

1. MARCO TEORICO Y PROPIEDADES MECANICAS DE LA GUADUA

Se pueden referenciar investigaciones sobre el bambú de diferentes lugares del mundo, en países como el Japón, Puerto Rico y Brasil entre otros, en los cuales se elabora un estudio acerca del cultivo, las propiedades, el desarrollo y el uso del bambú, así como su aplicación en diferentes áreas, mas sin embargo, estos aportes solo tienen un alcance local, debido que las propiedades tanto físicas como mecánicas de este, dependen directamente de las características medioambientales in situ.

Bajo un enfoque botánico, la especie *Bambú*, se encuentra clasificada dentro de la familia *Bambusoideae*, perteneciente a las Gramíneas (posee entre 800 y 1000 especies dentro de 80 a 90 géneros).

En Colombia existen 28 especies de bambúes herbáceos y 47 especies de bambúes leñosos distribuidos en 11 y 7 géneros respectivamente. La subtribu *Guaduinæ* que incluye el género *Guadua*, se ubica dentro de estas especies leñosas.

La guadua en Colombia se puede localizar en el Amazonas, en la Región Atlántica y en la Región Andina. La guadua encontrada en la Región Andina es la especie mas reconocida, debido a su incidencia en el desarrollo económico y cultural, observado especialmente en el Viejo Caldas.

En la guadua de la Región Andina se centraran nuestros estudios por ser la especie dedicada y utilizada en los procesos constructivos, a continuación:

GUADUA			
Nombre Común		Guadua	
Nombre Científico		Guadua Angustifolia Kunth	
Familia		Gramíneas	
Tribu		Bambuseae Veræ	
Subgénero		Bambusa	
Hábitat		0 msnm - 2200 msnm	
Precipitación		Superior a 1200 mm/año	
Humedad Relativa		75 % - 85 %	
Desarrollo Optimo	Altitud	900 msnm - 1600 msnm	Estas Propiedades son factores determinantes en la dimensión del Diámetro y la Altura de la Guadua Angustifolia Kunth.
	Precipitación	2000 mm/año - 2500 mm/año	
	Temperatura	20 °C - 26 °C	
Formas		Guadua Castilla	
		Guadua Macana	
		Guadua Cebolla	
Variedades		Guadua Bicolor	Verde rayada y amarilla
		Guadua Negra	El gen determinante no se ha adquirido totalmente

TABLA N° 1. Guadua Angustifolia Kunth.

1.1. MORFOLOGIA

De acuerdo con el Centro Nacional para el estudio del bambú, la guadua se divide en seis partes, las cuales se describirán a continuación:

PARTES DE LA GUADUA ANGUSTIFOLIA KUNTH	
Rizoma	Es un tallo modificado, subterráneo, que conforma el soporte de la planta. Es el lugar por donde la guadua absorbe los nutrientes. Se ha utilizado en estabilización de las laderas y prevención de la erosión producida por escorrentía, vientos fuertes y desmoronamiento.
Cepa	Es la parte del culmo ¹ con mayor diámetro y espesores de pared mayores; Posee una longitud de 4 metros. Las distancias de cañutos son las más cortas y en la construcción se les utiliza como columnas.
Basa	El diámetro es intermedio y la distancia entre nudos es mayor que en la cepa; es la parte del culmo de la guadua que más se utiliza; tiene una longitud aproximada de 11 metros.
Sobrebasa	El diámetro es menor y la distancia entre nudos es un poco mayor, comparado con la basa, la longitud es de aproximadamente cuatro metros.
Carillón	La sección tiene un diámetro pequeño y la longitud es de unos tres metros aproximadamente.
Copa	Es la parte apical de la guadua, con una longitud entre 1.20 a 2.00 metros.

TABLA N° 2. Partes de la Guadua Angustifolia Kunth.

CARACTERÍSTICAS DE LAS DISTINTAS FORMAS DE GUADUA ANGUSTIFOLIA KUNTH		
Guadua Castilla	Guadua Macana	Guadua Cebolla
Diámetros Grandes: 180 mm – 350 mm	Diámetros Pequeños: 70 mm – 150 mm	Diámetros Pequeños y Uniformes: 100 mm
	Espesor: 12 mm	Espesor: 10 mm
Se desarrolla en suelos húmedos y ricos en nutrientes	Se desarrolla en suelos con pocos nutrientes con humedad baja	Se desarrolla en suelos ricos en nutrientes con alta humedad
	El suelo debe presentar pendientes pronunciadas	El suelo debe presentar pendientes bajas

TABLA N° 3. Características de las distintas formas de la Guadua Angustifolia Kunth.

¹ CULMO: Es el eje aéreo segmentado que emerge del rizoma. Este término se emplea principalmente cuando se hace referencia a los Bambúes leñosos. El culmo consta de: cuello, nudos y cañutos. Se le denomina cuello a la parte de unión entre el rizoma y el culmo, nudo a los puntos de unión a los cañutos; y cañuto a la porción del culmo comprendida entre dos nudos.

Algunas características notables según González y Díaz² son:

Guadua Macana:

- ❖ Presenta coloración blanca debido al recubrimiento de un tejido blanquecino, reticulado y de tipo arenoso, esparcido a lo largo del entrenudo y más concentrado a nivel del nudo; los nudos son rectos.
- ❖ Acanaladura visible y prolongada hasta más allá de la mitad del entrenudo

Guadua Cebolla:

- ❖ Menor cantidad de esclerénquima o tejido duro, menor cantidad de haces fibrovasculares.
- ❖ Diámetros en la parte media de la cepa mayores de 0.10 metros, espesores de 0.01 metros.
- ❖ En corte longitudinal de culmos en estado adulto, la coloración interna es amarillenta, no hay presencia de tejido blanquecino y los nudos son convexos en el sentido del crecimiento del tallo.
- ❖ Acanaladura de la base de la yema hacia arriba apenas perceptible y que se prolonga hasta la mitad del entrenudo.

1.2. CULTIVO Y MANEJO

En países como India, China y Japón se han desarrollado tecnologías avanzadas para el cultivo y el manejo del Bambú.

A continuación, en la Figura N° 1, Tabla N° 4, Tabla N° 5, Tabla N° 6, Tabla N° 7, Tabla N° 8, Tabla N° 9, Tabla N° 10, Tabla N° 11 y Tabla N° 12, se describe brevemente cada uno de los ítems determinantes en el ciclo de cultivo y manejo de la guadua:

² GONZALEZ, Eugenia y DÍAZ, John. Propiedades físicas y mecánicas de la guadua. Universidad Nacional Medellín, Facultad de Ciencias Agropecuarias, 1992. p.4



FIGURA N° 1. CULTIVO Y MANEJO DE LA GUADUA

PROPAGACIÓN	
<i>La regeneración del bambú ocurre a través de rizomas, semillas y ramas laterales enterradas.</i>	
Por Semilla	La posibilidad de propagar bambúes por semilla no es un método práctico debido a los largos ciclos de semillación de los bambúes y la dificultad de obtener semillas en algunos de ellos; sin embargo se aplicó para algunas especies de bambú como <i>Dendrocalamus Strictus</i> . En América, las semillas de algunas especies como <i>Guadua Angustifolia</i> , presentan porcentajes altos de germinación, 95 – 100%, sin embargo la posibilidad de que esta especie produzca semillas es escasa ya que un alto porcentaje de los flósculos de la espiguilla son parasitados en estado inmaduro por larvas de insectos principalmente de los órdenes Diptera e Hymenoptera.

Rizomas con segmento de tallo	Es considerado como el mejor método de propagación, sin embargo no es recomendado para plantaciones a gran escala por lo pesado y difícil del transporte. En Colombia, este método ha sido implementado por Corporaciones Regionales para las reforestaciones con guadua Angustifolia, mediante el uso del "chusquín" y se considera el método más ventajoso por la facilidad de obtención del material, alta eficiencia y economía. El "chusquín" es un brote delgado que sale de una yema superior del rizoma, y se extrae con un segmento de tallo y un trozo de rizoma basal. A diferencia de muchas especies de bambúes asiáticos, un plantón de guadua Angustifolia se caracteriza por la alta emisión de "chusquines".
Segmentos de culmo	Es efectivo para propagar bambúes de gran tamaño y de pared gruesa. Se observó que se debe utilizar culmos de un año de edad, y segmentos de culmo con uno o dos nudos por segmento; la siembra es mejor horizontal que vertical u oblicua, y se deben enterrar a 20 cm de profundidad, regando dos veces al día. Este método no es ventajoso por su costo y por la limitación de usar culmos de un año, los cuales pueden ser usados para otros propósitos.
Segmentos de ramas	Este método es útil, práctico y efectivo, además de ser fácilmente manejable. El enraizamiento es eficiente en un medio de cascarilla de arroz y carbón. La eficiencia del enraizamiento varía en cada especie y depende del tamaño del culmo y del grosor de la pared. Los bambúes de pared gruesa poseen una mayor emisión de brotes y mejor enraizamiento probablemente debido a una mayor reserva de alimento.
Segmentos de riendas o "ganchos"	Este sistema se ha implementado en Colombia con guadua Angustifolia, obteniendo el material para propagación de las ramas con espinas que se desarrollan en los cañutos bajos de culmo y que se conocen con el nombre de riendas o ganchos. Este método es recomendado por las Corporaciones Regionales debido a la fácil obtención del material, ya que se utiliza una estructura vegetativa generalmente desaprovechada (riendas) y además presenta un alto porcentaje de prendimiento.
In vitro	Este sistema de propagación se realiza en el laboratorio, bajo condiciones asépticas y mediante el uso de embriones de semilla o yemas auxiliares.

TABLA N° 4. Propagación.

SIEMBRA

Los bambúes se pueden cultivar fácilmente, sin embargo, hay que determinar el objetivo, bien sea si es comercial, conservacionista u ornamental.

*En las plantaciones con propósito comercial se recomienda distancias más amplias de siembra entre surcos que entre plantas con el fin de lograr una mayor incidencia de los rayos solares sobre el cultivo. Para la *guadua Angustifolia* se han recomendado distancias de siembra ideales distanciando los surcos entre 6 y 10 metros.*

En las plantaciones con fines netamente conservacionistas se debe sembrar en barreras con distancias más cortas entre surcos y entre plantas.

TABLA N° 5. Siembra.

LIMPIEZA

*Los bambúes son plantas heliófilas por excelencia, por eso para su buen desarrollo es muy importante el control de malezas en la primera fase de crecimiento. En el caso de la *guadua Angustifolia*, durante los primeros años de cultivo se puede asociar con fríjol, maíz, soya u otros cultivos, lográndose de esta manera mantener la plantación libre de malezas y lograr un ingreso extra para el agricultor. Sin embargo debido al rápido crecimiento de la *guadua*, esta asociación no es recomendable por un tiempo mayor de dos años; tampoco se recomienda cuando se utilizan distancias de siembra cortas.*

TABLA N° 6. Limpieza.

FERTILIZACIÓN

*Por ser una gramínea responde rápido a la aplicación de urea y abonos orgánicos. La dosis a aplicar debe estipularse para cada terreno con base en el análisis químico de suelo. Las aplicaciones de fertilizantes a base de nitrógeno, fósforo, potasio y boro son necesarias para el buen desarrollo de la *guadua Angustifolia* considerando siempre los requerimientos del suelo.*

TABLA N° 7. Fertilización.

APROVECHAMIENTO

La explotación sistemática y regular, incrementa la producción de culmos y facilita la cosecha, mientras que la explotación excesiva y continua, reduce la producción de culmos y conduce a la extinción del cultivo.

En el caso de la guadua Angustifolia se ha comprobado que en un período de 5 a 7 años, la especie alcanza su pleno desarrollo con producción de guadas catalogadas como comerciales. A partir de este momento se debe seguir un plan de aprovechamiento y mejoramiento igual al recomendado para guadales naturales.

TABLA N° 8. Aprovechamiento.

CORTE

La época ideal para cosechar el bambú es durante el período seco ya que la emisión de brotes en esta época es baja y el contenido de humedad de los culmos también, lo que facilita el transporte y reduce la aparición de plagas y enfermedades post – cosecha.

		Observaciones
Según Creencias	Se debe cortar la guadua angustifolia Kunth en cuarto menguante en las horas de la madrugada	✓ Mayor resistencia al ataque de los insectos Xilófagos. ✓ Aumentan notablemente sus propiedades mecánicas.
Edad de Corte	Hasta 2 años de edad.	✓ La guadua angustifolia Kunth es más vulnerable al ataque de los insectos.
	De 3 a 6 años de edad.	✓ Es la edad óptima para utilizar la guadua angustifolia Kunth en construcción.

TABLA N° 9. Corte.

CURADO	
<i>Es el procedimiento (generalmente físico o natural) que se realiza para que la guadua sea menos propensa al ataque de insectos.</i>	
Curado en la mata	Después de cortadas las guaduas se dejan en el gradual con ramas y hojas recostadas sobre otras guaduas lo más verticalmente posible y aisladas del suelo por una piedra. Se deja en esta posición durante un mes; después se retiran las ramas y se deja secar en un lugar ventilado. En experimentos realizados en Puerto Rico en 1940, se encontró que los tallos tratados en la mata eran un 91.6% menos propensos al ataque de insectos que los no tratados.
Curado por inmersión en agua	Consiste en sumergir las guaduas después de cortadas en un estanque o en un río por menos de un mes. Es el menos recomendable de los sistemas de curado ya que las guaduas se manchan y se vuelven quebradizas.
Curado al Calor	Este sistema de curado es muy eficiente ya que se obtienen guaduas secas en corto tiempo. Consiste en poner las guaduas de forma horizontal sobre brasas a una distancia prudente para que no se quemen; las cañas se deben rotar para que con la diferencia de temperatura no se vayan a producir agrietamientos.

TABLA N° 10. Curado.

PRESERVACIÓN		
<i>Es el procedimiento (generalmente químico) que se realiza para que la guadua sea menos propensa al ataque de insectos, la humedad y el sol.</i>		
Método de inmunización Boucherie Modificado	de	Consiste en aplicar una solución química a presión a los tallos recién cortados para reemplazar la sabia de estos, quedando impregnados y protegidos contra los insectos. Este sistema también sirve para proteger contra el fuego si se utilizan los químicos adecuados.
Tratamiento inmersión	por	Consiste en sumergir las guaduas en un estanque lleno de químicos donde se deja por un día. Al igual que el anterior sirve contra insectos y fuego.
Inmunización humo	con	Las guaduas son metidas en una cámara de humo donde se dejan hasta que alcancen una humedad del 10%. Se afirma que el humo produce la cristalización de la lignina, trayendo como consecuencia una mayor resistencia al ataque de insectos, impermeabilidad y mejores propiedades mecánicas.
Protección resinas y aceites	con	Para proteger las guaduas contra el sol es muy común aplicarles pinturas de colores o barnices transparentes, o asegurarse de que los aleros las protejan. Los efectos que tiene el sol sobre las guaduas son la pérdida de color y agrietamientos por tensiones internas debidas al cambio adiabático de temperatura. Contra la humedad también se recomienda la pintura de aceite, pero si son guaduas que van a permanecer expuestas a la intemperie o enterradas es recomendable hacerles un recubrimiento con asfalto líquido.
Tratamiento inyección	por	Consiste en inyectar los cañutos con una solución de ácido bórico y bórax con una relación de 2% y 1% respectivamente en agua.

TABLA N° 11. Preservación.

PLAGAS, ENFERMEDADES Y DAÑOS

Se sabe que durante la fase de renuevos es cuando el bambú sufre más el ataque por parte de coleópteros, saltamontes, termitas y áfidos, los cuales perforan los culmos; también se sabe que los roedores, los micos, las ardillas y las cabras, roen los rizomas y/o se comen los renuevos y que el ganado, come y destruye con el pisoteo los brotes nuevos. Los culmos adultos raras veces son atacados por coleópteros sin embargo cuando están sobremaduros son atacados por una de las plagas más serias del bambú, el Didnoderus minutus, considerado la mayor amenaza para el bambú cortado.

*En el caso específico de la *guadua angustifolia*, se conoce de dos plagas importantes que atacan la planta en su estado natural: el adulto del coleóptero *Pudichumus agemur* que perfora exclusivamente los renuevos, indispensables en la producción anual del gradual, y la larva de una mariposa de la familia *Arctidae* o *Megalophidae* que defolia los rodales en un 80% - 90% observándose sin embargo una rápida recuperación.*

Los hongos afectan sobre todo el follaje; cuando atacan los culmos en su fase juvenil se observa una coloración especial. Bajo condiciones excesivas de humedad los hongos pueden atacar mortalmente al rizoma.

Otra fuente sería de daño en las poblaciones de bambú es el fuego. La quema de los cañadulzales es una causa real del deterioro de los graduales.

TABLA N° 12. Plagas, enfermedades y daños.

1.3. PROPIEDADES MECANICAS DE LA GUADUA

1.3.1. Tracción

Aunque el ensayo de tracción es utilizado para determinar las propiedades mecánicas de los materiales, el caso de la *guadua* ha sido la excepción, debido a la dificultad de fijar el tallo completo sin que se viera afectado en los puntos locales de sujeción.

Para tratar de corregir este inconveniente, el Instituto del Bambú, Institute of Bamboo and Rattan (INBAR), Standard For Determination Of Physical And Mechanical Properties Of Bamboo, ha tratado de homologar los ensayos de Bambú, sugiriendo en este caso en particular, la utilización de latas de *guadua* ahusadas con el fin de facilitar el agarre de las probetas. Estas probetas tienen un centro de 2 centímetros de ancho en una longitud de 10 centímetros, con una sección adicional de ancho mayor en los extremos para facilitar el acople al equipo de falla. De esta manera, se proporciona una buena zona de amarre y se induce además a una falla en el centro de la probeta, donde las tensiones son más uniformes y conllevan un cálculo más sencillo.

Debido a que la *guadua* no es un material homogéneo, no se puede hablar de esfuerzo normal uniforme en los ensayos de tracción, además la aplicación de las cargas sobre los centroides de las secciones no es exacta, aunque esto último se

podría depreciar. Mas sin embargo, si se puede calcular el esfuerzo normal medio en una pieza prismática.

$$\sigma = \frac{P}{A}$$

Donde:

σ = Esfuerzo normal medio (kgf/m²)
P = Carga (kgf)
A = Área transversal (m²)

La guadua se comporta elásticamente (por lo menos con una aplicación leve de carga). Este material, como en muchos otros, se puede aplicar la Ley de Hooke,

$$\sigma = E * \varepsilon$$

Siendo:

σ = Esfuerzo normal medio (kgf/m²)
E = Módulo de elasticidad (kgf/m²)
 ε = Deformación unitaria

en donde inicialmente se comportan elásticamente y se presenta una relación lineal entre el esfuerzo y la deformación.

Basados en las pruebas de laboratorio realizadas en el laboratorio de recursos forestales de la Universidad Nacional sede Medellín, para el trabajo de grado *Comportamiento Sismo-Resistente De Estructuras En Bahareque*³ realizado por Mario Felipe Silva V. y Luis Felipe López M., se deduce un valor de esfuerzo admisible a tracción paralela

$$\sigma_{ADM} = 26.4MPa$$

el cual es solo aplicable a las latas de guadua, en el caso de solicitar elementos de guadua rolliza a tracción, se debe concentrar el análisis en la unión.

(VER ANEXO A.1.)

1.3.2. Compresión Paralela A La Fibra⁴

Es difícil mencionar los ensayos de compresión sin profundizar un poco en la teoría de pandeo y estabilidad.

³ LÓPEZ, Luis Felipe y SILVA, Mario Felipe. Comportamiento sismorresistente de estructuras en Bahareque. Manizales, 2000. Trabajo de grado (Ingeniero Civil). Universidad Nacional de Colombia. Sede Manizales. Facultad de Ingeniería.

⁴ LÓPEZ, Op. Cit.

En caso de una columna ideal, en la cual la carga P se aplica en el centroide de la sección transversal y alineada con el eje longitudinal de la columna, siendo ésta recta y de un material que cumpla la Ley de Hooke, esta carga vertical se incrementa gradualmente y somete al elemento a tres estados de equilibrio:

- ❖ Estado estable de equilibrio, cuando P es pequeña y la columna experimenta solo compresión axial.
- ❖ Estado de equilibrio neutro, cuando P es igual a $P_{CRITICA}$, donde una bajísima carga lateral F, producirá una deformación que se mantendrá cuando se retire F.
- ❖ Estado de equilibrio inestable, cuando P es mayor que $P_{CRITICA}$, y la columna colapsa por flexión a la menor perturbación.

En un caso real, se producen deflexiones desde cuando se empieza a cargar; después que la columna elástica empieza a pandearse, se requiere mas carga para lograr deformarla. Como constructivamente las deflexiones evidentes son inaceptables, usualmente la carga crítica será la máxima capacidad de carga de una columna elástica en la práctica.

Cuando se somete a compresión una columna articulada, se presenta el caso fundamental de pandeo, una sola curvatura en toda su longitud, caso en el cual la carga critica para una columna ideal es:

$$P_{CR} = \frac{\pi^2 * E * I}{L^2}$$

Conocida como CARGA DE EULER en donde:

E = Módulo de elasticidad

I = Momento de Inercia

L = Longitud

La carga crítica es directamente proporcional a la rigidez del material y/o a secciones con mayor momento de inercia. Por esta razón se puede afirmar que la guadua es buena para soportar compresión, ya que su sección transversal es un tubo, lo cual es la forma mas efectiva de poner masa alejada del centroide, incrementando el momento de inercia, suponiendo que la sección es simétrica para cualquier eje.

La curva de Euler donde el comportamiento de las columnas a compresión, siempre y cuando la expresión esté formulada con la presunción que el material se comporte dentro del intervalo elástico, y, σ_{LP} es su límite máximo; es por esto que para encontrar la relación de esbeltez critica (λ_C), se hace la igualdad

$$\sigma_{LP} = \sigma_C = \frac{P_C}{A} \quad \text{Como} \quad I = r^2 A \quad \text{y} \quad \lambda = \frac{L}{r} \quad \Rightarrow P_C = \frac{\pi^2 r^2 * E * A}{L^2}$$

y resulta

$$P_C = \left(\frac{\pi}{\lambda}\right)^2 * E * A \Rightarrow \sigma_{LP} = \frac{P_C}{A} = \left(\frac{\pi}{\lambda}\right)^2 * E \Rightarrow \lambda_C = \sqrt{\frac{\pi^2 * E}{\sigma_{LP}}}$$

Columnas con relación de esbeltez mayores que λ_C , se les llama columnas largas, donde su P_{CR} se determina por la ecuación de Euler y la falla ocurre por pandeo. Las columnas cortas fallan por fluencia y no se presenta flexión. Las columnas intermedias, fallan por pandeo inelástico, pero la P_{CR} esta por encima del límite de proporcionalidad del material.

Así, es necesario una teoría de pandeo inelástico, que se fundamenta en que para un punto una vez sobrepasado el límite elástico, la relación entre la deformación unitaria y el esfuerzo está dada por la pendiente de la curva en ese punto, y se denomina a esta variable módulo de elasticidad tangencial E_T .

De acuerdo con lo anterior, en la teoría del módulo tangencial de pandeo inelástico, las consideraciones del comportamiento de la columna ideal son iguales a las de pandeo elástico, reemplazando el módulo de elasticidad E (constante) por el módulo tangencial E_T (variable). Así se obtiene la ecuación para la carga del módulo tangencial

$$P_T = \frac{\pi^2 * E_T * I}{L^2} \qquad \sigma_T = \frac{\pi^2 * E_T}{\left(\frac{L}{r}\right)^2}$$

Para fines prácticos es acertado considerar la carga de módulo tangencial como la carga crítica para pandeo inelástico de una columna.

En el caso concreto de la guadua, se tienen dos circunstancias en laboratorio que afectan la confiabilidad de los resultados:

- ❖ En laboratorio es imposible lograr que la aplicación de las cargas se haga en el eje centroidal, y esta pequeña excentricidad produce deflexión y momento sobre la columna.
- ❖ Las imperfecciones que puedan tener los tallos de guadua; posiblemente la guadua tenga pequeñas curvaturas iniciales que inducen flexión y esfuerzos normales.

Como es de esperarse, en el caso de la guadua, estas imperfecciones se pueden reducir al máximo en probetas para ensayo de menor longitud.

Por medio de un ensayo de compresión de columnas cortas se puede obtener un valor de diseño por esfuerzos admisibles a compresión:

$$\sigma_{ADM} = 14.0MPa^5$$

(VER ANEXO A.2.)

⁵ El esfuerzo admisible a compresión de la Guadua en columnas cortas es aproximadamente 2/3 de un concreto de 3000 psi (21 MPa)

1.3.3. Corte Paralelo A La Fibra⁶

El esfuerzo cortante medio (τ_M), se define como

$$\tau_M = \frac{V}{A}$$

La distribución de esfuerzos cortantes sobre una sección, se sabe que es mayor en el centro y se hace nula en los extremos.

La finalidad de los ensayos en laboratorio es simular un estado de cortante puro, en donde, al igual que en esfuerzo normal, pueden trazarse diagramas esfuerzo - deformación.

Los ensayos de corte se efectuaron en el laboratorio de recursos forestales de la Universidad Nacional sede Medellín para el trabajo de grado *Comportamiento Sismo-Resistente De Estructuras En Bahareque*⁷, donde se evaluó un valor de diseño por esfuerzos admisibles a esfuerzo cortante:

$$\sigma_{ADM} = 1.1MPa$$

(VER ANEXO A.3)

1.3.4. Otras

Algunas propiedades mecánicas de la guadua como son los esfuerzos últimos y admisibles a flexión (f_M), compresión paralela a la fibra (f_C) y compresión perpendicular a la fibra (f_P) para las variedades de guadua Macana y Cebolla se muestran a continuación⁸.

TIPO DE GUADUA	ESFUERZOS ULTIMOS (MPa)		
	f_M	f_P	f_C
Cebolla	17.0	3.5	29.0
Macana	17.5	2.3	34.3

TABLA N° X. Esfuerzos Últimos.

TIPO DE GUADUA	ESFUERZOS ADMISIBLES (MPa)		
	f_M	f_P	f_C
Cebolla	6.0	1.7	11.5
Macana	6.0	1.1	13.5

TABLA N° 13. Esfuerzos Admisibles.

⁶ LÓPEZ, Op. Cit.

⁷ LÓPEZ, Op. Cit.

⁸ MARTINEZ CÁCERES, Dixon Emmanuel. Puentes en do mayor (Tesis de grado). En: Congreso mundial de Bambú / Guadua. (1º : 1992). Memorias I Congreso Mundial de Bambú / Guadua. Pereira: 1992; p. 173.