

DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICO – MECÁNICAS DE LA CAÑA BRAVA (*Chusquea sp*) PROVENIENTE DE LA CORDILLERA DE SAMA EN EL DEPARTAMENTO DE TARIJA

Chavez Calla Cristhian¹, Chavez Calla Oscar Marcelo², Castillo Gareca Ariel³
Facultad de Ciencias Agrícolas y Forestales, Carrera Ingeniería Forestal. UAJMS.

¹Ing. Civil – Investigador – Facultad de Ciencias y Tecnología, ²Ing. Civil – Docente departamento de topografía y vías de comunicación – Facultad de Ciencias y Tecnología, ³Ing. Forestal – Docente encargado de laboratorio de tecnología de la madera – Facultad de Ciencias Agrícolas y Forestales.

Correo electrónico: cristhianchavez1988@gmail.com

RESUMEN

En el presente trabajo se dan a conocer los resultados del estudio de las propiedades físicas y mecánicas de la caña brava "*Chusquea sp*"; las mismas que se refieren a contenido de humedad, peso específico, resistencia a flexión, resistencia paralela a las fibras sin nudo, resistencia paralela a las fibras con nudo, resistencia a tracción paralela a las fibras y extracción de clavos; en base a las normas COPANT Maderas y un análisis estadístico de las muestras en función a la distribución t de Student que determinó la confiabilidad de las muestras.

La identificación de la especie fue realizada en el Herbario de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho y los ensayos se realizaron en el Laboratorio de Tecnología de la Madera con la prensa universal de ensayo de resistencia de materiales que tiene una resistencia máxima de 400 KN y una precisión de 0,1KN; ambos espacios se encuentran en la Facultad de Ciencias Agrícolas y Forestales.

Para cada uno de los ensayos se utilizaron 20 probetas libres de defectos y en estado seco al aire, obtenidas y extraídas de los chusqueales que se encuentran en la cordillera de Sama.

Los valores de esfuerzo admisible se encuentran entre el rango de madera tipo A y tipo B,

pertenecientes a maderas duras y medianamente duras. Además, los resultados obtenidos indican que es un buen material para realizar estructuras reticulares por lo que, como una aplicación práctica, se realizó el diseño de una de estas estructuras.

PALABRAS CLAVE

Chusquea sp, propiedades físicas y mecánicas, culmo, normas COPANT.

INTRODUCCIÓN

El nombre bambú fue introducido por Carl von Linne en 1778 a partir de la palabra india bambú o mambú. Los bambúes son plantas útiles y baratas que crecen en regiones tropicales y templadas de Asia y América; por lo cual se han desarrollado estrategias para la conservación, propagación y explotación de las partes vegetales comerciales de la misma, la parte aérea se llama culmo o caña.

El uso de los diferentes tipos de bambúes, como material de construcción tiene una tradición muy grande especialmente en los países asiáticos, los culmos secos se emplean principalmente en la construcción de casas, cubiertas, puentes y balsas; mientras que los culmos verdes se utilizan sobre todo en la elaboración de canastos, esteras, o para realzar la belleza de las aldeas; los brotes de los renuevos se utilizan para elaborar deliciosas preparaciones gastronómicas.

En diversos países como ser: Japón, China, Malasia, Indonesia, Costa Rica, Puerto Rico, Venezuela, Ecuador, Colombia, Brasil, Argentina, entre otros existen aproximadamente 1400 especies de cañas de bambú (INBAR, 1999) constituyendo un recurso natural de uso múltiple. En términos de ingeniería, se observa con interés la posibilidad de utilizar la caña brava "*Chusquea sp*" como material de construcción aunque en nuestro país, poco se conoce todavía, acerca del potencial de esta planta.

Actualmente en Latinoamérica se utilizan los diferentes tipos de bambú, como material de construcción en elementos de armaduras y pórticos para estructuras de cubiertas, puentes y edificaciones, lamentablemente aún no existe una norma de diseño que contemple a la *Chusquea sp*, como material estructural. De aquí nace el interés de este estudio, para analizar el comportamiento de la caña brava (*Chusquea sp*), procedente de los bosques de la cordillera de Sama, del departamento de Tarija, cuando se somete a diferentes esfuerzos estructurales.

Se considera a la chusquea un pasto gigante y no un árbol como se acostumbra pensar. Pero a pesar de no ser un árbol posee también tallo, ramas, hojas y flores, entonces, lo que le diferencia de éste, es el tiempo que les toma alcanzar su madurez maderable. La chusquea alcanza su madurez entre los 4 a 6 años, mientras que las maderas que provienen de árboles tardan de 20 a 25 años para poder ser utilizadas.

Son plantas perennes, rizomatosas, con cañas leñosas o herbáceas que van desde pocos centímetros hasta 45 m. de altura, erectas o péndulas, a veces apoyantes o decumbentes, a menudo llevan vainas con láminas reducidas. En general la chusquea es cilíndrica y maciza, con entrenudos que en la base son cortos y a medida

que crece se van alargando.

Son plantas útiles y baratas que crecen en regiones tropicales y templadas; viven tanto en las selvas tropicales lluviosas, como en los "cerrados" y en los bosques andino-patagónicos, viven bajo la sombra densa en regiones húmedas y calurosas. Por lo cual otros países han desarrollado estrategias para la conservación, propagación y explotación de las partes vegetales comerciales de la misma. Esta gramínea ha sido utilizada tradicionalmente como material de construcción para viviendas y otras estructuras de bajo costo en zonas rurales, porque además de una buena resistencia, conjuga armónicamente con el entorno.

Ésta es una gramínea nativa, de amplia distribución en América, donde ha cumplido un importante papel ambiental, sociocultural y económico, se encuentra ocupando áreas aledañas a ríos y quebradas, y en los valles entre montañas formando asociaciones llamadas Chusqueales".

Figura 1: Chusqueal



En el departamento de Tarija se encuentra ampliamente distribuida, conformando rodales (chusqueales) casi puros que cumplen indiscutible efecto protector sobre el suelo, las aguas y las rondas de los ríos, contribuyendo a su recuperación y conservación.

Se llama chusquín a los brotes en forma de ramillas que salen de la planta madre cuando ha sido cortada, estas pequeñas plántulas están

unidas mediante raíces al rizoma madre por convergencia a una profundidad aproximada de 15 cm. Los tallos del chusquín son delgados con alturas entre 10 y 40 cm.

También, se dice que un chusquín es una degradación del cultivo, lo cierto es que estas pequeñas plántulas las encontramos en cultivos de bosques húmedos, donde la planta madre dará origen a un pequeño hijo, o en la mayoría de los casos, por efecto de la humedad y altas temperaturas, las yemas se activan y dan origen a un gran número de plántulas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización

El material que se utilizó para los ensayos fue extraído de la cordillera de Sama, de la localidad de San Pedro de Sola, municipio de Cercado, departamento de Tarija.

Esta cordillera está ubicada a una altitud que va desde los 1800 m.s.n.m. hasta altitudes mayores a los 3000 m.s.n.m., con una temperatura media anual que va desde los 8 a 14 °C, el clima de la región es frío a templado, según la variación altitudinal, con una precipitación que se encuentra en un rango aproximado de 715 a 1250 mm anuales (INIBREH 2011)

Identificación de la Especie

La caña brava posee un amplio rango de distribución geográfica, crece con temperaturas muy variables que van desde los 16°C hasta los 36°C. No es muy exigente en el tipo de suelo, es cilíndrica maciza con diámetros cercanos a 4cm, con entrenudos que en la base son cortos y a medida que va creciendo se van alargando, la altura que llega alcanzar en su crecimiento supera los 4 metros sin tener una deformación aparente.

La identificación de la caña brava fue realizada en el Herbario de la Universidad Juan Misael Saracho, en la ciudad de Tarija, las muestras no contaban con flores debido a la época de recolección por lo que sólo se llegó al nivel de género:

Clasificación Científica	
Reino	Vegetal
División	Tracheophytae
Subdivisión	Anthophyta
Clase	Angiospermae
Subclase	Monocotiledoneae
Orden	Poales
Familia	Poaceae
Subfamilia	Bambusoideae
Supertribu	Bambusodae
Tribu	Bambuseae
Subtribu	Chusqueinae
Género	Chusquea
Variedad	Bicolor
Forma	Castilla, Cebolla, Cotuda, Rayada
Nombre Científico	Chusquea Sp

Londoño (2006)

Selección de la Muestra

Los culmos de chusquea fueron seleccionados antes de realizar el corte previo examen del lugar e identificación del chusqueal considerando los siguientes parámetros:

- Selección de los diámetros mayores.
- Altura total de la chusquea.
- Estado sano y libres de cualquier defecto.
- Rectitud de la caña, que no presente inclinaciones o torcimiento espiral.
- Distribución de nudo a nudo.

Corte de la chusquea

Previamente a la realización del corte, se obtuvo la autorización del SERNAP y se siguieron las siguientes especificaciones:

- Cortar sólo los culmos previamente seleccionados.
- El corte con machete debe ser por encima del primer o segundo nudo ubicado a unos 30 centímetros sobre el suelo, con el fin de facilitar la regeneración.
- Una de las cañas extraídas será utilizada para la determinación de su especie, la misma inmediatamente después del corte debe colocarse lo más vertical posible, con sus ramas y hojas.
- El resto serán cortadas para facilitar su transporte, se trasladarán al lugar de trabajo procediéndose a su marcación.

Secado y Almacenamiento

Para evitar deformaciones después de la cosecha de la chusquea extraída, los culmos se almacenaron ligeramente inclinados, libres de contacto con el suelo, sobre plataformas de secado en un lugar con sombra y protegido de la lluvia por un periodo de 3 a 5 semanas hasta alcanzar un contenido de humedad estable.

La duración de secado al aire libre depende de factores climáticos (temperatura, humedad relativa y velocidad del aire) y de las características propias de las chusqueas, (diámetro, espesor de pared, contenido de humedad, edad, posición del tramo con respecto a la longitud y sitio), por lo que no se puede establecer un proceso normalizado.

Determinación de las propiedades físicas de la chusquea

Los ensayos de las propiedades físicas se los realizaron en el estado seco al aire y son los siguientes:

- Peso Específico
- Contenido de Humedad

Contenido de Humedad

La determinación del contenido de humedad, se practicó según la norma COPANT 460 "Método por pesadas o secado en estufa", para cada una de las probetas, para la aplicación de este método se utilizó una balanza eléctrica de 0,01 gr de precisión y una estufa eléctrica prevista de termostato para el control de temperaturas entre "30°C; 70°C; 101°C" $\pm 2^\circ\text{C}$, (Figura 2). De acuerdo a la normativa utilizada las muestras deberán ir secando de manera paulatina hasta que alcancen la humedad del 12%.

Figura 2: Determinación del contenido de humedad



Luego de haber materializado la ruptura de la probeta en todos los ensayos de propiedades mecánicas practicados, de la parte más cercana a la falla o ruptura, se extrajo una galleta de 3 cm de ancho para verificar el contenido de humedad.

Peso específico aparente

Según las Normas COPANT 461 el peso específico aparente, es el cociente entre el peso y el volumen, ambos a un delimitado contenido de humedad. Se determinó el peso en gramos por la lectura de la balanza y el volumen por el método de medición indirecta por inmersión en agua (Figura 3). Con este ensayo lo que se obtiene es la densidad, que es una importante característica física de un material.

Figura 3: Determinación del peso específico aparente.



Determinación de las propiedades mecánicas de la chusquea

Flexión estática

El presente ensayo fue determinado según las normas COPANT 455 para lo cual las probetas se encontraban en estado seco al aire, antes del ensayo se tomaron las medidas de cada probeta, es decir se midió el diámetro de cada probeta, como así también cada una de ellas tiene una longitud de 70 cm.

Posteriormente se procedió a ubicar una a una las probetas en la prensa de ensayos, dicha probeta fue colocada entre 2 apoyos cilíndricos con una luz de 35 cm, dejando un sobrante a cada lado de 17,5 cm para lograr un área de mayor contacto, se aplicó en la parte central de la probeta una carga externa en dirección perpendicular a las fibras (Figura 4) con una velocidad constante de 2,5 mm/min. Se midieron las cargas aplicadas y las hasta el límite de ruptura y su deflexión correspondiente.

Figura 4: Flexión estática



Compresión paralela a las fibras sin nudo

Se realizó de acuerdo a las normas COPANT 464, según esta norma las probetas tienen las dimensiones de 5 * 5 cm de sección transversal y 15 cm de longitud. En el caso de la Chusquea, al ser de diámetros variables las probetas para la realización del presente ensayo se prepararon en función al diámetro con una longitud equivalente al triple del mismo, se utilizaron probetas libres de nudos.

Se acondicionó la máquina universal de ensayos con la base fija en la parte inferior y el plato móvil en la parte superior, para compensar posibles fallas de la horizontalidad del corte de la probeta y se aplicó, sobre la sección transversal de la probeta, una carga externa continua con una velocidad constante de 0,5 mm/min; a través del deflectómetro se midió la deformación producida hasta el punto de ruptura

Figura 5: Compresión paralela a las fibras sin nudo



Compresión paralela a las fibras con nudo

Este ensayo se realizó con la Norma COPANT 464, con los mismos criterios del ensayo de compresión paralela a las fibras sin nudo, siendo la diferencia en este ensayo que se trabajó con probetas que contienen nudos (Figura 6).

Figura 6: Compresión paralela a las fibras con nudo



Tracción paralela a las fibras

Se efectuó de acuerdo a la norma COPANT 742, según esta norma las probetas tienen las dimensiones de 5 * 5 cm de sección transversal y 50 cm de longitud. Debido a que las mordazas para este ensayo no sujetaban bien las probetas de sección circular, éstas tuvieron que aserrarse hasta obtener una sección rectangular para lograr efectividad. Se aplicó sobre cada una de las probetas una fuerza externa continúa de tal manera que vaya estirando nuestra caña sometiéndola al esfuerzo de tracción, con una velocidad constante de 0,5 mm/min; a través del deflectómetro se midió la deformación producida por la probeta y se registró la carga que fue aplicada hasta producir la ruptura de la probeta (Figura 7).

Figura 7: Tracción paralela a las fibras



Análisis Estadístico

Para este proyecto se adoptó como modelo estadístico la distribución t de Student.

RESULTADOS

El análisis estadístico mediante la t de Student nos permitió asegurar la confiabilidad de nuestras probetas en un 95%, lo que avala la validez de los resultados obtenidos.

Los culmos seleccionados permitieron obtener probetas con diámetros entre los 3,7 cm a 3 cm en la parte basal, 2,9 cm a 2,6 cm en la parte media y 2,5 cm a 1,8 cm en la parte apical.

Propiedades Físicas

Tabla N° 1: Contenido de humedad

Ensayo	Promedio X(%)	Desv. Est. S	Moda Mo	Característica C
Flexión estática	12,0972	0,1203	12,0430	0,0179
Comp. paralela a las fibras sin nudo	12,1084	0,1323	12,0488	0,0197
Comp. paralela a las fibras con nudo	12,1219	0,2208	12,0225	0,0329
Tracción paralela a las fibras	12,1127	0,0853	12,0742	0,0127
Extracción de clavos	12,1041	0,0872	12,0648	0,0129

De acuerdo a la norma COPANT 460, las probetas para realizar los ensayos deben encontrarse con un contenido de humedad cercano al 12 %, de acuerdo a los resultados obtenidos en las probetas para los distintos ensayos, podemos observar que se ha cumplido este parámetro.

Peso específico aparente

Este ensayo nos permite obtener los valores de densidad del material en estudio.

Tabla N° 2 : Peso específico

Ensayo	Promedio X (gr/cm3)	Desv. Estánd S	Moda Mo	Característica C
Peso específico aparente	0,689	0,0581	0,663	0,157

Podemos apreciar que este material sería considerado como madera blanda, puede ser

muy bien utilizado en carpintería y mueblería decorativa entre otros usos.

Propiedades Mecánicas

Flexión Estática

Se obtuvieron los siguientes resultados considerando probetas de las diferentes partes del culmo.

De acuerdo a los resultados obtenidos, observamos que la parte basal de la chusquea *sp* ofrece la mayor resistencia a la tracción por tratarse de diámetros mayores, aunque es importante mencionar que la parte media alcanza resistencias bastante similares a la parte basal.

Tabla N° 3: Flexión estática

Ensayo	Estado "Seco al aire"	
Flexión estática "Parte Basal"		
Esfuerzo al límite proporcional (ELP)	59,10 N/mm ²	602,82 kg/cm ²
Esfuerzo máximo (MOR)	67,64 N/mm ²	689,99 kg/cm ²
Módulo de elasticidad (MOE)	6503,953 N/mm ²	66340,328 kg/cm ²
Flexión estática "Parte Media"		
Esfuerzo al límite proporcional (ELP)	55,18 N/mm ²	562,836 kg/cm ²
Esfuerzo máximo (MOR)	63,51 N/mm ²	647,802 kg/cm ²
Módulo de elasticidad (MOE)	6466.154 N/mm ²	65954,771 kg/cm ²
Flexión estática "Parte Alta"		
Esfuerzo al límite proporcional (ELP)	40,90 N/mm ²	417,18 kg/cm ²
Esfuerzo máximo (MOR)	52,29 N/mm ²	533,36 kg/cm ²
Módulo de elasticidad (MOE)	5185,622 N/mm ²	52893,345 kg/cm ²

Compresión Paralela a las Fibras

Se han considerado dos tipos de probetas de acuerdo a la presencia o ausencia de nudos, obteniéndose los siguientes resultados.

Tabla N° 4: Compresión paralela a las fibras sin nudo.

Ensayo	Estado "Seco al aire"	
Compresión paralela a las fibras sin nudo "Parte Basal"		
Esfuerzo al límite proporcional (ELP)	26,22 N/mm ²	267,44 kg/cm ²
Esfuerzo máximo (MOR)	31,66 N/mm ²	322,98 kg/cm ²
Módulo de elasticidad (MOE)	5061,77 N/mm ²	51630,11 kg/cm ²
Compresión paralela a las fibras sin nudo "Parte Media"		
Esfuerzo al límite proporcional (ELP)	24,85 N/mm ²	253,47 kg/cm ²
Esfuerzo máximo (MOR)	27,34 N/mm ²	278,86 kg/cm ²
Módulo de elasticidad (MOE)	4240,61 N/mm ²	43254,26 kg/cm ²
Compresión paralela a las fibras sin nudo "Parte Alta"		
Esfuerzo al límite proporcional (ELP)	20,70 N/mm ²	211,14 kg/cm ²
Esfuerzo máximo (MOR)	25,76 N/mm ²	262,75 kg/cm ²
Módulo de elasticidad (MOE)	3812,15 N/mm ²	38883,98 kg/cm ²

Tabla N°5: Compresión paralela a las fibras con nudo.

Ensayo	Estado "Seco al aire"	
Compresión paralela a las fibras con nudo "Parte Basal"		
Esfuerzo al límite proporcional (ELP)	28,00 N/mm ²	285,60 kg/cm ²
Esfuerzo máximo (MOR)	32,32 N/mm ²	329,72 kg/cm ²
Módulo de elasticidad (MOE)	6086,95 N/mm ²	62086,95 kg/cm ²
Compresión paralela a las fibras con nudo "Parte Media"		
Esfuerzo al límite proporcional (ELP)	26,30 N/mm ²	268,26 kg/cm ²
Esfuerzo máximo (MOR)	29,04 N/mm ²	296,21 kg/cm ²
Módulo de elasticidad (MOE)	6018,31 N/mm ²	61386,73 kg/cm ²
Compresión paralela a las fibras con nudo "Parte Alta"		
Esfuerzo al límite proporcional (ELP)	23,85 N/mm ²	243,27 kg/cm ²
Esfuerzo máximo (MOR)	28,61 N/mm ²	291,82 kg/cm ²
Módulo de elasticidad (MOE)	5470,18 N/mm ²	55795,87 kg/cm ²

De las tablas 4 y 5 podemos deducir que la parte basal de la chusquea, tiene mayor resistencia a la compresión paralela a las fibras siendo ésta una buena resistencia. Es interesante notar que las probetas con un nudo presentan más resistencia.

Tracción Paralela a las fibras

Tabla N° 6: Tracción Paralela a la Fibra.

Ensayo	Estado "Seco al aire"	
Tracción paralela a las fibras "Parte Basal"		
Esfuerzo al límite proporcional (ELP)	52,15 N/mm ²	531,93 kg/cm ²
Esfuerzo máximo (MOR)	67,04 N/mm ²	683,81 kg/cm ²
Módulo de elasticidad (MOE)	6518,75 N/mm ²	66491,25 kg/cm ²
Tracción paralela a las fibras "Parte Media"		
Esfuerzo al límite proporcional (ELP)	48,60 N/mm ²	495,72 kg/cm ²
Esfuerzo máximo (MOR)	54,46 N/mm ²	555,49 kg/cm ²
Módulo de elasticidad (MOE)	5522,73 N/mm ²	56331,82 kg/cm ²
Tracción paralela a las fibras "Parte Alta"		
Esfuerzo al límite proporcional (ELP)	28,35 N/mm ²	289,17 kg/cm ²
Esfuerzo máximo (MOR)	36,45 N/mm ²	371,79 kg/cm ²
Módulo de elasticidad (MOE)	4962,19 N/mm ²	50614,37 kg/cm ²

Extracción de Clavos

Tabla N° 7: Extracción de clavos.

Ensayo	Promedio X	Desv. Están. S	Moda Mo	Característica C
Extracción de Clavos Perpendicular	244,095	11,387	238,971	0,086
Extracción de Clavos Longitudinal	240,200	13,262	234,232	0,102

Este ensayo nos permite apreciar el comportamiento de la chusquea para realizar uniones.

De acuerdo a los resultados obtenidos observamos que la extracción de clavos de forma perpendicular a las fibras, presenta mayor resistencia que de forma longitudinal, aunque en ambos casos la resistencia es media, por lo que se recomienda buscar otro de uniones.

CONCLUSIONES

Este estudio nos permitió llegar a las siguientes conclusiones:

- La determinación de las propiedades físico-mecánicas de la especie de bambú *Chusquea sp.*, es la primera investigación en su género realizada en nuestro país empleando las normativas Copant aplicada a productos no maderables.
- De los ensayos realizados; flexión estática, compresión paralela a las fibras sin nudo, compresión paralela a las fibras con nudo, tracción paralela a las fibras, por su resistencia al módulo de ruptura de cada uno de ellos, tanto de la parte basal, media, y alta respectivamente, y comparándola con la clasificación de productos maderables y no maderables según sus propiedades (Antonio Arostegui 1975), se la clasifica como producto no maderable de resistencia media.
- Por las características obtenidas en el presente estudio, se puede mencionar que dicha caña obtuvo valores de esfuerzo admisible que se encuentran entre el rango de una madera tipo A y tipo B los cuales pertenecen a maderas duras y medianamente duras.
- Empleando los valores obtenidos en este estudio, sobre las propiedades físico-mecánicas de la *Chusquea sp.*, se recomienda su uso en estructuras reticulares, elementos torneados (barandas y pasamanos), marcos de puertas, ventanas, etc.

BIBLIOGRAFÍA

- AACHEN, R. Mechanical properties of bamboo (2002).
- BAMBÚ-GUAZÚEI bambú guadua: El bambú en el mundo, Argentina (s/f), Bambú-Guazú.
- CRUZ DIONICIO Tecnología de la madera Tarija 2004
- HUTCHISON, J Oro verde de Asia (2002)
- LINDHOLM, M. Y PALM, S. Guadua Chacoensis in Bolivia -an investigation of mechanical properties of a bamboo species (2007).
- INIBREH, Atlas ecotemático de la cuenca del río Tolomosa (2011)
- LONDOÑO, X. Distribución, morfología, taxonomía, anatomía, silvicultura y usos de los bambúes del nuevo mundo, Santa Fe de Bogotá (2002), Universidad Nacional de Colombia.
- NORMATIVA COPANT Ensayos de propiedades físicas y mecánicas de productos “Maderables y no maderables” Catálogo de Normas Copant, La Paz Bolivia, (1974)
- OBERMANM, T. Y LAUDE, R. Bambú: recurso sostenible para estructuras espaciales, Universidad Nacional de Colombia (2004).
- PADT-REFORT Manual de diseño para maderas del grupo andino (4 Edición), Colombia (1984), Junta del acuerdo de Cartagena.
- URIOSTE, G Tacuabol, Santa Cruz, Bolivia (2005)
- VELA GALVEZ, L “Los bambús”, México 1986
- VELEZ, G. El humilde bambú “Acero vegetal”, segundo congreso virtual de arquitectura, Caracas, Venezuela (2001).