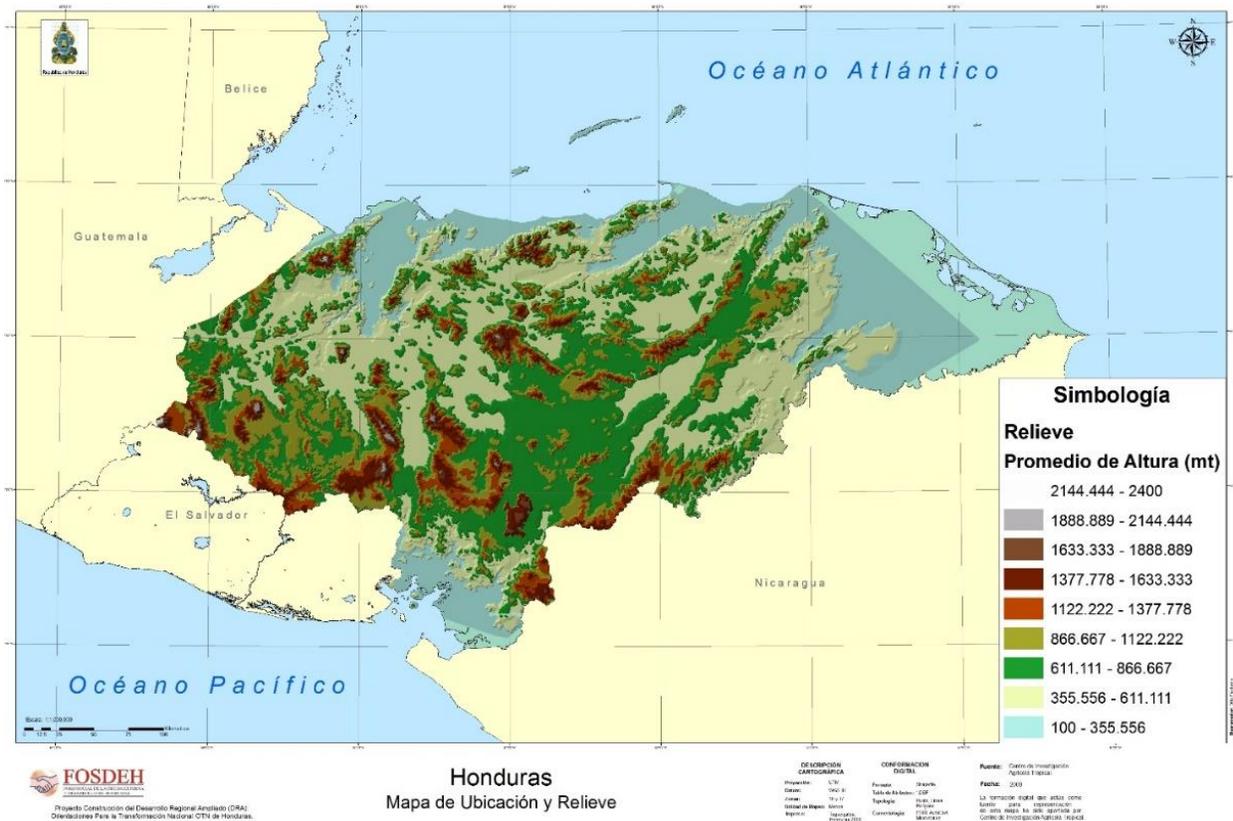


**Ilustración 12. Mapa de temperatura promedio anual en Honduras**

Fuente: ( Instituto Hondureño de Ciencias de la Tierra, 2012)

### 3.4.3.2. *Relieve*

El relieve actual de Honduras, como puede observarse en el siguiente mapa, es una consecuencia de los movimientos orogénicos, así como la actividad volcánica en épocas pasadas. Los movimientos de la tierra que dieron lugar a plegamiento, fracturas y fallas de la corteza terrestre, tanto el vulcanismo, formaron las montañas, colinas, mesetas y llanuras actuales. Además de los factores que podrían llamarse internos y que serían los constructores del relieve, también existen otros factores que podrían llamarse externos, que son igualmente modificadores del relieve; estos son los agentes del modelado, es decir la erosión. ( Instituto Hondureño de Ciencias de la Tierra, 2012)



**Ilustración 13. Mapa del relieve de Honduras**

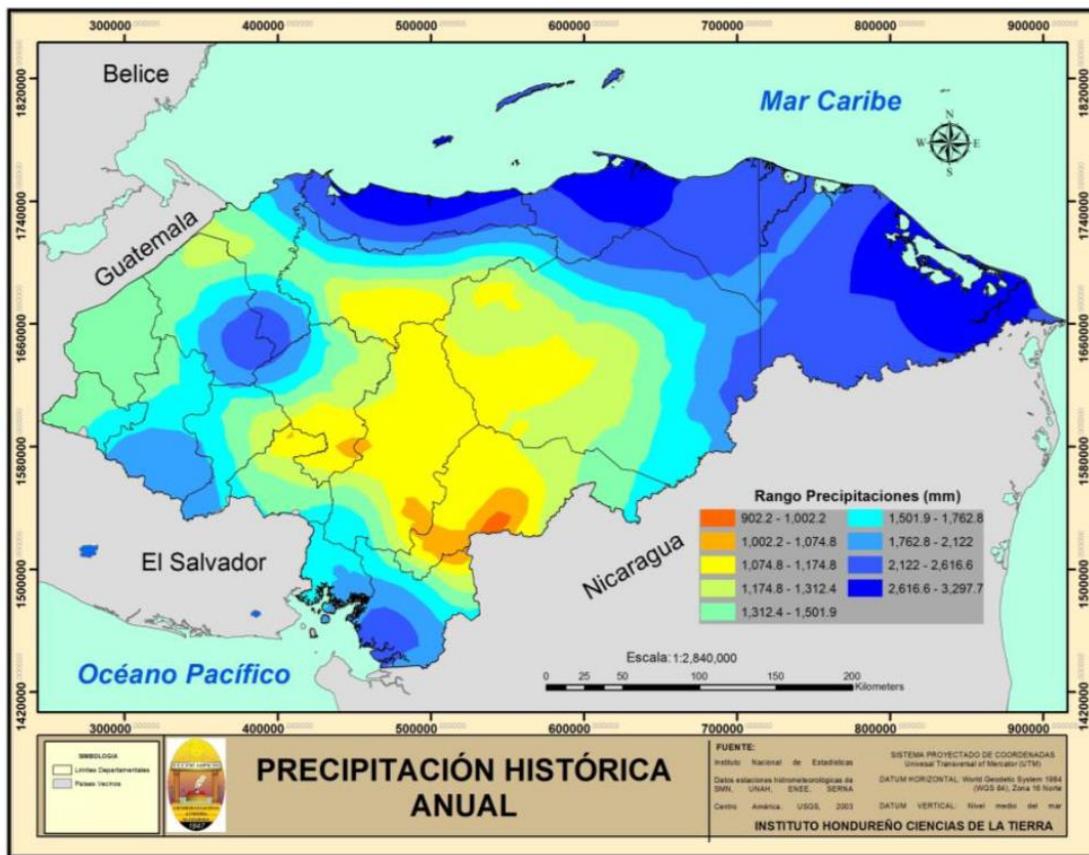
Fuente: (FOSDEH, 2013)

### 3.4.3.3. Precipitación (Lluvia)

La precipitación es cualquier forma de hidrometeoro que cae sobre el suelo. Este fenómeno incluye lluvia, llovizna, nieve, aguanieve, granizo.

Para generar una superficie continua de precipitación se seleccionaron aquellas estaciones climáticas con periodos de al menos 30 años consecutivos de información, aplicándoles métodos estadísticos de relleno donde era necesario y su posterior validación estadística. Dando como resultado 140 estaciones con datos continuos en resolución mensual. ( Instituto Hondureño de Ciencias de la Tierra, 2012)

El siguiente mapa muestra la precipitación promedio anual utilizando los datos históricos y puede observarse que los departamentos del norte y oriente del país con los que presentan mayores precipitaciones, caso contrario el centro del país.



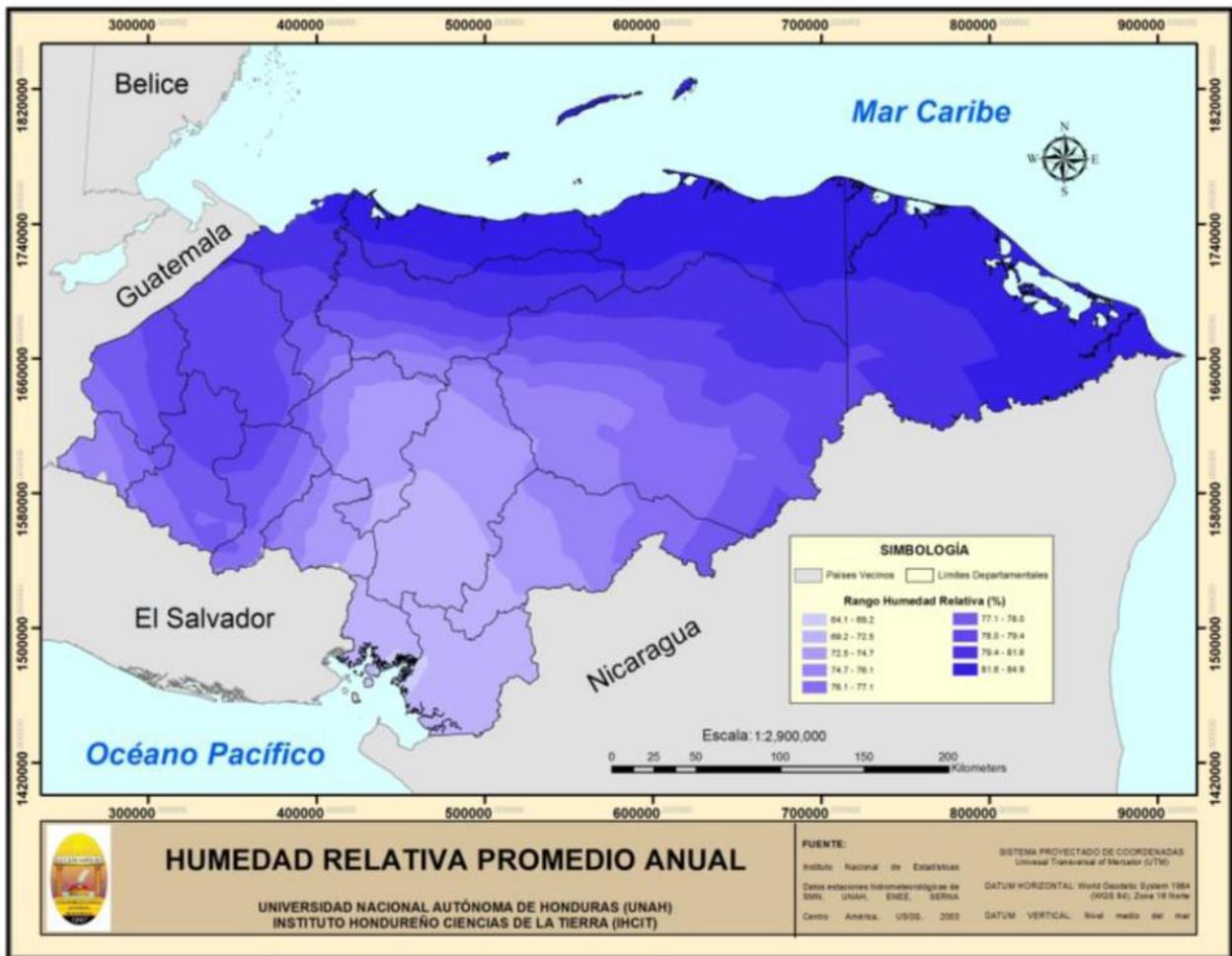
**Ilustración 14. Mapa de precipitación histórica anual en Honduras**

Fuente: ( Instituto Hondureño de Ciencias de la Tierra, 2012)

### 3.4.3.4. Humedad Relativa

Es la relación porcentual entre la cantidad de vapor de agua real que contiene el aire y la que se necesitaría contener para saturarse a idéntica temperatura. ( Instituto Hondureño de Ciencias de la Tierra, 2012)

La humedad relativa es mayor en la zona norte y oriente como lo demuestra el siguiente mapa, siendo los departamentos más secos los de la zona centro y sur.



**Ilustración 15. Mapa de humedad relativa promedio anual de Honduras**

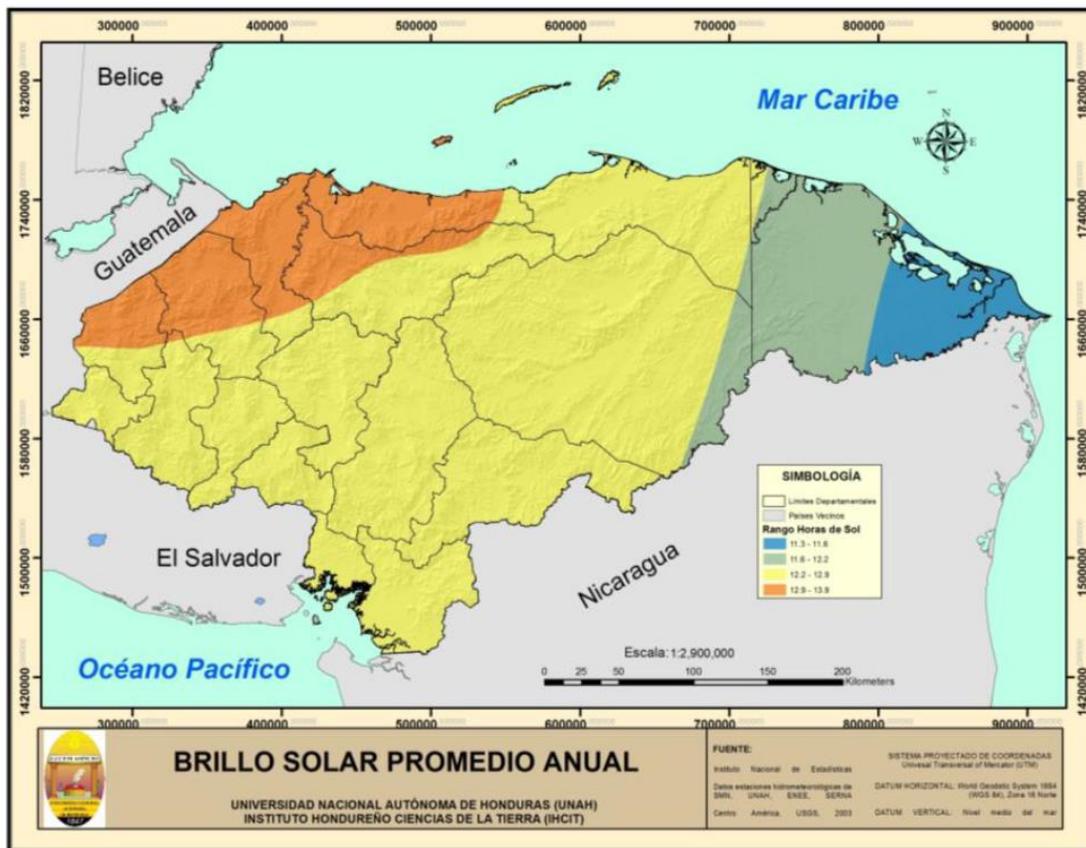
Fuente: ( Instituto Hondureño de Ciencias de la Tierra, 2012)

### 3.4.3.5. Brillo Solar

El brillo solar representa el tiempo total durante el cual incide luz solar directa sobre alguna localidad, entre el alba y el atardecer. El total de horas de brillo solar de un lugar es uno de los factores que determinan el clima de la localidad.

El conocimiento adecuado del régimen de brillo solar, permite estimar características cuantitativas de la nubosidad y radiación solar de forma que se pueda tener una idea sobre la disponibilidad luz del sol para el aprovechamiento de la energía solar en el país. ( Instituto Hondureño de Ciencias de la Tierra, 2012)

Honduras por ser un país tropical recibe muchas horas de luz al día, siendo la zona noroeste la mayoritaria, tal como lo ilustra el siguiente mapa:

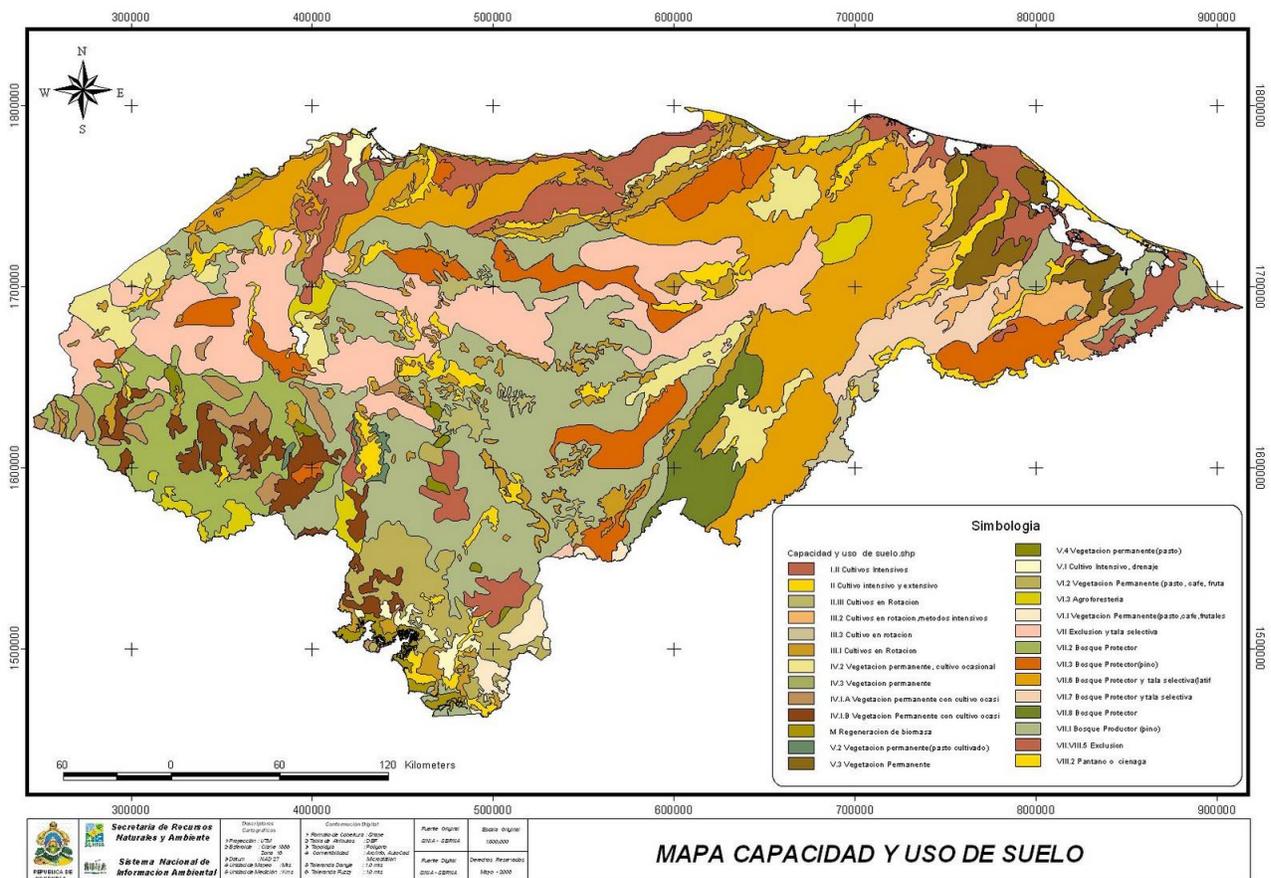


**Ilustración 16. Mapa de brillo solar promedio anual en Honduras**

Fuente: ( Instituto Hondureño de Ciencias de la Tierra, 2012)

### 3.4.3.6. Características del Suelo

Los estudios sobre capacidad y uso del recurso suelo determinan que el 75% de los suelos hondureños son de vocación forestal, incluso es el país centroamericano de mayor cobertura de bosques. Las zonas de bosques están conformadas por bosques sub tropical de ladera con pendientes mayores del 25% con vocación forestal son aptas para establecer combinaciones agrícolas de cultivos perennes. El 25% del territorio nacional es apto para la actividad agropecuaria ubicados generalmente en valles aluviales de buena fertilidad y laderas suaves, aptas para cultivos y ganadería intensiva. (Zambrano Ch., 2008). En el siguiente mapa pueden observarse las distintas tipologías de suelos.



**Ilustración 17. Mapa de capacidad y uso del suelo en Honduras**

Fuente: (Secretaría de Recursos Naturales y Ambiente, 2008)

#### 3.4.4. PROPIEDADES FÍSICAS DEL BAMBÚ

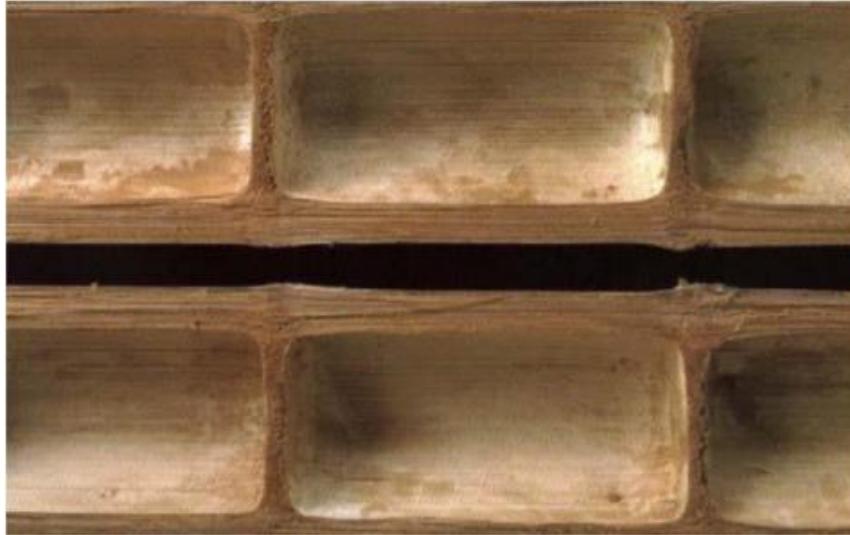
Una característica de todo producto de la naturaleza es su variabilidad; la guadua como tal es buen ejemplo de ello. No existen dos pedazos de guadua iguales, aun siendo parte del mismo tallo o caña. Se presentan condiciones del ambiente como son el suelo y el clima que afectan la tasa de crecimiento, así como la estructura, la forma y las propiedades de resistencia. Se pueden mencionar otros ejemplos que son fuentes de variación en las propiedades de la guadua como la presencia o ausencia de luz y las labores silviculturales en el guadual como la poda de ramas. Se puede concluir entonces, que la guadua es un material bastante heterogéneo en su constitución interna, producto del medio ambiente donde se desarrolle.

En el diseño de una construcción el arquitecto o ingeniero debe garantizar seguridad, calidad, economía y durabilidad, aplicando su conocimiento científico y tecnológico. En el campo de la construcción, el comportamiento de los elementos estructurales tiene una fuerte relación frente a los diferentes esfuerzos a que se ven sometidos:

- Altura: de 18 a 30m, dependiendo de la edad
- Diámetro: entre 8 y 20 cm en la base y 3 cm en su extremo superior
- Espesores: entre 2 y 2.5 cm en la base y 1 cm en su extremo superior
- Distancia entre nudos: de 7 a 10 cm en la base, con separación entre 25 y 35 cm

El bambú posee los mismos compuestos orgánicos que las demás maderas, con una composición de 40% Celulosa, 25% Hemicelulosa y 25% de Lignina, el resto, lo representan los componentes hidrosolubles de la planta (azúcares, almidones, ceras, taninos y sales inorgánicas). Entre estos, los almidones (2 – 6%) determinan la vulnerabilidad del bambú para el ataque de insectos, dependiendo de la edad del culmo, el tipo de suelo donde se encuentra plantado y por su altura (su sobrepasa tiene bajos contenidos de almidón). (Grosser et al., 1971)

El material de la guadua está formado por una sustancia que mantiene las fibras unidas. Las fibras crecen axialmente y se consolidan en el extremo superior del tallo, como también en sus bordes externos.



**Ilustración 18. Estructura interna de la Guadua Angustifolia**

Fuente: (Pantoja Trujillo & Acuña Jiménez, 2005)

Las fibras constituyen el tejido que soporta todo el esfuerzo mecánico al que está sometido el tallo debido al viento y otros factores externos, además de su propio peso. Las fibras del bambú en general se caracterizan por su forma delgada, ahusada en ambos lados y en algunos casos bifurcada en los extremos. Se encuentran en los internodos rodeando a los haces vasculares y constituyen entre el 40 y el 50% del tejido total y entre el 60 - 70% del peso total del culmo.

Posee paredes interiores alternadas en capas gruesas y delgadas con diferente orientación. A esta estructura, que no existe en fibras de madera común, se le denomina estructura polilaminar, y aparece especialmente en las fibras ubicadas en la periferia del culmo y el número de capas alternadas o laminadas varía de fibra a fibra. Esto puede ser atribuible en parte a la ubicación del haz vascular, la posición interna de la fibra y de la madurez del tallo. Puede decirse que estas paredes alternadas conducen a que el culmo tenga una excelente resistencia. (Moreno Montoya, Osorio Serna, & Trujillo de los Ríos, 2006).

Según su segmento longitudinal la guadua tiene diferentes utilidades:

**Tabla 1. Características y usos de la Guadua Angustifolia según su segmento longitudinal**

<b>PARTE</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>UTILIZACIÓN</b>
<b>Cepa</b>	Es la sección basal del culmo con mayor diámetro, la distancia de sus entrenudos es corta, lo cual le proporciona una mayor resistencia. Su longitud es aproximadamente de 3,0 metros.	Se utiliza para columnas en construcción, cercos y entibados; para estabilidad de taludes tiene gran uso. Presenta buen comportamiento frente a esfuerzos a flexión gracias a la corta distancia entre nudos.
<b>Basa</b>	Parte de la guadua que posee mayores usos, debido a que su diámetro es intermedio y la distancia entre nudos superior a la de las cepas. Tiene una longitud aproximada de 8,0 metros.	Si el tallo es de buen diámetro se utiliza también para columnas, además de esta sección se elabora la esterilla, la cual tiene múltiples usos en construcción de casetones, paredes, postes y para formaletear.
<b>Sobrebasa</b>	El diámetro es menor y la distancia entre nudos es un poco mayor comparada con la basa. Es un tramo con buen comercio, debido a que su diámetro permite buenos usos. La longitud es de aproximadamente 4,0 metros.	Utilizada como elemento de soporte en estructuras de concreto de edificios en construcción (puntal). También se emplea como viguetas para formaletear vaciados de losas, vigas y columnas.
<b>Varillón</b>	Sección de menor diámetro. Su longitud tiene aproximadamente 3,0 metros.	Generalmente se utiliza en la construcción como apuntalamientos y como soporte (correa) para disponer tejas de barro o paja.
<b>Copa</b>	Es la parte apical de la guadua, con una longitud entre 1,20 a 2,0 metros.	Se pica en el suelo del guadual como aporte de materia orgánica.

Fuente: (Prada Guevara & Zambrano Ordoñez, 2003)

### 3.4.5. PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA GUADUA ANGUTIFOLIA

En la construcción es de suma importancia considerar las propiedades mecánicas de los materiales ya que se refieren a la capacidad de cada material en estado sólido a resistir acciones de cargas o fuerzas.

En el caso del bambú es importante considerar la resistencia a la compresión, flexión, cortante y torsión, tomando en cuenta que la mayor resistencia del bambú se alcanza a partir de los 3 años de crecimiento, una característica que luego no varía con su edad, pero sí en función del proceso de obtención y curado.

#### 3.4.5.1. Resistencia a la Compresión

Se presenta cuando la fuerza actúa acortando una dimensión o reduciendo el Volumen del cuerpo en cuestión; se define como la fuerza total de compresión dividida por el área de la sección transversal de la pieza sometida al esfuerzo. La compresión paralela a la fibra o al grano, está implicada en muchos usos de la guadua, en columnas, postes, puntales para minas y todos aquellos casos donde la madera está sometida a cargas. Del ensayo de compresión perpendicular se obtienen datos para el cálculo de esfuerzo de las fibras al límite proporcional (EFLP), que es el esfuerzo máximo en compresión que la madera puede soportar sin deformarse, máxima resistencia a la compresión y el módulo de la elasticidad.

$$f_{cm\acute{a}x} = \frac{P_{m\acute{a}x}}{A}$$

#### **Ecuación 1. Resistencia a la compresión**

Donde:

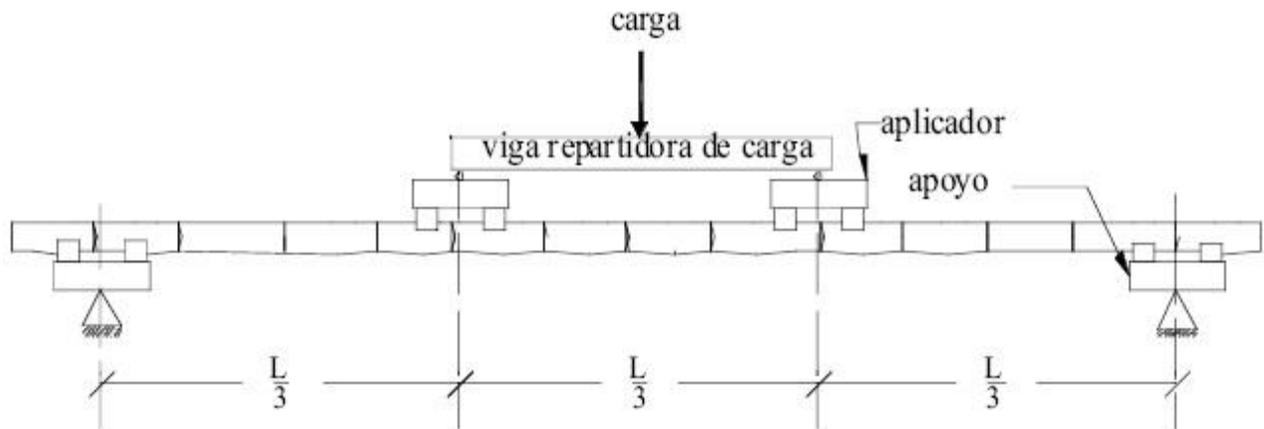
P: carga aplicada (lb)

A: área de la sección transversal de la probeta (pulg<sup>2</sup>)

#### 3.4.5.2. Resistencia a la Flexión

En el uso de la guadua para la construcción, la resistencia de la flexión es una propiedad importante para determinar para el uso de vigas. Entre la compresión paralela, la tracción paralela y la flexión existen las siguientes relaciones: la resistencia a la flexión es alrededor del 75% mayor

que la resistencia a la compresión. La flexión se presenta en partes estructurales denominadas vigas, las cuales en condiciones ideales pueden ser simples, empotradas y viga continua.



**Ilustración 19. Esquema del ensayo de flexión estática con culmos de bambú**

Fuente: (SciELO, 2007)

El esfuerzo de flexión en el bambú para culmos se determina de acuerdo *ISO 22 157-1:2004 Bamboo – Determination of physical and mechanical properties – Part 1 [1]*, con un test de flexión que se realiza aplicando la carga perpendicular al eje del culmo. Con especímenes de Bambú, en este caso guadua se determina la capacidad de flexión de los culmos en cuatro puntos, la carga versus la curva de deflexión vertical y el módulo de elasticidad. Para estas pruebas de flexión se emplea la *Norma DIN EN 52 186* usada para maderas. La siguiente ecuación representa el cálculo del esfuerzo último de flexión.

$$\sigma \text{ último} = F * L * \frac{D}{2} * \frac{1}{6} * I$$

**Ecuación 2. Esfuerzo de flexión**

Donde:

$\sigma$  último: esfuerzo último de flexión, se expresa con una precisión de 1 MPa (N/mm<sup>2</sup>)

F: máxima carga aplicada (N), el total de carga aplicada en dos puntos de carga.

L: espacio libre entre apoyos (mm)

D: diámetro externo (mm)

I: momento de inercia en (mm<sup>4</sup>)

La Tabla 2 muestra una recopilación de resultados de donde distintos autores establecen las resistencias obtenidas a Compresión y Flexión

Donde:

$S_y$  promedio: resistencia de rotura promedio en el estudio realizado por cada autor.

$S_y$  mínimo: resistencia de rotura mínimo en el estudio realizado por cada autor.

**Tabla 2. Resistencia mecánica de la guadua**

<b>Autor</b>	<b>Tipo de Esfuerzo</b>	<b>Compresión (N/mm<sup>2</sup>)</b>	<b>Flexión (N/mm<sup>2</sup>)</b>
Martin, Mateus, Hidalgo, 1981 Bogotá	$S_y$ prom	49	
	$S_y$ min	35	
García Martínez, 1991 Quindío	$S_y$ prom	38	30
	$S_y$ min	34.3	17.5
Trujillo & López F 2000, Medellín	$S_y$ prom	46.5	
	$S_y$ min	28	
FMIPA, ZERI, Stuttgart 1999	$S_y$ prom	41.5	
	$S_y$ min	27	
Giraldo E. y Sabogal A. 2007	$S_y$ prom	45.63	
	$S_y$ min	42.02	
Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de	$S_y$ prom	59.25	
	$S_y$ min	52.5	
<b>Promedio de los autores</b>	$S_y$ prom	46.81	34.67
	$S_y$ min	36.47	17.5

Fuente: (López, 2009)

### **3.5. LA GUADUA ANGUSTIFOLIA FRENTE A OTROS MATERIALES**

Para tener una comparativa de la guadua frente a otros materiales, se muestra la siguiente comparativa donde puede observarse la comparativa entre el bambú y otros materiales, notando como este se destaca de la madera, en el esfuerzo máximo a compresión, tensión y módulo de elasticidad.

**Tabla 3. Comparativa de bambú frente a otros materiales**

Variable	Material (miembros estructurales de 2,5m de largo y 8,7Kg de peso)			
	Madera Pino Ponderosa	Guadua	Acero A36	Concreto
Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	0,55	0,70	7,85	2,32
Peso del miembro (g)	8700	8700	8700	8700
Largo del miembro (mm)	2500	2500	2500	2500
Área transversal (mm <sup>2</sup> )	6327,84	4970,64	442,88	1499,87
Sección transversal del miembro				
Radio exterior R (mm)	44,88	60,06	46,54	21,85
Radio interior r (mm)	0,00	45,00	45,00	0,00
Precio del metro lineal del miembro (\$)	5568	4000	12500	1600
Momento de Inercia I (mm <sup>4</sup> )	3186407	6998913	464019	179018
Radio de giro <i>i</i>	22,44	37,52	32,37	10,93
Relación de Esbeltez $\lambda$	111,41	66,62	77,23	228,83
Módulo de elasticidad a compresión (N/mm <sup>2</sup> )	9000	10000	200000	2920
Esfuerzo máximo a compresión (N/mm <sup>2</sup> )	36,00	46,81	250,00	57,90
Fuerza máxima admisible por el miembro a compresión considerando el pandeo (N)	45286	110522	73231	825
Módulo de elasticidad a tensión (N/mm <sup>2</sup> )	9000	10000	200000	11200
Esfuerzo máximo a tensión (N/mm <sup>2</sup> )	55,00	93,03	250,00	0,91
Fuerza máxima admisible por el miembro a tensión (N)	348031	462419	110719	1365

Fuente: (López, 2009)

### 3.6. CONSIDERACIONES EN LA ELECCIÓN DE UN TALLO DE BAMBÚ

Dentro de las condiciones no deseadas en un tallo se encuentran:

- Huecos o rajaduras: Los pájaros carpinteros e insectos pueden hacer huecos en el bambú, estos tallos no son recomendables para la construcción debido a que pueden presentar

defectos mecánicos. Los tallos rajados pueden ser utilizados como latillas o cañas chancadas. (Ubidia, 2015)



**Ilustración 20. Tallo con hueco para hábitat animal**

Fuente: (Ubidia, 2015)

- Deformaciones o conicidad alta: Decoloraciones del tallo pueden indicar una enfermedad que ha afectado las características físicas para ser usados en construcción. (Ubidia, 2015)



**Ilustración 21. Tallo con deformaciones**

Fuente: (Ubidia, 2015)

- Entrenudos muy largos: Los tallos con entrenudos mayores a 50 centímetros no son recomendables para el uso en la construcción.

- Pudriciones o síntomas de enfermedad: Los tallos con evidencia de pudrición no deben ser utilizados. Hay que tener cuidado de no confundir la pudrición con las manchas blancas de los líquenes. Sin embargo, decoloraciones del tallo pueden indicar una enfermedad que ha afectado las características físicas necesarias para ser usados en la construcción.



**Ilustración 22. Tallo con enfermedad producto de plagas**

Fuente: (Ubidia, 2015)

### **3.7. PRESERVACIÓN Y SECADO DE LA GUADUA ANGUSTIFOLIA**

Se deben aplicar métodos de preservación para aumentar la vida útil del bambú y evitar que sea afectado por insectos o microorganismos. Hay métodos tradicionales y métodos químicos. Estos últimos deben ser adecuadamente aplicados para no afectar la salud del usuario y el ambiente. Se recomienda un método tradicional y otro químico (por ejemplo, con bórax y ácido bórico).

Para concluir el proceso de preparación de la caña, éstas deben ser secadas. Este proceso puede ser llevado a cabo al aire libre: Sobre caballete, bajo techo o en secadores solares: activos o pasivos; con un secador solar, se puede alcanzar niveles de humedad menores en comparación con el método al aire libre. Como métodos alternativos se destacan al horno o por inyección de aire caliente. (Ubidia, 2015)

A continuación, se presenta una serie de imágenes de los tipos de estivado y secado natural de la Guadua Angustifolia.

### 3.7.1. PRESERVACIÓN QUÍMICA

El método de inmersión en solución de bórax y ácido bórico, es el más recomendado, por su eficacia, costo, y seguridad para usuarios y medio ambiente. Según algunos expertos, la inmersión debe realizarse con cañas secadas durante una semana como máximo y que aún conservan su color verde. (Ubidia, 2015)



**Ilustración 23. Preservación química de tallos de Guadua Angustifolia**

### 3.7.2. ESTIVADO PARA SECADO

Para concluir el proceso de preparación de la caña, éstas deben ser secadas. Este proceso puede ser llevado a cabo al aire libre o en secadores solares; Con un secador solar, se puede alcanzar niveles de humedad menores en comparación con el método al aire libre. (Ubidia, 2015)



**Ilustración 24. Secado por estivado**

Fuente: (Ubidia, 2015)

### **3.8. EMPLEO DEL BAMBÚ EN SISTEMAS DE CERRAMIENTO EN EDIFICACIONES**

Los edificios se cierran para obtener privacidad, para aislar el interior del viento, la lluvia y la nieve, y para controlar la temperatura y humedad interiores. Un tipo de cerramiento sencillo es el que se extiende en forma continua sobre el suelo hasta encerrar el piso. Un sistema de cerramiento múltiple consta de una cubierta horizontal o inclinada, el techo y cerramientos laterales, verticales o inclinados, los muros o paredes. (Arcus Global, 2019)

Los edificios se cierran para obtener privacidad, para aislar el interior del viento, la lluvia y la nieve, y para controlar la temperatura y humedad interiores. Un tipo de cerramiento sencillo es el que se extiende en forma continua sobre el suelo hasta encerrar el piso.

Para la región de Latinoamérica la *Guadua Angustifolia* se encuentra en estado natural en Venezuela, Ecuador y Colombia, en este último, se han realizado importantes avances en la construcción de viviendas y estructuras urbanizables de la mano del arquitecto Simón Vélez (Colombia) en las que se identifica que las condiciones favorables de las propiedades físico mecánicas del bambú hacen que sus tallos tengan múltiples aplicaciones, "a tal punto que los habitantes de la zona andina colombiana la utilizan en vivienda, utensilios de cocina, instrumentos musicales, puentes, canaletas, acueductos, horcones, lo que demuestra como llevan a la *Guadua* a la cotidianidad.

Cuando se utiliza la *Guadua Angustifolia* como materia prima en la construcción, se reducen consumos energéticos (Villegas, 2005) (Salas, 2006); por tal motivo se dice que la *Guadua Angustifolia* es la especie forestal nativa con mayores posibilidades económicas.

### **3.9. EMPLEO DEL BAMBÚ EN COLUMNAS**

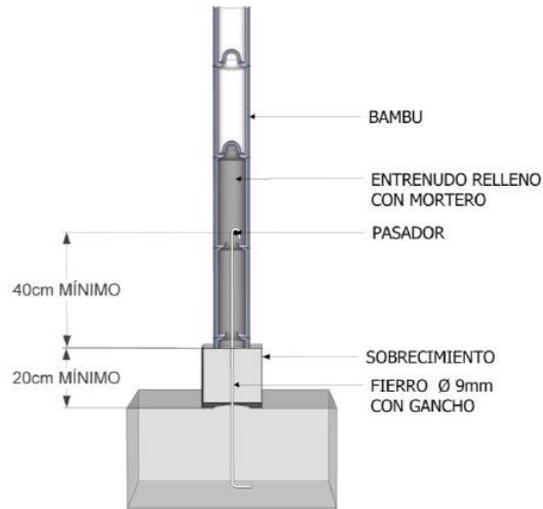
Las columnas deben conformarse de una pieza de bambú o de la unión de dos o más piezas, colocadas de forma vertical con las bases orientadas hacia abajo. Las compuestas por más de una pieza de bambú, deben unirse entre sí con pernos, con espaciamentos que no excedan un tercio de la altura de la columna. (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento)

### 3.9.1. UNIONES ENTRE SOBRECIMIENTO Y COLUMNAS

- Las fuerzas de tracción se deben transmitir a través de conexiones empernadas. Un perno debe atravesar el primero o el segundo entrenudo del bambú.
- Cada columna debe tener como mínimo una pieza de bambú conectada a la cimentación o al sobrecimiento.
- Se rellenarán los entrenudos atravesados por la pieza metálica y el pasador con una mezcla de mortero.
- Se debe evitar el contacto del bambú con el concreto o la mampostería con una barrera impermeable a base de un sistema hidrófugo.
- La unión entre sobre cimientto y columna se realizará de acuerdo con los casos 1 y 2:

### 3.9.2. UNIÓN PARA COLUMNA CON ANCLAJE INTERNO (CASO 1)

- Se deja empotrada a la cimentación una barra de fierro 9mm de diámetro como mínimo con terminación en gancho. Esta barra tendrá una longitud mínima de 40 cm sobre la cimentación.
- Antes del montaje de la columna de bambú, se perforan como mínimo los diafragmas de los dos primeros nudos de la base de la columna.
- Se coloca un pasador (perno) con diámetro mínimo de 9mm, que pasará por el gancho de la barra.
- Los entrenudos atravesados por la barra se rellenarán con mortero en una proporción máxima de 1:4 (cemento – arena gruesa).

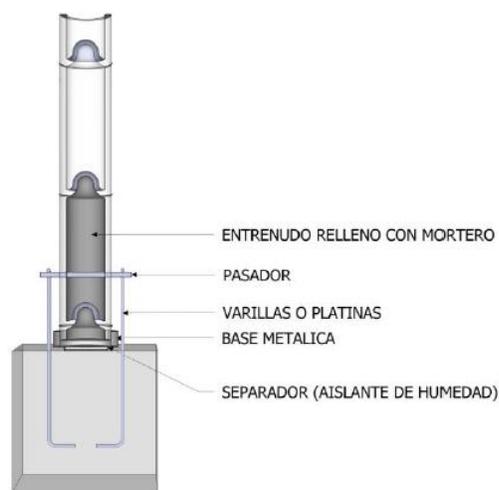


**Ilustración 25. Unión con anclaje interno**

Fuente: (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento)

### 3.9.3. UNIÓN PARA COLUMNA CON ANCLAJE EXTERNO (CASO 2)

- Se deja empotrada a la cimentación una base metálica con dos varillas o platinas de hierro de 9mm de diámetro como mínimo. Estas varillas o platinas tendrán una longitud mínima de 40 cm sobre la cimentación.
- Se coloca un pasador (perno) con diámetro mínimo de 9mm, que unirá las dos varillas o platinas, sujetando la columna de bambú.



**Ilustración 26. Unión con anclaje externo**

Fuente: (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento)

### **3.10. EMPLEO DEL BAMBÚ EN MUROS ESTRUCTURALES**

Los muros estructurales de bambú deben componerse de un entramado constituido por elementos horizontales llamados soleras, elementos verticales llamados pie – derechos y recubrimientos.

El bambú no debe tener un diámetro inferior a 80 mm. La distancia entre los pies derechos y el número de diagonales estará definida por el diseño estructural. En caso de soleras de bambú, estas tendrán que ser reforzadas, a fin de evitar su aplastamiento. Con las dos alternativas siguientes:

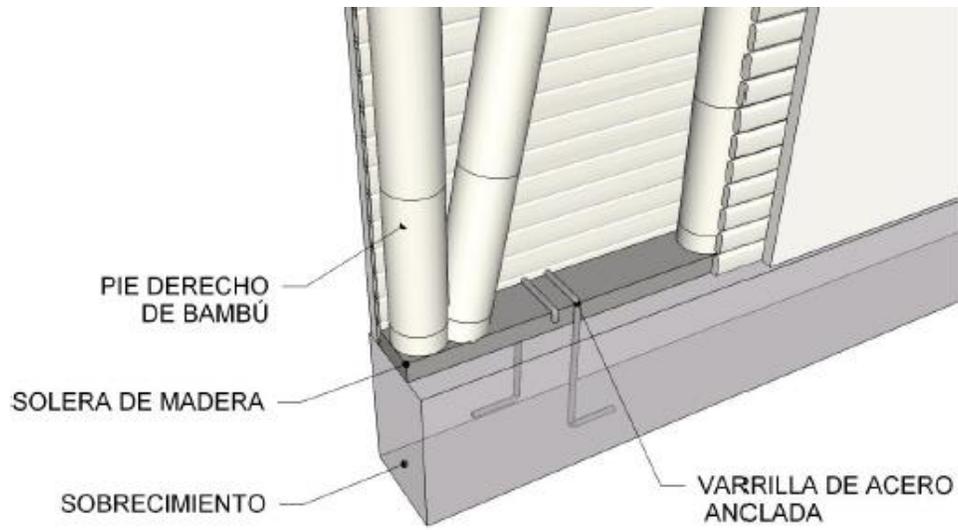
- Colocando tacos de madera, de peralte igual al de la viga de bambú.
- Rellenando con mortero de cemento los entrenudos de apoyo de las vigas.
- En caso de vigas compuestas, conformadas por piezas de bambú superpuestas, se tendrá que prever el arriostamiento necesario para evitar el pandeo lateral.

#### **3.10.1. UNIÓN ENTRE SOBRECIMIENTO Y MURO ESTRUCTURAL DE BAMBÚ**

- Cada muro debe tener como mínimo dos puntos de anclaje conectados a la cimentación o al sobrecimiento mediante conectores metálicos. Los puntos de anclajes no pueden estar separados a una distancia superior a 2.50 m
- En caso de las puertas habrá un punto de anclaje en ambos lados.
- Dentro de los tipos se destacan: unión con solera de madera aserrada, con varilla de acero anclada, roscada y con unión con soleras de bambú.

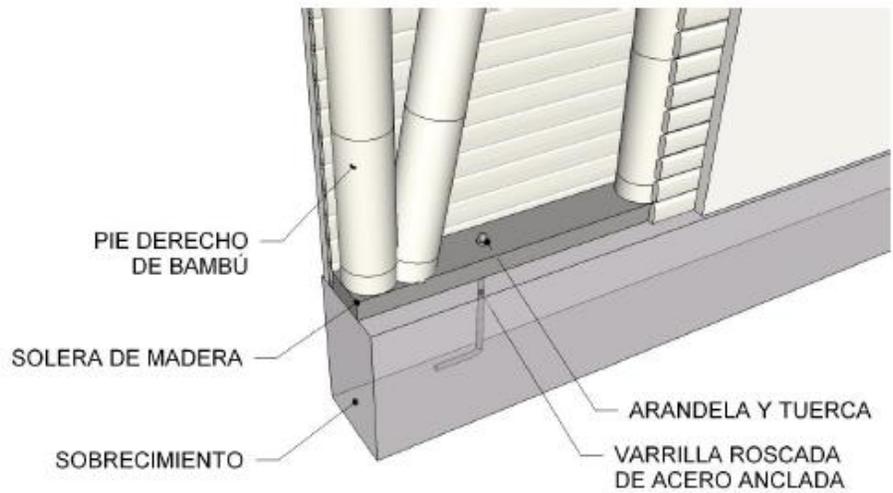
#### **3.10.2. UNIÓN CON SOLERA DE MADERA ASERRADA**

En este caso las soleras se fijan a los cimientos con barras de fierros roscadas, fijadas a éstas. La madera debe separarse del concreto o de la mampostería con barrera impermeable. (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento)



**Ilustración 27. Unión con varilla de acero anclada**

Fuente: (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento)

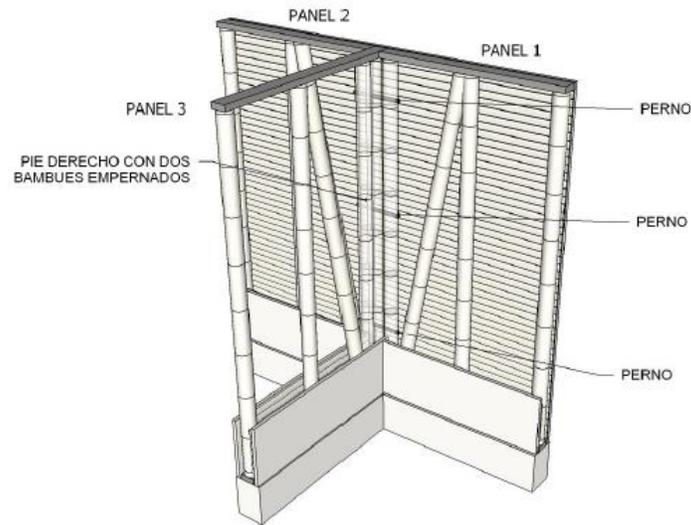


**Ilustración 28. Unión con varilla de hierro roscada**

Fuente: (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento)

### 3.10.3. UNIONES ENTRE MUROS

Se unen entre sí mediante pernos o zunchos. Debe tener como mínimo tres conexiones por unión, colocadas a cada tercio de la altura del muro. El perno debe tener, por lo menos 9 mm de diámetro.



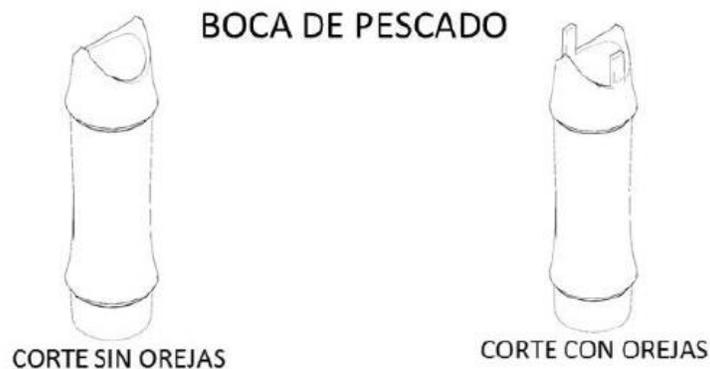
**Ilustración 29. Uniones entre muros**

Fuente: (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento)

### 3.11. CONSIDERACIONES DEL BAMBÚ EN MUROS ESTRUCTURALES

Se recomienda prefabricar paneles con máximo 3 m de longitud y de 3.5 m en su punto más alto, por el peso de este, puesto que un peso mayor dificultara su manejo y puesta en obra. Si se requiere paneles de mayor longitud, se fabricarán dos paneles cuya longitud sume la deseada, siempre y cuando no sobrepasen los 3 m cada uno. De requerir paneles con dimensiones mayores, se construirán en base al diseño estructural respectivo.

- Los culmos intermedios y los laterales, serán asegurados a los culmos de la solera superior e inferior, mediante la unión **boca de pescado**, y asegurados con pernos de anclaje y tensores.



**Ilustración 30. Tipo de corte boca de pescado**

Fuente: (Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, 2016)

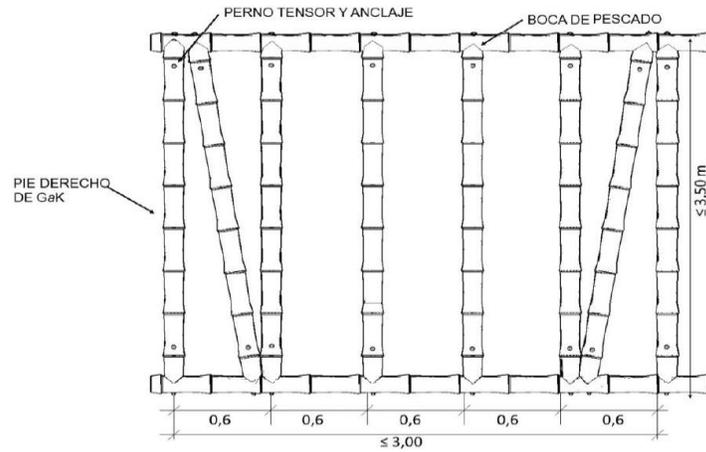
- Los culmos intermedios se colocarán espaciados a no más de 0.6 m entre ejes.
- En cada uno de los espacios extremos, se debe colocar un culmo en diagonal para dar rigidez al panel. Estos dos culmos deben ser asegurados con la unión pico de flauta, como se muestra en la siguiente ilustración.



**Ilustración 31. Tipo de corte de pico de flauta**

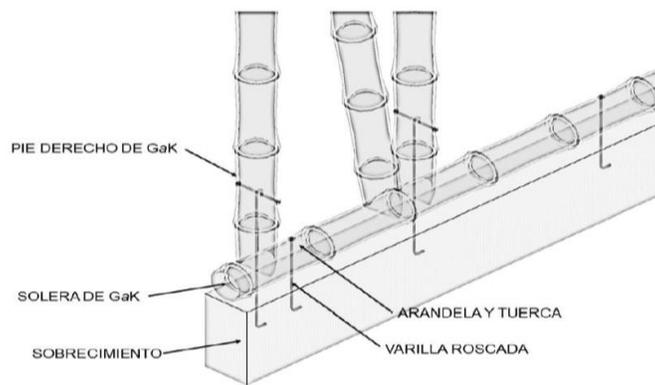
Fuente: (Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, 2016)

- La estructura del panel puede ser modificada en función de la necesidad de colocar puertas o ventanas, para lo cual se colocarán dinteles.



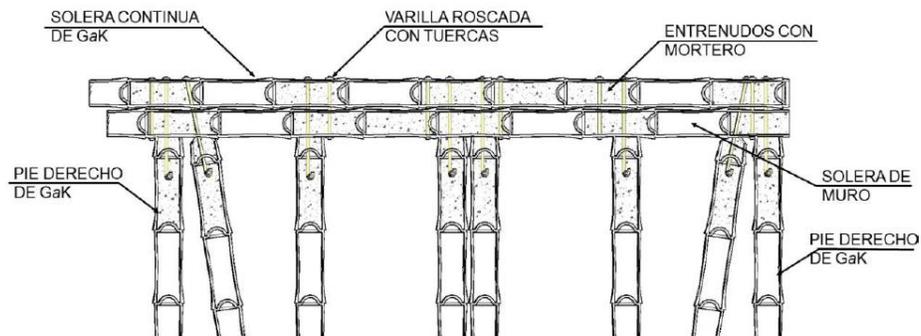
**Ilustración 32. Panel con estructura de culmos**

Fuente: (Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, 2016)



**Ilustración 33. Detalle uniones en panel con estructura de culmos de guadua**

Fuente: (Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, 2016)



**Ilustración 34. Paneles estructurales con guadua**

Fuente: (Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, 2016)

### 3.12. CONSTRUCCIONES CON BAMBÚ COMO ELEMENTO ESTRUCTURAL

#### 3.12.1. CONSTRUCCIONES RURALES

En áreas rurales, el bambú contribuye a la construcción de vivienda, especialmente en las cercanías de las plantaciones, por lo puede resolver la necesidad de vivienda en las zonas en las que las condiciones son propicias para el cultivo.



**Ilustración 35. Panel de Guadua Angustifolia**

Fuente: (Bambuterra, 2020)

#### 3.12.2. CONSTRUCCIONES URBANAS

El bambú puede utilizarse en el área urbana, empleado en construcción de viviendas, en combinación con otros materiales, obteniendo conjuntos híbridos como se muestra en la siguiente ilustración.



**Ilustración 36. Bambú aplicado en paredes de vivienda**

Fuente: (CASSA, 2020)

### 3.12.3. CONSTRUCCIONES TURÍSTICAS

El bambú puede ser utilizado en el sector turismo, como puede verse reflejado en la siguiente imagen, utilizado como muro de un edificio de estacionamientos en el Zoológico Leipzig en Alemania.



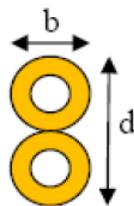
**Ilustración 37. Bambú en zoológico de Leipzig, Alemania.**

Fuente: (BauNetz, 2012)

### 3.13. EMPLEO DEL BAMBÚ EN VIGAS

Las vigas deberán conformarse de una (simples) o de la unión de dos o más piezas de bambú (compuestas). En el caso de vigas de sección compuesta (dos o más guaduas), cuya relación alto (d) ancho (b) sea mayor que  $1(d/b > 1)$ , deben incluirse soportes laterales para prevenir el pandeo o la rotación. (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento)

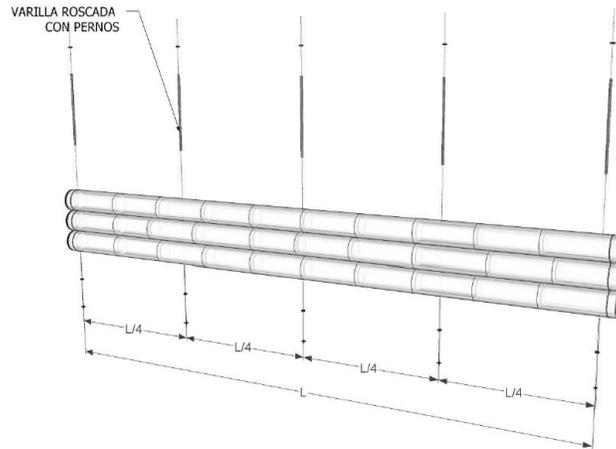
#### 3.13.1. VIGA COMPUESTA DE BAMBÚ Y ACERO DE REFUERZO



**Ilustración 38. Viga compuesta**

(Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento)

Cuando se construyen vigas compuestas se debe garantizar su estabilidad por medio de conectores transversales de acero, que garanticen el trabajo en conjunto. El máximo espaciamiento de los conectores no puede exceder el menor valor de tres veces el alto de la viga o un cuarto de la luz.



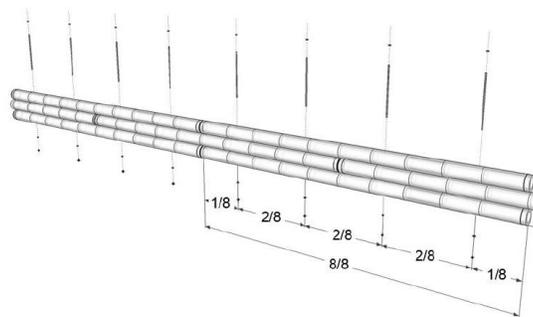
**Ilustración 39. Detalles de conectores de sección compuesta**

(Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento)

Para obtener vigas de longitudes mayores a las piezas de bambú, se deben unir dos bambúes longitudinalmente.

### 3.13.2. VIGA COMPUESTA TIPO "A"

Consiste en la unión con acero de tres culmos de bambú, procurando la ubicación intercalada de los nudos, como se muestra en la siguiente imagen:

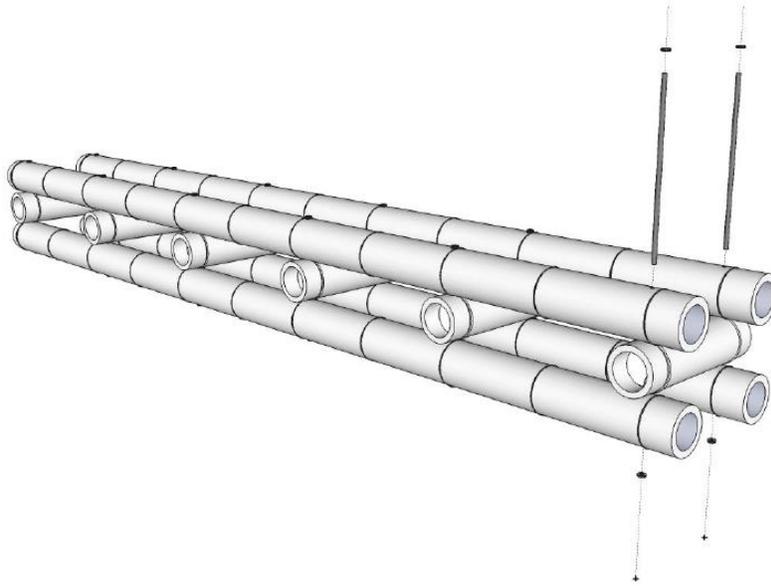


**Ilustración 40. Viga compuesta tipo A**

Fuente: (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento)

### 3.13.3. VIGA COMPUESTA TIPO "B"

Consiste en la unión de cuatro culmos longitudinales y culmos transversales intermedios, dejando un nudo de por medio, uniéndolos con acero, como se muestra en la siguiente imagen:



**Ilustración 41. Viga compuesta tipo B**

Fuente: (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento)

## 3.14. EMPLEO DEL BAMBÚ EN CUBIERTAS

La cubierta debe ser liviana, impermeable y con aleros que cubran las paredes de las fachadas con un ángulo respecto a la radiación solar, de entre 20 y 30 grados, con la finalidad de cubrir las superficies de los culmos de Guadua Angustifolia de los rayos UV y lluvias con viento (Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, 2016)

### 3.14.1. ESTRUCTURA DE LA CUBIERTA

Los elementos portantes de la cubierta deben conformar un conjunto estable para cargas verticales y laterales, para lo cual tendrán los anclajes y arriostramientos requeridos.

En caso de una estructura de bambú, se deben cumplir con los siguientes requisitos:

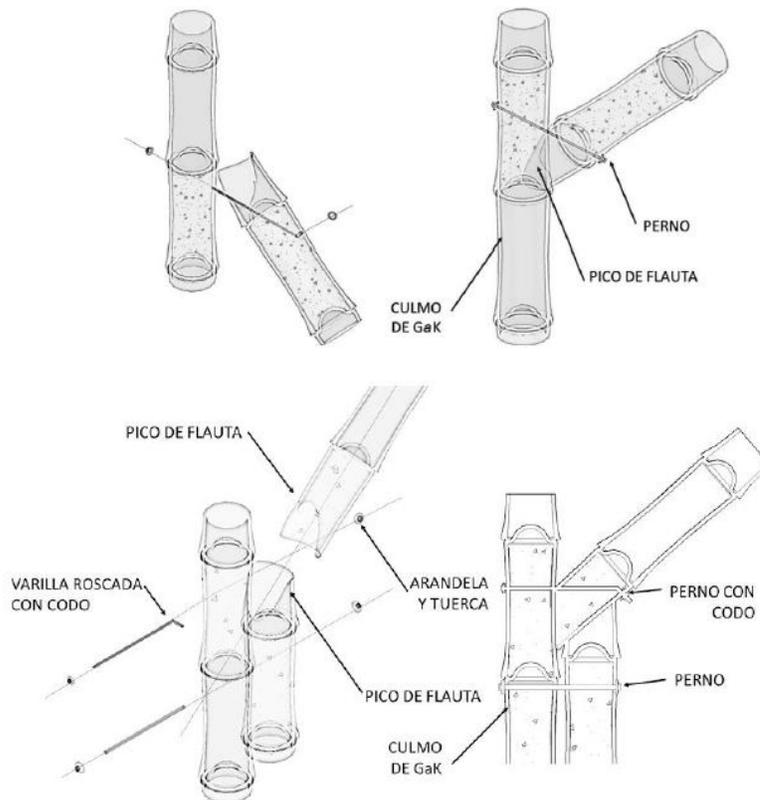
- La cubierta debe ser liviana.

- Los materiales utilizados para la cubierta deben garantizar una impermeabilidad suficiente para proteger de la humedad a los bambúes y a la madera de la estructura de soporte.
- Para aleros mayores de 60 cm deberá proveerse de un apoyo adicional, salvo que se justifique estructuralmente.
- La estructura de una edificación realizada con culmos de *Guadua Angustifolia*, demanda diversos tipos de uniones o nodos, las herramientas eficientes y los elementos metálicos: pernos, tuercas, varillas roscadas, pletinas y otros que facilitan su ejecución. En ningún caso se permite el uso de clavos o elementos que fisuren los culmos de *Guadua Angustifolia* que formen parte de la estructura.

#### 3.14.1.1. *Uniones diagonales*

Para las uniones diagonales entre elementos de bambú en la cubierta son realizadas por medio del pico de flauta entre una pieza vertical u horizontal con otra que no sea paralela ni perpendicular. En estas uniones se debe lograr el mayor contacto entre las piezas.

- La unión en diagonal puede ser asegurada de dos maneras: colocando un perno tensor y uno de anclaje y/o colocando una varilla roscada en el ángulo que forman el culmo y la pieza en diagonal.
- La colocación de pernos en diagonal provoca que las tuercas y arandelas no queden perpendiculares a las fibras del culmo, provocando la fisura de la pieza de *Guadua Angustifolia*. Para evitar esto, es preferible utilizar pequeños prismas de madera dura (preservada), neopreno o metálico, que permita un mejor empalme.
- El acople del corte pico de flauta con culmos verticales u horizontales, según sea el caso, debe provocar un perfecto ajuste de los dos elementos, ajuste que corresponde de manera exclusiva a la entalladura denominada pico de flauta.
- La varilla roscada que atraviesa y une los culmos, debe pasar por detrás del nudo del culmo que tiene el corte pico de flauta para evitar fisuras.



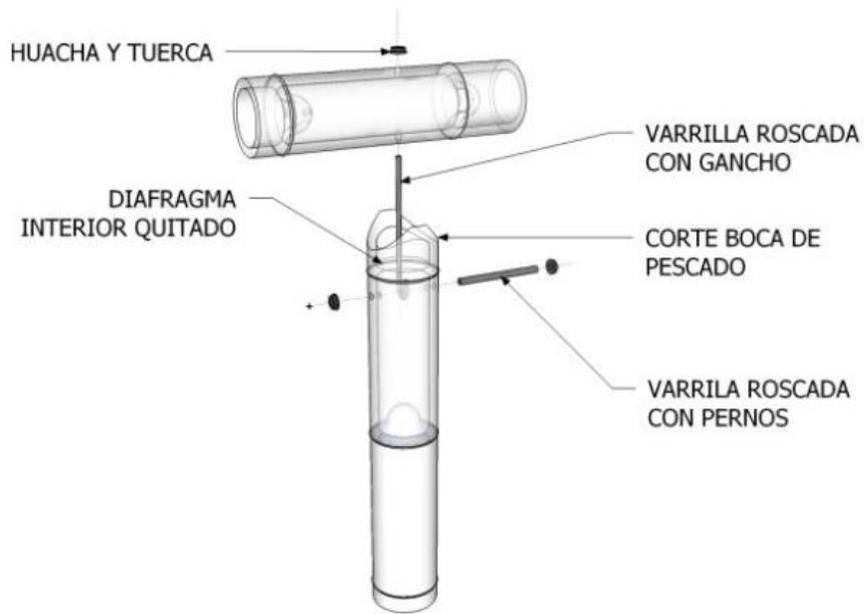
**Ilustración 42. Uniones diagonales**

Fuente: (Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, 2016)

### 3.14.1.2. Uniones perpendiculares

Sirven para asegurar dos elementos estructurales que están dispuestos uno perpendicularmente al otro. En estas uniones se debe lograr el mayor contacto entre los culmos.

- El culmo que se asienta sobre una boca de pez debe encajar en su totalidad, los culmos que se unan deben ser de un diámetro similar.
- La distancia entre el nudo y la parte inferior del corte boca de pez debe tener entre 40 y 60 mm.
- En el culmo que tiene la boca de pez, se introduce una varilla roscada de 10 mm, a 30 o 40 mm por debajo del nudo, la misma que se asegura mediante arandelas y tuercas. Lo denominamos perno de anclaje.



### UNION PERPENDICULAR CON PERNO

**Ilustración 43. Unión perpendicular con perno**

Fuente: (Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, 2016)

#### **3.15. RECUBRIMIENTO RECOMENDADO EN ESTRUCTURAS DE TECHO DE BAMBÚ**

- Estos materiales deben garantizar impermeabilidad que proteja de la humedad al bambú y a la madera de la estructura de soporte.
- Cuando se utilicen materiales que transmiten humedad por capilaridad, como las cubiertas de teja de barro, debe evitarse su contacto directo con el bambú, a fin de prevenir su pudrición.
- El material utilizado deberá proteger la estructura de bambú de la radiación solar.

### 3.16. DETALLES CONSTRUCTIVOS CON BAMBÚ EN EDIFICIOS



**Ilustración 44. Bambú utilizado en cubiertas**

Fuente: (CASSA, 2020)



**Ilustración 45. Bambú utilizado en cubiertas**

Fuente: (Salazar, 2014)

### **3.17. USO DEL BAMBÚ EN HONDURAS**

En Honduras pueden identificarse obras realizadas con bambú, en obras externas, como cercos o divisiones entre viviendas.

#### **3.17.1. EL BAMBÚ PARA USO EN VIVIENDAS**



**Ilustración 46. Vivienda en San Antonio de Cortés, Honduras.**

Fuente: Propia

#### **3.17.2. EL BAMBÚ PARA USO COMERCIAL**



**Ilustración 47. Comercio en Puerto Cortés, Honduras.**

Fuente: Propia

### 3.18. ESTADÍSTICA APLICADA

Para el análisis de los resultados de la investigación se hace necesaria la implementación de la estadística, la cual, aporta herramientas que van, desde el análisis e interpretación de datos (estadística descriptiva), al proceso de predicción y toma de decisiones (estadística inferencial).

La estadística es el nexo común que presentan la mayoría de las investigaciones científicas en las que interviene el tratamiento de datos y la interpretación y predicción de los mismos mediante correlaciones y gráficos.

#### 3.18.1. MEDIDAS DE TENDENCIA CENTRAL

##### 3.18.1.1. *Media*

Es la medida más común de la tendencia central. Sirve como “punto de equilibrio” del conjunto de datos. La media se calcula sumando todos los valores del conjunto de datos y dividiendo el resultado por el número de valores considerados.

$$X = \frac{\text{Suma de los valores}}{\text{número de valores}}$$

#### **Ecuación 3. Media de una muestra**

##### 3.18.1.2. *Mediana*

Es el valor que divide en dos partes iguales un conjunto de datos ya ordenado de menor a mayor. La mediana no se ve afectada por los valores extremos.

Si en el conjunto de datos hay un número impar de valores, la mediana es el valor colocado en medio.

Si en el conjunto de datos hay un número par de valores, entonces la mediana es el promedio de los dos valores colocados en el medio.

##### 3.18.1.3. *Rango*

Es la medida numérica descriptiva más sencilla de la variación en un conjunto de datos. El rango es igual al valor mayor menos el valor menor.

### 3.18.2. POBLACIÓN Y MUESTRA

La descripción más precisa de una población es el resultado de mediciones detalladas de todos y cada uno de sus miembros, lo que comúnmente se conoce como censo. Sin embargo, realizar un censo de tipo forestal suele ser imposible debido a su alto costo económico y a los problemas logísticos que lleva asociados, es por ello por lo que medir todos y cada unidad de bambú de una extensión de hectáreas resulta complicado y ambiguo.

Una muestra mide una parte de la población que, en ingeniería forestal, suele ser pequeña en relación con las plantaciones existentes en toda una región. Los cálculos basados en los datos recopilados a partir de una muestra medida se extrapolan al conjunto de la población, cuya mayor parte no se ha analizado.

En los inventarios forestales, no existe una definición de población perfecta. (McRoberts, Tomppo, & Czaplewski)

## **IV. METODOLOGÍA**

### **4.1. ENFOQUE**

Según (Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio, 2014), hay diversos tipos de enfoque tales como el método cuantitativo, cualitativo o mixto definiéndolos de la siguiente manera:

#### **4.1.1. ENFOQUE CUANTITATIVO**

Utiliza la recolección de datos para probar hipótesis con base en la medición numérica y el análisis estadístico, con el fin establecer pautas de comportamiento y probar teorías.

#### **4.1.2. ENFOQUE CUALITATIVO**

Se guía por áreas o temas significativos de investigación. Sin embargo, en lugar de que la claridad sobre las preguntas de investigación e hipótesis preceda a la recolección y el análisis de los datos (como en la mayoría de los estudios cuantitativos), los estudios cualitativos pueden desarrollar preguntas e hipótesis antes, durante o después de la recolección y el análisis de los datos.

El enfoque de la investigación es el cuantitativo, para dar respuesta a los objetivos de la investigación, definir la resistencia a compresión y flexión del bambú de manera experimental mediante ensayos de laboratorio a la muestra seleccionada con variables dependientes e independientes.

### **4.2. VARIABLES DE LA INVESTIGACIÓN**

En esta investigación es aplicable los experimentos de laboratorio, en que los efectos de todas las variables independientes influyentes al problema de investigación siguen una metodología establecida.

En este caso las propiedades mecánicas de compresión y flexión del bambú, son propósitos de la investigación estableciendo las siguientes variables.

#### **4.2.1. VARIABLES DEPENDIENTES**

Las principales características evaluadas en los ensayos de laboratorio fueron las siguientes:

#### 4.2.1.1. *Resistencia a compresión*

Se refiere al esfuerzo máximo que puede soportar un material bajo una carga de aplastamiento. (Instron, 2020)

#### 4.2.1.2. *Resistencia a flexión*

Es la capacidad de un material de soportar fuerzas aplicadas perpendicularmente a su eje longitudinal. (Aimplas, 2020)

### 4.2.2. VARIABLES INDEPENDIENTES O EXPLICATIVAS

Las características del bambú, elegidas como variables independientes para explicar las resistencias a la compresión y a la flexión son las siguientes:

#### 4.2.2.1. *Variables independientes de la resistencia a la compresión*

- Área de contacto: entre 2 y 5 pulgadas<sup>2</sup>
- Diámetro externo: entre 2 y 5 pulgadas
- Altura: entre 7 y 8 pulgadas
- Peso: entre 0.90 y 1.6 libras

#### 4.2.2.2. *Variables independientes o explicativas de la resistencia a la flexión*

- Espesor del culmo o tallo del bambú: entre 0.6 y 1.5 pulgadas
- Altura: entre 23 y 24 pulgadas
- Peso: entre 2 y 4 libras

### 4.3. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS APLICADOS

#### 4.3.1. ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

Determina el esfuerzo máximo que puede soportar un material bajo una carga de aplastamiento. La resistencia a la compresión de un material que falla debido a la rotura de una fractura se puede definir, en límites bastante ajustados, como una propiedad independiente. Sin embargo, la resistencia a la compresión de los materiales que no se rompen en la compresión se define como la cantidad de esfuerzo necesario para deformar el material una cantidad arbitraria. La resistencia

a la compresión se calcula dividiendo la carga máxima por el área transversal original de una probeta en un ensayo de compresión. (Instron, 2020)

Para que el ensayo se realice de forma precisa y repetitiva, se necesita una máquina de ensayo que garantice que las mediciones sean precisas.

- Instrumento: Máquina de Ensayo a Compresión



**Ilustración 48. Máquina de ensayo a compresión**

Fuente: (directindustry, 2019)

#### 4.3.2. ENSAYO DE RESISTENCIA A LA FLEXIÓN

Método para medir el comportamiento de los materiales sometidos a la carga de la viga simple. Con algunos materiales, también se denomina ensayo de la viga transversal. La probeta está soportada por dos cuchillas como viga simple y la carga se aplica en su punto medio. El esfuerzo máximo de la fibra y la deformación máxima se calculan en incrementos de carga. (Instron, 2020)

Al ubicar la muestra en la máquina debe tomarse como base la longitud se seccionando los tres puntos de apoyo.

En el caso del bambú el ensayo se realiza aplicando la carga perpendicular al eje del culmo.

- Instrumento: Máquina de Ensayo a Flexión



**Ilustración 49. Máquina de ensayo a flexión**

Fuente: (Utest, 2019)

#### 4.3.3. ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA

##### 4.3.3.1. *Software Minitab*

Minitab es una herramienta para aplicaciones estadísticas generales y muy especialmente para control de calidad. (Addlink, 2020)

Minitab incluye procedimientos estadísticos utilizados en la estimación de parámetros y pruebas de hipótesis para una o dos muestras. Esos procedimientos constituyen la base para una búsqueda avanzada. Entre ellos se encuentran las estadísticas descriptivas y gráficos, los intervalos de confianza y pruebas de hipótesis, análisis de variación y correlación.

Minitab® 19



**Ilustración 50. Ícono del Software Minitab**

Fuente: (Minitab, 2019)

#### 4.4. MATERIALES

##### 4.4.1. BAMBÚ (GUADUA ANGUSTIFOLIA)

*Muestras de bambú Guadua Angustifolia, obtenidas del Parque Cerro Juana Laínez, tallo con longitudes de 8 y 24 pulgadas y con diámetros entre 2 y 5 pulgadas.*

##### 4.4.2. MADERA DE PINO

*Muestras de madera de pino obtenidas de aserradero con longitudes de 8 y 24 pulgadas y con diámetros entre 2 y 5 pulgadas.*

#### 4.5. POBLACIÓN Y MUESTRA

Al realizar un censo de tipo forestal suele ser de alto costo económico, con logística asociada de iguales características, por lo que considerar más unidades de bambú de una extensión de hectáreas resulta complicado, es por ello que en los inventarios forestales no existe una definición de población perfecta. (McRoberts, Tomppo, & Czaplewski)

Para determinar la resistencia a la compresión y a la flexión del bambú (Guadua Angustifolia) se realizaron las muestras descritas en la tabla 1 extraídas del Parque Cerro Juana Laínez, ubicado en Tegucigalpa, Municipio del Distrito Central.

**Tabla 4. Cantidad de muestras por ensayo**

<b>Número de muestras de bambú Guadua Angustifolia</b>	
<b>Resistencia a compresión</b>	<b>Resistencia a flexión</b>
10 muestras	10 muestras

## **4.6. METODOLOGÍA DE ESTUDIO**

### 4.6.1. HIPÓTESIS

Como hipótesis de investigación se plantea que el bambú *Guadua Angustifolia* es un material de construcción alternativo de la madera de pino que por sus propiedades mecánicas puede ser utilizado en cerramientos de edificaciones como ser paredes y cubiertas.

### 4.6.2. METODOLOGÍA

- Recopilación de Información para determinar viabilidad de la investigación, determinar si existe la especie en el país, si hay posibilidad de su producción y si otros países la han empleado en distintas aplicaciones constructivas.
- Delimitación del tema de estudio, parámetros a evaluarse. Para poder definir el empleo de cualquier material es necesario evaluar sus propiedades y características importantes.
- Revisión bibliográfica sobre la especie en el país, condiciones climáticas para su producción, estudios realizados, y sobre cómo puede aplicarse a sistemas constructivos.
- Definición de propiedades físicas y mecánicas del material, destacando las propiedades que son claves para la aplicación constructiva.
- Extracción de muestras de material para estudio, eligiendo un sitio que contenga la especie en sus condiciones respecto a edad y características para el estudio.
- Ensayos de laboratorio de muestras, para poder definir las resistencias del material.
- Análisis sobre resultados obtenidos, interpretando los datos de los respectivos ensayos de laboratorio
- Conclusiones, de la aplicación del material en sistemas constructivos específicos, respecto a sus propiedades mecánicas.
- Recomendaciones, para la correcta aplicación de la especie en estudio.

## V. ANÁLISIS Y RESULTADOS

### 5.1. CONDICIONES CLIMÁTICAS EN HONDURAS

Se identificaron las condiciones climáticas de Honduras para encontrar coincidencias con las necesarias para el cultivo de la Guadua Angustifolia, siendo los departamentos de Atlántida, Colón, Comayagua, Cortés, Intibucá, Lempira, Olancho, Santa Bárbara, Yoro, los que reúnen las características esperadas, en sus zonas bajas.

A continuación se muestra una tabla en la que los departamentos que reúnen las condiciones para el cultivo del bambú Guadua Angustifolia.

**Tabla 5. Condiciones climáticas de Honduras**

No.	Departamento	Temperatura (°C)	Altitud (msnm)	Precipitación (mm/año)	Humedad Relativa (%)	Brillo Solar (horas/luz/día)	Suelo	Resultado por Departamento	
		20 - 26	1000 - 1600	2000 - 2500	75 - 85	05 - 06		Cumple	No Cumple
1	Atlántida	24.9 - 28.7	0.1 - 1888.89	1762.8 - 3297.7	79.4 - 84.9	12.2 - 13.9	Suelos ricos en materia orgánica no pantanosos, con buen drenaje y alto contenido de humedad, característicos de la zona norte del país.	X	
2	Colón	23.7 - 28.7	0.1 - 1377.78	1762.8 - 3297.7	79.4 - 84.9	11.6 - 12.9		X	
3	Comayagua	17.8 - 26.1	355.56 - 1888.89	1002.2 - 2122.0	69.2 - 78.9	12.2 - 12.9		X	
4	Copán	17.8 - 24.9	355.56 - 1888.89	1312.4 - 1501.9	76.1 - 79.4	12.2 - 13.9			X
5	Cortés	24.9 - 28.7	0.1 - 2144.44	1174.8 - 3297.7	74.7 - 84.9	12.2 - 13.9		X	
6	Choluteca	26.1 - 31.0	0.1 - 1633.33	1002.2 - 2616.6	64.1 - 72.5	12.2 - 12.9			X
7	El Paraíso	21.5 - 26.1	355.56 - 1888.89	902.2 - 1762.8	69.2 - 78.0	12.2 - 12.9			X
8	Francisco Morazán	17.8 - 28.7	355.56 - 1888.89	1002.2 - 1762.8	69.2 - 77.1	12.2 - 12.9			X
9	Gracias a Dios	25.6 - 26.3	0.1 - 866.67	1762.8 - 3297.7	78.0 - 84.9	11.3 - 12.9			X
10	Intibucá	17.8 - 25.6	355.56 - 1888.89	1174.8 - 2616.6	74.7 - 79.4	12.2 - 12.9		X	
11	Islas de la Bahía	26.1 - 31.0	0.1 - 355.56	2616.6 - 3297.7	81.8 - 84.9	12.2 - 13.9			X
12	La Paz	17.8 - 25.6	355.56 - 2144.44	1002.2 - 1762.8	64.1 - 76.1	12.2 - 12.9			X
13	Lempira	17.8 - 23.7	355.56 - 2144.44	1312.4 - 2616.6	76.1 - 79.4	12.2 - 13.9		X	
14	Ocatepeque	21.5 - 23.7	611.11 - 2144.44	1312.4 - 1762.8	72.5 - 77.1	12.2 - 12.9			X
15	Olancho	17.8 - 28.7	355.56 - 1888.89	1074.8 - 3297.7	74.7 - 81.8	11.6 - 12.9		X	
16	Santa Bárbara	21.5 - 28.7	355.56 - 2144.44	1174.8 - 2616.6	77.1 - 81.8	12.2 - 13.9		X	
17	Valle	26.1 - 31.0	0.1 - 866.67	1501.9 - 2122.0	64.1 - 72.5	12.2 - 12.9			X
18	Yoro	21.5 - 28.7	355.56 - 1633.33	1074.8 - 2616.6	74.7 - 84.9	12.2 - 13.9		X	

Fuente: Elaboración propia con datos del Atlas Climático y de Gestión de Riesgo en Honduras

## 5.2. ENSAYOS DE LABORATORIO PARA EL BAMBÚ GUADUA ANGUSTIFOLIA

Para analizar las propiedades del material se realizaron pruebas de compresión y flexión, específicamente para la especie Guadua Angustifolia, utilizando muestras rollizas de madera de pino como elemento comparativo.

Las muestras de bambú fueron obtenidas del Parque Cerro Juana Laínez en Tegucigalpa, MDC, que contaban con 6 años de crecimiento, edad adecuada para este tipo de ensayos. (Muñoz, 2019)



**Ilustración 51. Ubicación de extracción de muestras de bambú**

Fuente: (Google Earth, 2019)

### 5.2.1. ENSAYO A COMPRESIÓN DEL BAMBÚ GUADUA ANGUSTIFOLIA

Para realizar el ensayo a compresión se obtuvieron muestras de aproximadamente 8 pulgadas de altura, con espesor aproximado a 3 pulgadas, obteniendo diez (10) piezas de bambú, como lo muestra la siguiente imagen:



**Ilustración 52. Muestras de bambú para ensayo a compresión**

Fuente: Propia

Se midieron los diámetros con "Pie de Rey", la longitud con cinta métrica y para registrar el peso se utilizó una balanza con precisión de 0.01 lb.



**Ilustración 53. Registro de alturas**



**Ilustración 54. Registro de pesos**

Fuente: Propia

**Tabla 6. Datos de las muestras de bambú para ensayo a compresión**

Datos Obtenidos de Elementos para Compresión											
Muestra	D <sub>e1</sub> pulg.	D <sub>e2</sub> pulg.	D <sub>eprom</sub> pulg.	D <sub>i1</sub> pulg.	D <sub>i2</sub> pulg.	D <sub>iprom</sub> pulg.	Área pulg <sup>2</sup>	H pulg.	W lb	V pulg <sup>3</sup>	Densidad lb/pulg <sup>3</sup>
1	2.99	2.87	2.93	1.54	1.73	1.63	4.66	7.68	1.59	35.78	0.04
2	2.83	2.83	2.83	2.32	2.32	2.32	2.07	7.88	0.98	16.34	0.06
3	2.99	2.99	2.99	2.24	2.17	2.20	3.21	7.80	0.93	25.05	0.04
4	2.87	2.91	2.89	2.09	2.09	2.09	3.16	7.87	1.07	24.86	0.04
5	2.83	2.87	2.85	2.05	1.97	2.01	3.23	8.07	1.14	26.09	0.04
6	2.95	2.83	2.89	1.89	1.97	1.93	3.65	8.03	1.20	29.34	0.04
7	2.99	3.23	3.11	2.17	2.17	2.17	3.92	7.87	0.98	30.83	0.03
8	2.91	3.03	2.97	2.2	2.32	2.26	2.91	7.80	1.05	22.72	0.05
9	2.99	3.07	3.03	2.48	2.48	2.48	2.39	7.95	0.88	18.98	0.05
10	2.91	2.99	2.95	1.81	1.85	1.83	4.22	8.07	1.36	34.02	0.04
<b>Promedios</b>			2.95			2.09	3.34	7.90	1.12	26.72	0.04

Donde:

D<sub>e</sub>: diámetro externo del bambú

D<sub>i</sub>: diámetro interno del bambú

H: altura del bambú

W: peso del bambú

V: volumen del bambú

Con las mediciones obtenidas se procedió a colocar cada muestra en la máquina para el ensayo.



**Ilustración 55. Ensayo a compresión del bambú**

Fuente: Propia

**Tabla 7. Resultados obtenidos del ensayo a compresión del bambú**

<b>Resultados de Resistencia a la Compresión</b>			
<b>Muestra</b>	<b>Área (pulg<sup>2</sup>)</b>	<b>Carga Aplicada (lb)</b>	<b>Resistencia (psi)</b>
1	4.66	17,350	3,731
2	2.07	10,940	5,285
3	3.21	14,520	4,523
4	3.16	12,240	3,873
5	3.23	14,700	4,551
6	3.65	16,220	4,444
7	3.92	14,210	3,625
8	2.91	14,160	4,866
9	2.39	10,410	4,356
10	4.22	17,350	4,111
<b>Media</b>	3.34	14,210	4337

5.2.1.1. *Estadística descriptiva del ensayo a compresión*

Por medio del programa estadístico Minitab se obtuvieron los siguientes resultados:

**Tabla 8. Estadística descriptiva de resistencia compresión del bambú**

<b>Variable</b>	<b>Media</b>	<b>Suma</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Mediana</b>	<b>Máximo</b>	<b>Rango</b>
Resistencia a la Flexión	4337	43365	3625	4400	5285	1660

Con los datos de laboratorio se generó una regresión lineal con las variables área de contacto, diámetro, altura y peso de las muestras de bambú, obteniendo un  $R^2 = 67.66\%$ , lo que significa que las variables elegidas explican únicamente el 67.66% de la resistencia a la compresión, por lo que se debe continuar la investigación para encontrar nuevas variables explicativas.

$$y = -251 - 303x + 542z + 30344w$$

**Ecuación 4. Regresión lineal resistencia a la compresión del bambú**

Donde:

y: resistencia a la compresión en (psi)

x: área de contacto en (pulg<sup>2</sup>)

z: altura en (pulg)

w: densidad en (lb/pulg<sup>3</sup>)

Con la ecuación se obtuvieron la resistencia a la compresión ajustada y los residuos:

**Tabla 9. Resistencia a compresión ajustada y residuo del bambú**

<b>Resultados de Resistencia a la Compresión</b>			
<b>Muestra</b>	<b>Resistencia (psi)</b>	<b>Resistencia Ajustada (psi)</b>	<b>Residuo (psi)</b>
1	3,731.00	3852.28	- 121.28
2	5,285.00	5210.03	74.97
3	4,523.00	4134.09	388.91
4	3,873.00	4365.26	- 492.26
5	4,551.00	4470.28	80.72
6	4,444.00	4238.11	205.89
7	3,625.00	3795.38	- 170.38
8	4,866.00	4499.58	366.41
9	4,356.00	4744.26	- 388.26
10	4,111.00	4055.74	55.26

Puesto que el p-valor es mayor que el nivel de significancia de 0.05, existe evidencia no concluyente sobre la explicación de la resistencia a la compresión a través de las variables elegidas, como puede observarse en la siguiente tabla:

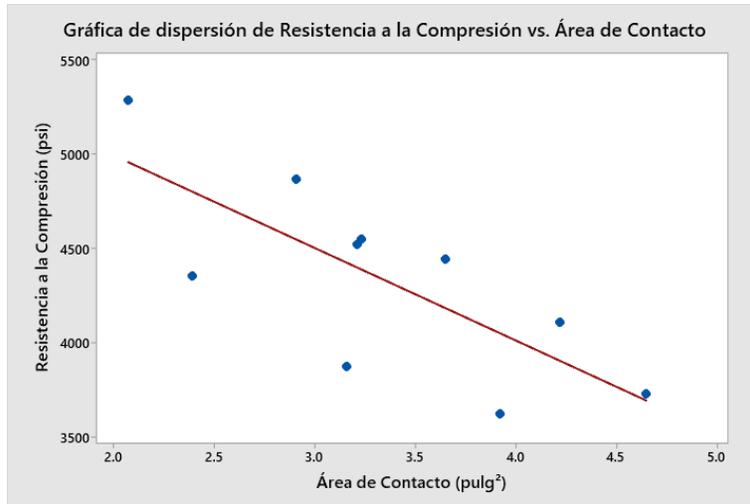
**Tabla 10. P-valor de variables en la ecuación**

<b>Variable</b>	<b>p-valor</b>
Área de contacto	0.181
Altura	0.592
Densidad	0.213

Se continuaron realizando pruebas estadísticas para encontrar la variable que explica mejor la resistencia a la compresión, mediante gráficas de regresión tal como se observan en los siguientes gráficos.

#### 5.2.1.2. Gráficas de regresión lineal para ensayo a la compresión del bambú

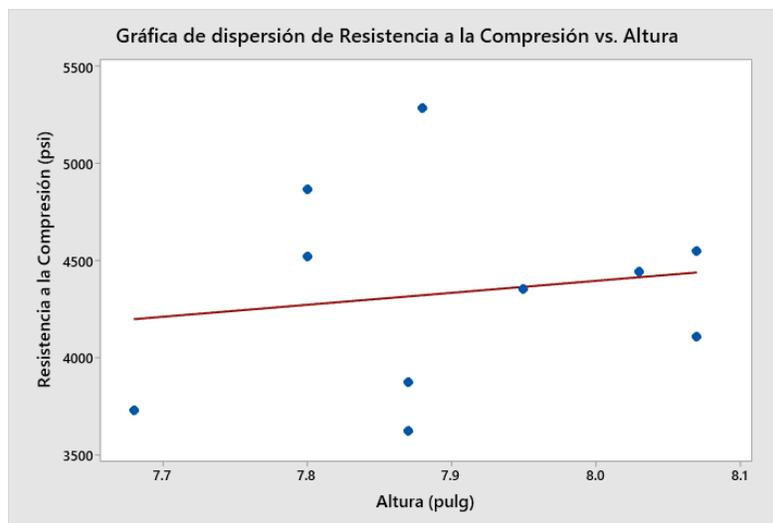
El análisis de regresión lineal es una técnica estadística utilizada para estudiar la relación entre variables utilizando una gráfica de dispersión para cuantificar el grado de relación lineal existente entre dos variables observando el grado en que la nube de puntos se ajusta a una línea recta. (Navidi, Estadística para Ingenieros y Científicos)



**Ilustración 56. Gráfico de resistencia a la compresión vs. área de contacto (bambú)**

Fuente: propia

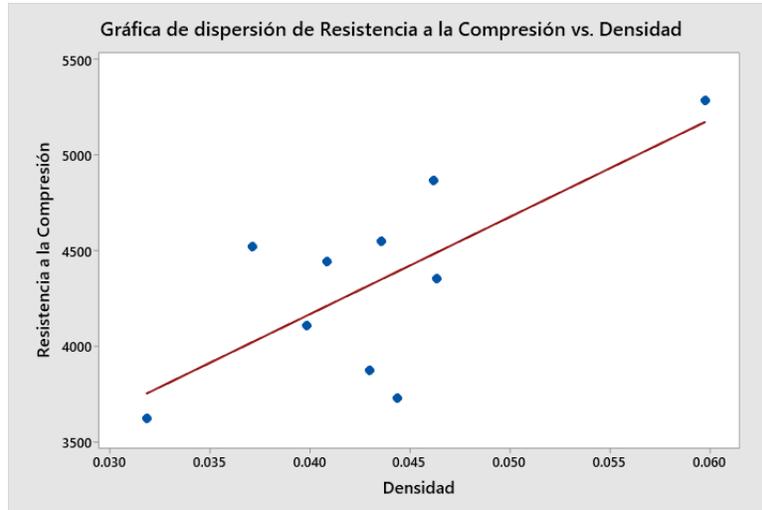
Interpretación: puede identificarse que la variable de área de contacto es la que mejor explica la resistencia a la compresión, mostrando una tendencia decreciente, es decir, a mayor área de contacto menor resulta la resistencia a la compresión. Sin embargo, la variable independiente "área de contacto" cuyo p-valor es de 0.012 y de acuerdo con el  $R^2 = 56.63\%$ , explica en muy bajo porcentaje la resistencia a la compresión, por lo que se concluye que no está necesariamente asociada al área de la especie de bambú Guadua Angustifolia.



**Ilustración 57. Gráfico de resistencia a la compresión vs. altura (bambú)**

Fuente: propia

Interpretación: cómo puede observarse, la tendencia de la resistencia en relación con la altura de las muestras es leve, lo que queda comprobado al encontrarse, a través del  $R^2$ , que únicamente se explica el 2.32% de los resultados de la resistencia a la compresión.



**Ilustración 58. Gráfico resistencia a la compresión vs. densidad (bambú)**

Fuente: propia

Interpretación: puede observarse que existe una tendencia creciente, es decir, a mayor densidad mayor resulta la resistencia a la compresión, lo que queda comprobado a través del  $R^2 = 51.20\%$ , porcentaje en el que la densidad del bambú Guadua Angustifolia explica la resistencia a la compresión. No obstante, se necesitaría una mayor cantidad de muestras para rechazar la relación entre ambas variables.

**Tabla 11. Resumen de  $R^2$  por variable**

<b><math>R^2</math> obtenidos por variable</b>	
<b>Variable</b>	<b><math>R^2</math></b>
Área de Contacto	56.63%
Altura	2.32%
Densidad	51.20%

Fuente: propia

### 5.2.2. ENSAYO A FLEXIÓN DEL BAMBÚ

Para realizar el ensayo a flexión se obtuvieron muestras de 24 pulgadas de alto, con espesor aproximado a 3 pulgadas, obteniendo diez (10) piezas de bambú *Guadua Angustifolia*.



**Ilustración 59. Muestras de bambú para ensayo a flexión**

Fuente: Propia

Se obtuvieron los diámetros tanto externo e interno para calcular el espesor, así mismo, se registró la altura y el peso de cada pieza y se calcularon los datos para la estadística descriptiva.



**Ilustración 60. Registro de pesos de muestras de bambú**

Fuente: Propia

**Tabla 12. Datos de las muestras de bambú para ensayo a flexión**

Datos Obtenidos de Elementos para Flexión							
Muestra	D <sub>eprom</sub> pulg.	D <sub>iprom</sub> pulg.	e pulg.	H pulg.	W lb	V pulg <sup>3</sup>	Densidad lb/pulg <sup>3</sup>
1	2.97	1.61	1.36	24.21	4.24	118.47	0.04
2	2.68	1.75	0.93	24.02	2.94	77.29	0.04
3	3.35	2.64	0.71	24.13	3.04	80.38	0.04
4	3.27	1.77	1.50	24.02	3.82	142.20	0.03
5	3.25	2.60	0.65	24.41	3.28	72.81	0.05
6	3.21	2.36	0.85	23.82	2.35	88.21	0.03
7	3.11	2.32	0.79	24.02	3.56	80.69	0.04
8	3.33	2.62	0.71	23.94	2.95	79.20	0.04
9	2.76	1.69	1.06	23.82	3.55	88.47	0.04
10	2.66	1.75	0.91	24.25	2.48	76.05	0.03
<b>Promedios</b>	3.06	2.11	0.94	24.06	3.22	92.31	0.03

Donde:

D<sub>e</sub>: diámetro externo del bambú

D<sub>i</sub>: diámetro interno del bambú

H: altura del bambú

W: peso del bambú

e: espesor del culmo del bambú

V: volumen del bambú

Con los datos obtenidos se procedió a probar cada muestra en la máquina de compresión, utilizando la adaptación para vigas para ensayos a flexión.



**Ilustración 61. Ensayo a flexión del bambú**

Fuente: Propia

**Tabla 13. Resultados obtenidos del ensayo a flexión del bambú**

Resultados Resistencia a la Flexión		
Muestra	Carga Aplicada (libra)	Resistencia (psi)
1	4,560.00	5,752.10
2	2,730.00	3,443.70
3	1,410.00	913.10
4	3,190.00	5,801.20
5	1,640.00	1,166.20
6	1,230.00	885.80
7	2,180.00	1,740.10
8	1,730.00	1,121.60
9	3,260.00	3,693.40
10	1,850.00	2,357.90
<b>Media</b>	2,378.00	2,687.50

5.2.2.1. *Estadística descriptiva del ensayo a flexión*

Por medio del programa estadístico Minitab se obtuvieron los siguientes resultados:

**Tabla 14. Estadística descriptiva de resistencia a flexión del bambú**

Variable	Media	Suma	Mínimo	Mediana	Máximo	Rango
Resistencia a la Flexión	2688	26875	886	2049	5801	4915

Con los datos obtenidos en laboratorio del ensayo a la resistencia a la flexión, considerando como variables espesor, altura y peso, se obtuvo una ecuación para la resistencia cuyo  $R^2 = 94.24\%$ , lo

que quiere decir que la combinación de variables explica el 94% de la resistencia, calculándose adicionalmente, a partir de la ecuación, la resistencia a la flexión ajustada y los residuos.

$$y = -17166 + 7366x + 418z + 77563w$$

**Ecuación 5. Regresión lineal para la resistencia a la flexión del bambú**

Donde:

y: resistencia a la compresión en (psi)

x: espesor en (pulg)

z: altura en (pulg)

w: densidad en (lb/pulg<sup>3</sup>)

**Tabla 15. Resistencia a flexión ajustada y residuo del bambú**

Resultados Resistencia a la Flexión			
Muestra	Resistencia (psi)	Resistencia Ajustada (psi)	Residuo (psi)
1	5752.1	5742.31	9.79
2	3443.7	2648.79	794.91
3	913.1	1089.42	- 176.32
4	5801.2	5987.85	- 186.65
5	1166.2	1323.71	- 157.51
6	885.8	1096.75	- 210.96
7	1740.1	2103.65	- 363.55
8	1121.6	958.20	163.40
9	3693.4	3744.84	- 51.44
10	2357.9	2179.57	178.33

Puesto que el p-valor es menor que el nivel de significancia de 0.05 para la variable del espesor y la densidad, existe evidencia concluyente sobre la significancia de la asociación entre estas variables y la resistencia a la flexión, como puede observarse en la siguiente tabla:

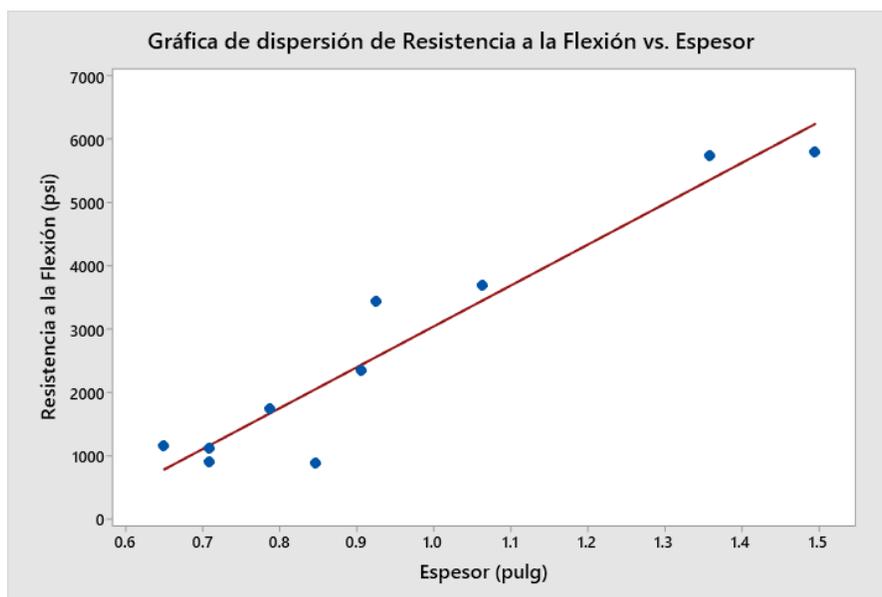
**Tabla 16. P-valor por variable**

Variable	p-valor
Espesor	0.00001
Densidad	0.02

Fuente: Propia

### 5.2.2.2. Gráficas de regresión lineal para ensayo a flexión del bambú

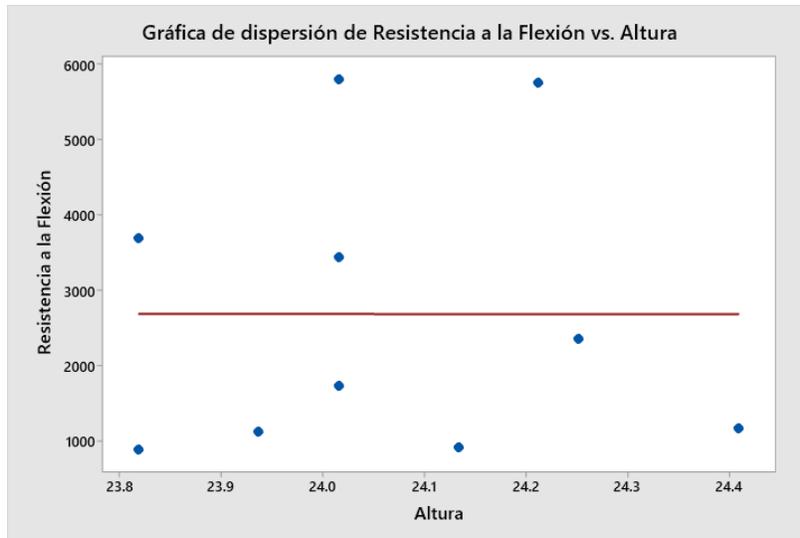
En las siguientes gráficas puede observarse cómo se comporta cada variable independiente respecto a la resistencia a flexión.



**Ilustración 62. Gráfico resistencia a la flexión vs. espesor (bambú)**

Fuente: Propia

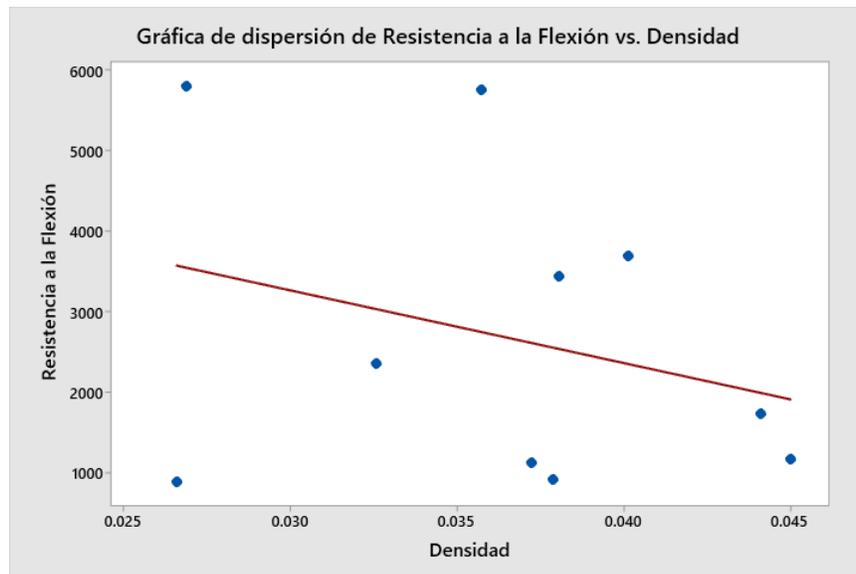
Interpretación: es la variable que mejor explica la resistencia a la flexión, mostrando una tendencia fuerte, directamente proporcional a la resistencia, es decir, a mayor espesor mayor resulta la resistencia a la flexión, encontrándose que la variable independiente "espesor", cuyo p-valor es de 0.001 y de acuerdo al  $R^2$  explica el 91.54% de la resistencia.



**Ilustración 63. Gráfico resistencia a la flexión vs. altura**

Fuente: Propia

Interpretación: la altura es una variable descartada, ya que se obtuvo un  $R^2$  de 0.00%, como puede observarse, los valores se encuentran dispersos y no existe una relación que explique un cambio en la resistencia a la flexión, que se mantiene constante, a pesar de las variaciones en altura.



**Ilustración 64. Gráfico resistencia a la flexión vs. densidad**

Fuente: Propia

Interpretación: puede observarse que no existe una correlación entre variables debido a que los datos se encuentran dispersos, se obtuvo un  $R^2$  de 8.8%, siendo un valor bajo para que dicha característica pueda explicar la resistencia a la flexión.

**Tabla 17. Resumen de  $R^2$  obtenidos por variable**

<b><math>R^2</math> obtenidos por variable</b>	
<b>Variable</b>	<b><math>R^2</math></b>
Espesor	91.54%
Altura	0.00%
Densidad	8.8%

Fuente: Propia

En la siguiente tabla pueden observarse resultados de resistencia a compresión y flexión del bambú *Guadua Angustifolia*, investigados por diferentes autores, incluyendo a la autora del presente trabajo de investigación.

**Tabla 18. Comparativa con otros autores**

<b>Autor</b>	<b>Tipo de Esfuerzo</b>	<b>Compresión (N/mm<sup>2</sup>)</b>	<b>Flexión (N/mm<sup>2</sup>)</b>
Martin, Mateus, Hidalgo, 1981 Bogotá	$S_y$ prom	49.00	
	$S_y$ min	35.00	
García Martínez, 1991 Quindío	$S_y$ prom	38.00	30.00
	$S_y$ min	34.30	17.50
Trujillo & López F. 2000, Medellín	$S_y$ prom	46.50	
	$S_y$ min	28.00	
FMPA, ZERI, Stuttgart 1999	$S_y$ prom	41.50	
	$S_y$ min	27.00	
Giraldo E. y Sabogal A. 2007	$S_y$ prom	45.63	
	$S_y$ min	42.02	
Facultad de Ingeniería de la Universidad de Colombia	$S_y$ prom	59.03	
	$S_y$ min	52.50	
<b>Media de los autores</b>	<b><math>S_y</math> prom</b>	<b>46.81</b>	<b>34.67</b>
	<b><math>S_y</math> min</b>	<b>36.47</b>	<b>17.5</b>
<b>Autora de la presente investigación</b>	<b><math>S_y</math> prom</b>	<b>29.90</b>	<b>18.53</b>
	<b><math>S_y</math> min</b>	<b>24.99</b>	<b>6.11</b>

Encontrándose una diferencia significativa entre los resultados de otros investigadores y la autora, especialmente en relación al esfuerzo a flexión.

### 5.3. ENSAYOS DE LABORATORIO PARA LA MADERA DE PINO

Con el fin de comparar ambos materiales se realizaron pruebas a muestras de madera de pino con dimensiones similares a las muestras de bambú con la diferencia de que estas piezas se consideraron rollizas.



**Ilustración 65. Muestras de madera rolliza de pino**

Fuente: Propia

Se realizó la medición de longitudes y diámetros, así como el registro del peso de las muestras.



**Ilustración 66. Registro de diámetros**



**Ilustración 67. Registro de pesos**

Fuente: Propia

### 5.3.1. ENSAYO A LA COMPRESIÓN DE LA MADERA

**Tabla 19. Datos obtenidos de las muestras de madera**

<b>Datos de las Muestras de Madera para Ensayo a Compresión</b>					
<b>Muestra</b>	<b>D<sub>1</sub></b> (pulg.)	<b>D<sub>2</sub></b> (pulg)	<b>D<sub>eprom</sub></b> (pulg)	<b>H</b> (pulg)	<b>W</b> (lb)
1	2.86	2.80	2.83	7.61	1.49
2	2.79	2.81	2.80	7.67	1.52
3	2.74	2.83	2.79	7.67	1.60
4	2.87	2.74	2.81	7.72	1.50
<b>Media</b>			2.81	7.67	1.53

Donde:

D: diámetro externo de madera

H: altura de madera

W: peso de la madera

Con las mediciones obtenidas se procedió a colocar cada muestra en la máquina de compresión, como se muestra en la siguiente imagen:



**Ilustración 68. Ensayo de resistencia a la compresión (madera)**

Fuente: Propia

**Tabla 20. Resultados de resistencia a la compresión de la madera**

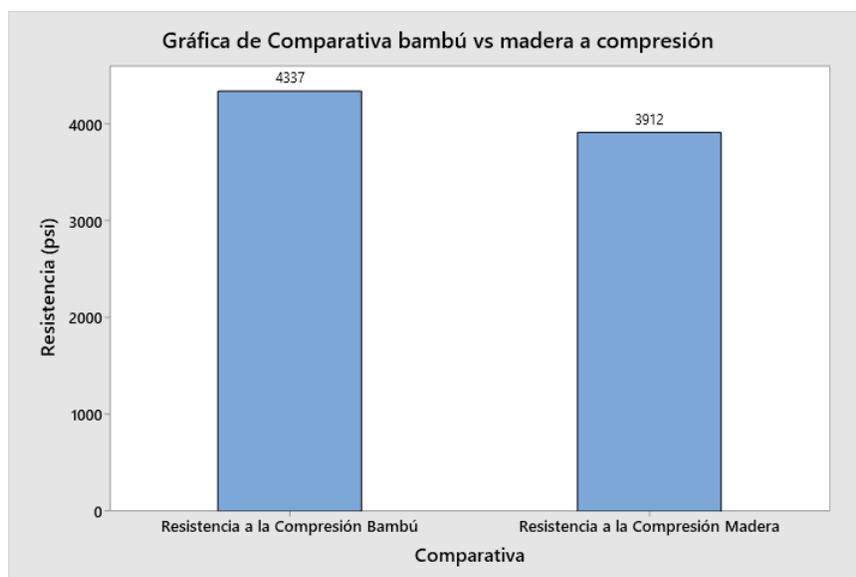
Resultados Resistencia a la Compresión de la Madera			
Muestra	Carga Aplicada (lb)	Área (pulg <sup>2</sup> )	Resistencia (psi)
1	19,780	6.29	3143.01
2	30,540	6.17	4948.65
3	21,160	6.09	3472.48
4	25,310	6.18	4095.43
<b>Media</b>	<b>24,198</b>	<b>6.18</b>	<b>3912.67</b>

5.3.2. ANÁLISIS COMPARATIVO A COMPRESIÓN ENTRE EL BAMBÚ Y LA MADERA DE PINO

Tomando la media de resistencia a la compresión del bambú y la madera se obtuvieron los siguientes datos:

**Tabla 21. Tabla comparativa de resistencia a la compresión**

Resistencia a la Compresión Bambú (psi)	Resistencia a la Compresión Madera (psi)
4337.00	3912.67



**Ilustración 69. Comparativa a compresión de bambú y madera**

Según la tabla y el gráfico puede observarse que el bambú presenta una mayor resistencia a la compresión.

### 5.3.3. ENSAYO A LA FLEXIÓN DE LA MADERA DE PINO

Al igual que en las muestras de bambú, para la madera también se realizaron pruebas de resistencia a flexión, para lo que se registraron el diámetro, la altura y el peso de cada muestra, obteniendo los siguientes datos:

**Tabla 22. Datos obtenidos muestras madera**

Datos Obtenidos de Elementos para Flexión					
Muestra	D <sub>1</sub> (pulg.)	D <sub>2</sub> (pulg.)	D <sub>eprom</sub> (pulg.)	H (pulg.)	W (lb)
1	2.73	2.72	2.72	24.02	4.48
2	2.81	2.80	2.81	24.04	5.04
3	2.75	2.79	2.77	24.09	4.48
4	2.66	2.95	2.80	24.09	4.50
<b>Media</b>			2.81	2.78	24.06

Donde:

D: diámetro externo de madera

H: altura de madera

W: peso de la madera



**Ilustración 70. Ensayo de resistencia a la flexión de la madera**

Fuente: Propia

**Tabla 23. Resultados del ensayo a la flexión de la madera**

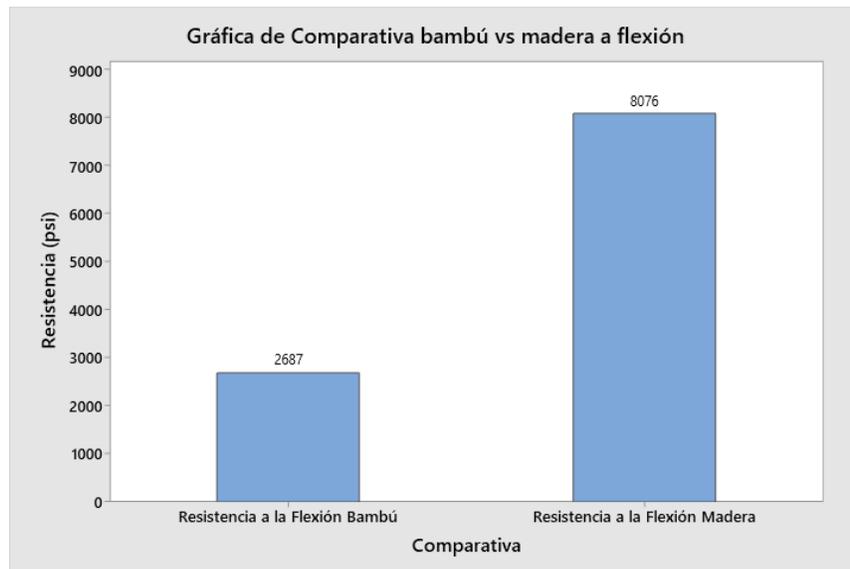
Resultados Resistencia a la Flexión		
Muestra	Carga Aplicada	Resistencia
	(lb)	(psi)
1	7,990	9,537
2	7,360	7,974
3	6,260	6,783
4	7,300	8,011
<b>Media</b>	<b>7,228</b>	<b>8,076</b>

5.3.4. ANÁLISIS COMPARATIVO A FLEXIÓN ENTRE EL BAMBÚ Y LA MADERA DE PINO

Tomando la media de resistencia a la flexión del bambú y la madera se obtuvieron los siguientes resultados:

**Tabla 24. Tabla comparativa de resistencia a flexión**

Resistencia a la flexión bambú (psi)	Resistencia a la flexión madera (psi)
2,687.5	8,076



**Ilustración 71. Comparativa a flexión de bambú y madera**

Puede observarse que la resistencia a la flexión de la madera es considerablemente mayor a la resistencia del bambú, con una proporción 3:1.

## VI. CONCLUSIONES

1. Se han identificado las condiciones climáticas y geográficas necesarias para el cultivo del bambú *Guadua Angustifolia*: temperatura, de 20° C a 26° C; relieve, de 1000 a 1600 msnm; precipitación, de 2,000 a 2500 mm/año; humedad relativa, de 75% a 85% y brillo solar, de 1.800 a 2,000 horas/luz/año, de donde se ha concluido que Honduras cuenta con condiciones para el cultivo de esta especie de bambú.
2. Se ha determinado que de acuerdo con las condiciones climáticas y de relieve necesarias para el cultivo del bambú *Guadua Angustifolia*, los departamentos propicios, en sus zonas con el relieve y temperatura requeridos, son: Atlántida, Colón, Comayagua, Cortés, Intibucá, Lempira, Olancho, Santa Bárbara y Yoro.
3. Se han realizado ensayos de laboratorio con el fin de obtener propiedades mecánicas, de donde se ha encontrado, a través del ensayo de resistencia a la compresión, la regresión lineal " $y = -251 - 303x + 542z + 30344w$ " para estimar la resistencia esperada. Se ha encontrado que la variable "área de contacto (x)" es la que mejor explica la resistencia a la compresión, de acuerdo con el  $R^2$  igual a 56.63%, y se ha descartado de esta muestra a las variables "altura (z)" y "densidad (w)". Asimismo, se ha determinado la regresión lineal " $y = -17166 + 7366x + 418z + 77563w$ " y se ha identificado que la variable "espesor (x)", de acuerdo con el  $R^2$  igual a 91.54% es la que mejor ha explicado la resistencia a la flexión, por lo que, para esta muestra, se han descartado las variables "altura (z)" y "densidad (w)".
4. De acuerdo con las pruebas de laboratorio realizadas se ha observado que el bambú *Guadua Angustifolia* posee mejor desempeño en la resistencia a la compresión (4,337 psi), comparado con la resistencia a la compresión de la madera (3,912 psi). En relación con el ensayo a flexión, se ha obtenido una menor resistencia (2,687.5 psi) para el bambú *Guadua Angustifolia*, en comparación con la resistencia a la flexión de la madera de pino (8,076 psi). Para efectos comparativos, se ha considerado importante mencionar que la estructura hueca del bambú a diferencia de la estructura de las muestras cilíndricas de madera de pino (rolliza).

5. Se ha determinado que de acuerdo con las propiedades mecánicas del bambú *Guadua Angustifolia*, dada la resistencia a la compresión demostrada, puede ser utilizado en cerramientos de edificaciones, utilizándolo tanto para cerramiento como en sustitución del armazón, o sea como paredes y columnas, para lo que se ha analizado que cumple con los parámetros físicos necesarios para las uniones entre sí. En relación con los hallazgos de la resistencia a la flexión, se ha identificado que el bambú *Guadua Angustifolia*, a pesar de encontrarse por debajo de la resistencia a la flexión de la madera de pino, puede proponerse para estructuras de techos, tanto para cubierta como para la armazón.

## **VII. RECOMENDACIONES**

- Secar el bambú bajo cubierta para obtener las muestras para futuras investigaciones, sin exponerlo directamente al sol, para evitar daños por exposición y secado acelerado.
- Usar bambú de más de 4 años de crecimiento para sistemas constructivos, para permitir la madurez del culmo.
- Realizar pruebas de resistencia a la compresión en sentido perpendicular a la fibra del bambú para analizar su comportamiento y verificar si cumple con la resistencia esperada para ser utilizado en entresijos.
- Utilizar una muestra mayor de bambú para futuras investigaciones de manera que se establezca de mejor manera la relación entre las variables que lo caracterizan y explican la capacidad de resistir esfuerzos a la compresión y a la flexión.

## VIII. ANEXOS

### 8.1. ACTAS DE ASESORAMIENTO TÉCNICO

#### 3.1.3. ACTA DE ASESORAMIENTO TÉCNICO

NOMBRE DEL PROYECTO:

El bambú como material alternativo de construcción en  
ceramientos de edificaciones en Honduras.

INTEGRANTES:

Nombre	Cuenta
Karla Maria Gonzalez Zuniga	10911006

ASESORAMIENTO		Nº: _____ de _____
ASESOR: Ing. Julio César López Zeron		
Recomendaciones del Asesor:		
1	Para la temática de los Ensayos de Laboratorio	
2	se recomienda investigar documentos técnicos,	
3	tales como ser: tesis, artículos científicos, entre	
4	otros para poseer el debido respaldo de	
5	procedimiento para realizar el ensayo de	
6	compresión y flexión, esto sobre la base	
7	de normativa ASTM para ensayos aplicables	
8	al concreto y madera, e investigar si existe	
9	alguna relación entre la resistencia a flexión	
10	y cortante en el bambú, y también definir	
	cantidad de muestras a ensayar en base	
	a técnicas estadísticas que	
	<i>apl. gen.</i> Firma del Asesor	Fecha: 06/11/19
	Sello	



11

3.1.3. ACTA DE ASESORAMIENTO TÉCNICO

NOMBRE DEL PROYECTO:

El Bambú como material alternativo de construcción en cerramientos de edificaciones en Honduras

INTEGRANTES:

Nombre	Cuenta
Karla Maria Carranza Zuniga	10911006

ASESORAMIENTO		N°: _____ de _____
ASESOR: Daniel Montenegro		
Recomendaciones del Asesor:		
1	Utilizar minitab para gráficos y análisis estadísticos	
2	Realizar ANOVA entre las muestras para determinar	
3	si hay diferencia significativa.	
4	Leer acerca de Anova	
5	Como segunda opción utilizar SPSS.	
6		
7		
8		
9		
10		
Firma del Asesor 		Sello Fecha: 2/12/2019

3.1.3. ACTA DE ASESORAMIENTO TÉCNICO

NOMBRE DEL PROYECTO:

El Bambú como material alternativo de construcciones en ceramamientos de edificaciones en Honduras.

INTEGRANTES:

Nombre	Cuenta
Karla María Guzmán Zuniga	10911006

ASESORAMIENTO		N°: _____ de _____
ASESOR: <u>Juan Carlos Reyes Zúñiga</u>		
Recomendaciones del Asesor:		
1	→ Corroborar la resistencia a compresión,	
2	calculando el área real de contacto	
3	al momento de la prueba.	
4		
5	→ Verificar la resistencia a flexión por	
6	medio de una ecuación adecuada para	
7	una figura circular.	
8		
9		
10		
 Firma del Asesor		Fecha: <u>02/12/2019</u>
Sello		

3.1.3. ACTA DE ASESORAMIENTO TÉCNICO

NOMBRE DEL PROYECTO:

El Bambú como material alternativo de construcción en cerramientos de edificaciones en Honduras.

INTEGRANTES:

Nombre	Cuenta
Karla Maria Carranza Zoniga	10911006

ASESORAMIENTO		N°: _____ de _____
ASESOR: Ing. Christian Guz.		
Recomendaciones del Asesor:		
1	Hacer correlación entre Dprom y resistencia (PSI)	
2	Diagrama de dispersión	
3	Regresión lineal simple (Resistencia y	
4	diámetro) si la correlación es alta	
5	Prueba de hipótesis entre el bambú	
6	y madera (Dos medias, dos muestras)	
7	Estadísticas descriptivas de todas las	
8	variables	
9		
10		
 Firma del Asesor		Fecha: <u>03/12/19</u>
		Sello

3.1.3. ACTA DE ASESORAMIENTO TÉCNICO

NOMBRE DEL PROYECTO:

El Bambú como material alternativo de construcción en cerramientos de edificaciones en Honduras.

INTEGRANTES:

Nombre	Cuenta
Karla Maria Garza Zuniga	10911006

ASESORAMIENTO		N°: _____ de _____
ASESOR: Ing. Julio Cesar Lopez Zeron		
Recomendaciones del Asesor:		
1	Buscar información en el CPAE, específicamente	
2	en Tesis, toda la información referente	
3	a estudios técnicos practicados a determinados	
4	tipo de madera, desde el punto de vista	
5	de propiedades físicas, ensayos aplicados para	
6	determinar dichas propiedades según norma	
7	ASTM y analizar su aplicabilidad en el	
8	bambú.	
9		
10		
 Firma del Asesor		Fecha: 03/12/17
		Sello

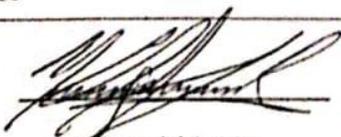
3.1.3. ACTA DE ASESORAMIENTO TÉCNICO

NOMBRE DEL PROYECTO:

El Bambú como material alternativo de construcción en Honduras para cerramientos de edificaciones.

INTEGRANTES:

Nombre	Cuenta
Karla Maria Conanza Zuniga	10911006

ASESORAMIENTO		N°: _____ de _____
ASESOR: Msc. Nahun Fúnez		
Recomendaciones del Asesor:		
1	Buscar códigos/reglamentos de construcción de otros países	
2	e identificar la aplicabilidad del bambú en los	
3	Sistemas de cerramiento en rollo.	
4		
5	Identificar que otros materiales complementan al bambú	
6	en los sistemas constructivos (Paredes, Vigas perimetrales)	
7		
8		
9		
10		
 Firma del Asesor		Fecha: <u>30 / 01 / 20</u>
Sello		

3.1.3. ACTA DE ASESORAMIENTO TÉCNICO

NOMBRE DEL PROYECTO:

El Bambú como material alternativo de construcción en Honduras para cuencamientos de edificaciones.

INTEGRANTES:

Nombre	Cuenta
Karla Maria Conanza Zuniga	10911006

ASESORAMIENTO		N°: _____ de _____
ASESOR: Julio César López Zetón		
Recomendaciones del Asesor:		
<p>1 ⇒ Recopilar información técnica sobre especificaciones, parámetros, recomendaciones, entre otros, sobre los procesos/procedimientos constructivos en los cuales se puede implementar el bambú, esto a través de normativas, manuales, entre otros de países en los cuales se ha investigado el bambú como ser Guatemala, Costa Rica y Suramérica.</p> <p>2</p> <p>3</p> <p>4</p> <p>5</p> <p>6</p> <p>7</p> <p>8 ⇒ Realizar una investigación para intentar contactar a la Arq. Nelly Falck porque en Honduras ella es una referente en el estudio y aplicación del bambú en la construcción, esto con el objetivo de recopilar información local.</p> <p>9</p> <p>10</p>		
Firma del Asesor	Sello	Fecha: 06/07/20.



Scanned with

3.1.3. ACTA DE ASESORAMIENTO TÉCNICO

NOMBRE DEL PROYECTO:

El Bambú como material alternativo de construcción en Honduras para cerramientos de edificaciones.

INTEGRANTES:

Nombre	Cuenta
Karla Maria Conanza Zuniga	10911006

ASESORAMIENTO		N°: _____ de _____
ASESOR: <u>Julio Cesar Lopez Zeron</u>		
Recomendaciones del Asesor:		
<p>1 <u>Para acotar la investigación se instruye Trabajar bajo</u>                  2 <u>los siguientes sistemas constructivos:</u>                  3 <u>(1) Losa de entrepiso alveolar (bambú elemento aligerante</u>                  4 <u>no estructural) (2) Losa prefabricada con bambú como elemento</u>                  5 <u>estructural (3) Losa utilizando el bambú como viga</u>                  6 <u>estructural (4) pared con marcos de bambú (5) armaduras</u>                  7 <u>para sustento estructural de Techos y (6) casetones/barebitas</u>                  8 <u>para construcción de losas aligeradas y nervadas a base</u>                  9 <u>de esterilla de bambú. En función de los usos descritos, se</u>                  10 <u>debe investigar toda la normativa de rigor, especificaciones</u>  <u>técnicas/constructivas, ventajas y desventajas de su</u>  <u>implementación e indicando el tipo de preservación</u>  <u>que debe ser realizado según su uso/desempeño.</u></p>		
<p><i>Julio Cesar Lopez Zeron</i>                  _____                  Firma del Asesor</p>		<p><u>20/02/20</u></p>



Scanned with  
CamScanner

## IX. BIBLIOGRAFÍA

1. Instituto Hondureño de Ciencias de la Tierra. (2012). *Atlas Climático y de Gestión de Riesgo en Honduras*. Tegucigalpa.
2. Addlink. (2020). *Addlink*. Obtenido de <https://www.addlink.es/productos/minitab-statistical-software#descripcion>
3. Aimplas. (2020). *Aimplas*. Obtenido de <https://www.aimplas.es/tipos-ensayos/propiedades-mecanicas-de-los-materiales-plasticos/ensayo-de-flexion/>
4. *Arcus Global*. (13 de Mayo de 2019). Obtenido de <https://www.arcus-global.com/wp/sistema-de-cerramiento-de-edificios/>
5. BambúExport. (2020). *BambúExport*. Obtenido de <http://www.bambuexport.com.ec/productos/bambu-guadua-angustifolia-kunth/>
6. Bambuterra. (25 de Agosto de 2015). *Twitter*. Obtenido de [https://twitter.com/bambuterra\\_/status/636229073887346688](https://twitter.com/bambuterra_/status/636229073887346688)
7. Bambuterra. (2020). *Bambuterra*. Obtenido de <https://www.bambuterra.com.mx/>
8. Banco Mundial. (10 de Octubre de 2019). *bancomundial.org*. Obtenido de <https://www.bancomundial.org/es/country/honduras/overview>
9. Bastidas Passos, L., & Flores Borja, E. (2018). *Bambú en Urbanizaciones: Entre la Tradición y el Futuro*. Bogotá.
10. *BauNetz*. (13 de Abril de 2012). Obtenido de [https://www.baunetz.de/meldungen/Meldungen-Parkhaus\\_von\\_HPP\\_in\\_Leipzig\\_fertig\\_2517951.html?source=rss](https://www.baunetz.de/meldungen/Meldungen-Parkhaus_von_HPP_in_Leipzig_fertig_2517951.html?source=rss)
11. CASSA. (Febrero de 2020). *CASSA*. Obtenido de <https://cassa.com.gt/proyectos/>
12. Cespada. (Octubre de 2015). *Cespada (Centro de Estudio para la Democracia)*. Obtenido de <http://cespad.org.hn/wp-content/uploads/2017/06/Monitoreo-RRNN-oct-2.pdf>
13. Criterio. (08 de Abril de 2017). Obtenido de <https://criterio.hn/no-sabias-honduras/>

14. Delgado, E. S. (2006). *Simón Vélez: "Símbolo y Búsqueda de lo Primitivo"*. Bogotá.
15. Diario de Centroamérica. (16 de Abril de 2013). Obtenido de <https://www.youtube.com/watch?v=RSnaFKGuyjw>
16. directindustry. (2019). *directindustry*. Obtenido de <https://www.directindustry.es/prod/shenzhen-wance-testing-machine-co-ltd/product-72280-965513.html>
17. Durón, J. L. (17 de Abril de 2009). *Flickr*. Obtenido de <https://www.flickr.com/photos/duronmartinez/3457525371>
18. Escobar, E., Belalcázar, J., & Rippstein, G. (1993). *Clave de las principales plantas de sabana de la altillanura de los Llanos Orientales en Carimagua, Meta, Colombia*. Palmira: Centro Internacional de Agricultura Tropical.
19. ESNACIFOR. (1998). *Jblancetilla.org*. Obtenido de <http://jblancetilla.org/PLAN%20DE%20MANEJO%20DE%20PLANTACIONES.pdf>
20. Forestal, Unidad de Monitoreo. (2019). *Instituto de Conservación Forestal*. Obtenido de [http://sigmof.icf.gob.hn/?attachment\\_id=5158](http://sigmof.icf.gob.hn/?attachment_id=5158)
21. FOSDEH. (13 de Septiembre de 2013). *Mapas de FOSDEH*. Obtenido de <https://mapasfosdeh.wordpress.com/2011/09/13/alturas-y-relieves-de-honduras/>
22. Fundación Secretos para Contar. (2011). *secretosparacontar.org*. Obtenido de <http://www.secretosparacontar.org/Lectores/Contenidosytemas/Algunosusosdelaguadua.aspx?CurrentCatId=256>
23. González, A. (2017). *Ambientico*. Recuperado el 2019, de <http://www.ambientico.una.ac.cr/pdfs/art/ambientico/262-4-9.pdf>
24. Google Earth. (2019).
25. Hsiung, W. (1991). *Bamboo.org*. Obtenido de <https://bamboo.org/publications/download/get/54/>
26. Hsiung, W. (2019). *fao.org*. Obtenido de <http://www.fao.org/3/s2850s/s2850s07.htm>

27. Importaciones y Proyectos. Especialistas en Bambú. (2018). *Bambusa.es*. Obtenido de <https://bambusa.es/caracteristicas-del-bambu/bambu-guadua/>
28. Instron. (2020). *Instron*. Obtenido de <https://www.instron.com.ar/es-ar/our-company/library/glossary/c/compressive-strength>
29. Instron. (2020). *Instron*. Obtenido de <https://www.instron.com.ar/es-ar/our-company/library/glossary/f/flexure-test>
30. López, D. P. (2009). *Desarrollo de un sistema de construcción a partir de estructuras en Guadua*. Medellín: Univesidad EAFIT.
31. Mateus, L. F., & Torres Rico, M. A. (2018). *REVISIÓN DE LA LITERATURA PARA HALLAR LOS FACTORES DETERMINANTES EN LA PRODUCCIÓN Y USO DE LA GUADUA*. Bogotá: UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA.
32. Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda. (2016). *Norma Ecuatoriana de la Construcción*. Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda (MIDUVI).
33. Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (s.f.). *Norma Técnica E.100*. Perú.
34. Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (s.f.). *Norma Técnica E.100 Bambú*. Perú.
35. Minitab. (2019). *Minitab*. Obtenido de <http://www.minitab.com/en-us/>
36. Moreno Montoya, L. E., Osorio Serna, L. R., & Trujillo de los Ríos, E. (Diciembre de 2006). Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/852/85202009.pdf>
37. Muñoz, R. (22 de Octubre de 2019). Ingeniero. (K. Carranza, Entrevistador)
38. Navidi, W. (2006). *Estadística para Ingenieros y Científicos*. Ciudad de México: McGrawHill.
39. Navidi, W. (s.f.). *Estadística para Ingenieros y Científicos*. McGraw Hill.
40. ONU, O. d., & ICF. (s.f.).
41. Pantoja Trujillo, N. H., & Acuña Jiménez, D. F. (2005). *Resistencia al corte paralelo a la fibra de la guadua*. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia. Obtenido de [https://www.usmp.edu.pe/centro\\_bambu\\_peru/pdf/Resistencia\\_corte\\_paralelo\\_fibra.pdf](https://www.usmp.edu.pe/centro_bambu_peru/pdf/Resistencia_corte_paralelo_fibra.pdf)

42. Pomareda, C., Esteban , B., & Figueroa, L. (Enero de 1998). *La Industria de la Madera en Honduras*. Obtenido de <http://x.incae.edu/EN/clacds/publicaciones/pdf/cen534.pdf>
43. Prada Guevara, J. A., & Zambrano Ordoñez, J. (2003). *usmp.edu*. Obtenido de [https://www.usmp.edu.pe/centro\\_bambu\\_peru/pdf/Elementos\\_ompresion\\_con\\_perforacion.pdf](https://www.usmp.edu.pe/centro_bambu_peru/pdf/Elementos_ompresion_con_perforacion.pdf)
44. Preserbambú. (2019). *preserbambu*. Obtenido de <https://www.preserbambu.com/que-es-el-bambu>
45. Pulido, H. G., & De la Vara Salazar, R. (2008). *Análisis y Duseño de Experimentos*. Mexico D.F: Mc Graw Hill.
46. Rao, A., Dhanarajan, G., & Sastry, C. (1985). *Recent Reearch on Bamboos*. The Chinese Academy of Forestry, People's Republic of China & International Development Research Centre, Canada.
47. Salas, E. (2006). *Actualidad y futuro de la arquitectura de bambú en Colombia, Tesis de doctorado*. Barcelona: Universidad Politécnica de Cataluña.
48. Salazar, A. I. (10 de Noviembre de 2014). *archdaily*. Obtenido de <https://www.archdaily.mx/mx/756980/sport-city-oaxaca-rootstudio-plus-arquitectos-artesanos>
49. Sampieri, R. H., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2014). *Metodología de la Investigación*. Mexico DF: McGraw Hill Education.
50. *Scielo*. (30 de Octubre de 2007). Obtenido de <http://www.scielo.org.mx/img/revistas/mb/v15n1/a7f1.jpg>
51. Secretaría de Recursos Naturales y Ambiente. (Abril de 2008). Obtenido de <http://documents.shihang.org/curated/zh/702661468034507780/pdf/E21640SPANISH0L CR1EMP1P070038.pdf>
52. Teneche, G. (Diciembre de 2018). *Guadua Bambú Colombia*. Obtenido de <https://guaduabambucolombia.com/2018/12/12/plantas-de-guadua-bambu-angustifolia-kunth/>

53. Ubidia, J. M. (2015). *Manual de Construcción "Construir con bambú" (Caña de Guayaquil)*. Lima: INBAR.
54. Utest. (2019). *Utest*. Obtenido de <http://www.utest.com.tr/es/25944/M-quina-Autom-tica-para-Pruebas-de-Flexi-n>
55. Villegas, F. (2005). *Comparación consumos de recursos energéticos en la construcción de vivienda social: Guadua vs Concreto. Tesis de maestría.* . Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.
56. Walpole, Myers, & Myers. (2012). *Probabilidad y Estadística para Ingeniería y Ciencias*. Ciudad de México: Pearson.
57. Zambrano Ch., M. A. (2008). *Informe de Evaluación Ambiental y Plan de Manejo Ambiental*. FIDE. Obtenido de <http://documents.shihang.org/curated/zh/702661468034507780/pdf/E21640SPANISH0L-CR1EMP1P070038.pdf>