

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE
GUATEMALA

Facultad de Ingeniería

Determinación de algunas propiedades físicas y mecánicas
de la madera de 4 especies arbóreas situadas en
bosque tropical húmedo

Junio, 2005

Determinación de algunas propiedades físicas y mecánicas
de la madera de 4 especies arbóreas situadas en
bosque tropical húmedo

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE
GUATEMALA

Facultad de Ingeniería

Determinación de algunas propiedades físicas y mecánicas
de la madera de 4 especies arbóreas situadas en
bosque tropical húmedo

Trabajo de investigación presentado
por Obed Hidalgo Barrera para
optar al grado académico de
licenciado en ingeniería forestal

Guatemala

2005

Vo.Bo.:

(f) _____

Ing. Lis Regina Lima Cordón

Tribunal:

(f) _____

Ing. César Castañeda

(f) _____

Ing. Alejandra Hernández

(f) _____

Ing. Lis Lima

Fecha de aprobación: 3 de Junio de 2005

CONTENIDO

	Página
ÍNDICE GENERAL _____	ii
LISTA DE CUADROS _____	iii
LISTA DE GRÁFICOS _____	iv
LISTA DE FIGURAS _____	v
LISTA DE FOTOGRAFÍAS _____	vi
RESUMEN _____	vii

Capítulos

I. INTRODUCCIÓN _____	1
II. OBJETIVOS _____	2
III. MARCO TEÓRICO _____	3

IV. MATERIALES Y MÉTODOS_____	28
V. RESULTADOS_____	46
VI. DISCUSION_____	57
VII. CONCLUSIONES_____	63
VIII. RECOMENDACIONES_____	65
IX. BIBLIOGRAFIA_____	66
X. ANEXOS_____	68

LISTA DE CUADROS

Cuadro	Página
3.1 Clasificación de la madera en densidad_____	7
3.2 Clasificación de madera en dureza_____	16
3.3 Requerimientos de resistencia de uso_____	18
3.4 Compresión de madera de frondosas_____	19
4.1 Medidas de probetas a usar en ensayos_____	30
5.1 Características organolépticas de chechén negro_____	46
5.2 Características organolépticas de malerio colorado_____	46
5.3 Características organolépticas de amapola_____	47
5.4 Características organolépticas de cola de coche_____	47
5.5 Peso y humedad de chechén negro_____	48
5.6 Peso y humedad de amapola_____	49
5.7 Peso y humedad de malerio_____	49
5.8 Peso y humedad de cola de coche_____	49
5.9 Porcentaje de humedad_____	50
5.10 Contracción de chechén negro_____	50
5.11 Contracción de amapola_____	51
5.12 Contracción de malerio colorado_____	51
5.13 Contracción de cola de coche_____	51
5.14 MOE en cola de coche_____	52
5.15 MOE en amapola_____	52
5.16 MOE en chechén negro_____	52
5.17 MOE en malero colorado_____	52

5.18 Esfuerzo de compresión perpendicular_____	53
5.19 MOR y MOE en cola de coche_____	53
5.20 MOR y MOE en malerio colorado_____	53
5.21 MOR y MOE en amapola_____	54
5.22 MOR y MOE en chechén negro_____	54
5.23 Esfuerzo de prueba de corte_____	55
5.24 Carga en chechén negro_____	55
5.25 Carga en amapola_____	56
5.26 Carga en malerio colorado_____	56
5.27 Carga en cola de coche_____	56

LISTA DE GRÁFICAS

Gráfica	Página
5.1 Porcentaje de contenido de humedad_____	50
5.2 Contracción de chechén negro_____	50
5.3 Contracción de amapola_____	51
5.4 Contracción de malerio colorado_____	51
5.5 Contracción de cola de coche_____	51
5.6.1 MOE en flexión estática_____	54
5.6.2 MOR en flexión estática_____	54
5.7 Esfuerzo cortante_____	55
5.8 Carga por especie_____	56

LISTA DE FIGURAS

Figura	Página
3.1 Dirección de las fibras de la madera_____	4
3.2 Diagrama Carga - Deformación_____	13
3.3 Diagrama Tiempo - Deformación_____	13
4.1 Medidas y forma de probeta en ensayo de prueba de cortes_____	30
4.2 Compresión paralela a la fibra_____	36
4.3 Compresión perpendicular a la fibra_____	38
4.4 Diagrama de prueba de flexión estática__	40

LISTA DE FOTOGRAFÍAS

FOTO

Página

1. Horno utilizado en pruebas _____	33
2. Compresora hidráulica Forney _____	36
3 Deformímetro _____	37
4 Compresora hidráulica Versa Tester _____	39
5. Dispositivo para prueba de corte _____	41
6. Compresora manual _____	42

RESUMEN

Debido a la falta de información y al poco conocimiento de las especies tropicales que abundan en nuestro país, es necesario realizar estudios enfatizados a conocer las propiedades que caracterizan a las especies madereras. Por esta razón, se realizó un estudio dedicado a conocer y determinar las propiedades físicas y mecánicas de cuatro especies arbóreas tropicales, situadas en los municipios de San Andrés y Sayaxché, en Petén, las cuales se determinaron a partir de análisis de laboratorio, con un número específico de pruebas. Las pruebas para propiedades físicas fueron de peso específico, contracción longitudinal, tangencial, radial y volumétrica y contenido de humedad. Mientras que las pruebas mecánicas fueron de flexión estática, compresión paralela a la fibra, compresión perpendicular a la fibra, corte y dureza.

Los ensayos se realizaron en el laboratorio de Ing. Civil de la Universidad del Valle, a partir de los cuales se obtuvieron los resultados de esfuerzos, módulo de elasticidad y ruptura de la madera. Por lo que se concluye que la madera más dura y más resistente es la de *Aspidosperma cruenta* (Malerio colorado) y la madera más blanda y menos resistente es la de *Pseudobombax ellipticum* (Amapola). Mientras que las dos especies restantes, la de *Pithecellobium arboreum* (Cola de coche) y *Metopium browei* (Chechén negro) tienen características similares y los esfuerzos últimos tienen valores intermedios a los mencionados con anterioridad. La madera de Amapola se recomienda un uso exclusivo artesanal, la de Chechén negro puede ser utilizada para mangos de herramientas y artículos deportivos; la madera de Cola de coche puede utilizarse para la construcción de vigas y estructura al igual que la madera de Malerio colorado que es óptima para la carpintería de obra, estructuras, vigas, durmientes y pilotes.

I. INTRODUCCIÓN

El mercado de los materiales se caracteriza por estar regulado por el consumo, constituyendo la demanda del material. El mercado maderero no es la excepción, pues se incrementa día a día tanto a nivel nacional, como internacional. Los niveles de producción se rigen bajo esta demanda, y las especies tradicionales madereras se agotan poco a poco, lo que deja un vacío en los consumidores y provoca pérdidas hacia los empresarios. A través de este estudio, se busca encontrar nuevas alternativas de utilización de especies poco estudiadas que cumplan con ciertas características en la madera, para confirmar su uso actual y generar nuevas alternativas de producción.

Estudios de propiedades físicas y mecánicas se han llevado a cabo a través de los años. Por lo general, se ha trabajado con especies de coníferas pero todavía existen muchas especies tropicales, a nivel nacional, que no han sido estudiadas, y con la finalidad de estudiarlas y determinar ciertas propiedades físico-mecánicas de la madera de especies latifoliadas importantes en el bosque tropical de nuestro país, se hizo un estudio que proporcionó la información.

Debido a que Guatemala posee una gran diversidad de especies arbóreas en el bosque latifoliado, es importante conocer a detalle cada una de aquellas que lo componen, así como efectuar estudios minuciosos de la madera de estas especies, para llegar a lograr determinar posibles usos y que las mismas contribuyan a equilibrar la demanda del mercado que se tiene.

Las especies a trabajar en el siguiente documento, no han sido estudiadas a profundidad, y a través de éste, se buscan alternativas para satisfacer la demanda maderera y para especificar las propiedades tecnológicas, y lograr así nuevas sugerencias de uso.

II. OBJETIVOS

A. General

Determinar algunas de las propiedades físicas y mecánicas de cuatro especies arbóreas tropicales: *Metopium brownei* (Chechén negro), *Aspidosperma cruenta* (Malerio colorado), *Pseudobombax ellipticum* (Amapola), *Pithecellobium arboreum* (Cola de coche).

B. Específicos

Conocer las propiedades físicas como peso específico, contracción longitudinal, radial, tangencial y volumétrica y contenido de humedad, de las especies en estudio.

Conocer las propiedades mecánicas de las especies a estudiar como flexión estática, compresión paralela a la fibra, compresión perpendicular a la fibra, corte y dureza.

Establecer posibles usos de las especies a estudiar de acuerdo a las propiedades físicas y mecánicas de la madera.

III. MARCO TEÓRICO

Las propiedades físico-mecánicas de la madera son los componentes más importantes al momento de someter elementos de madera a cargas. Dichas cargas pueden ser estáticas o dinámicas. Por lo regular, se dice que un trozo de madera sometido a carga estática no implica que debe soportar las mismas cargas que otro trozo de madera de las mismas condiciones, ya sean de peso, volumen, o textura, pero de diferente especie, con lo que se llega a la conclusión, que su diferencia de soporte a la carga aplicada, no se debe a las condiciones de similitud sino que a las propiedades físicas y mecánicas, las que son distintas en cada especie (Echeverría 1997).

En ingeniería, se necesita saber cómo responden los materiales a fuerzas externas como la tensión, la compresión, la torsión, la flexión o la cizalladura. Los materiales sólidos responden a dichas fuerzas con una deformación elástica (en la que el material vuelve a su tamaño y forma originales cuando se elimina la fuerza externa), una deformación permanente o una fractura (Escalona 1997).

A. Propiedades físicas de la madera

El término propiedad física abarca todas aquellas características inherentes a la constitución misma del material aludido, que por un lado lo delimitan claramente y por otro, lo pueden hacer variar de condición por efecto de cambios en las condiciones ambientales a las que se encuentre sometido. Estas propiedades adquieren importancia en el estudio de la madera como material de construcción, ya que es un material vivo conformado por numerosos elementos de complicada estructura (Bisso 1982).

1. Anisotropía. La madera no es un material homogéneo, sino un material muy diferente según el plano o la dirección que se considere. Como resultado de esa desigual configuración, presenta un desigual comportamiento (Vignote y Jiménez 1996). La estructura anisotrópica de la madera, hace evidente los cambios de las diferentes dimensiones a través de los tres ejes, las cuales afectan en la resistencia de la madera. Los

tres ejes son mutuamente perpendiculares en dirección longitudinal, radial y tangencial (Gurfinkel 1981).

Para dar una idea de cómo se comporta, la madera resiste de entre 20 y 200 veces más en el sentido del eje del árbol, que en sentido transversal del árbol. Este comportamiento tan desigual de la madera, hace obligado denominar de forma diferente, los planos y direcciones que se consideren:

- Dirección Axial: la del eje del árbol.
- Dirección Radial: la dirección de los radios, perpendicular al eje del árbol.
- Dirección Tangencial: la dirección tangencial al árbol, perpendicular al eje del árbol (Vignote y Jiménez 1996).

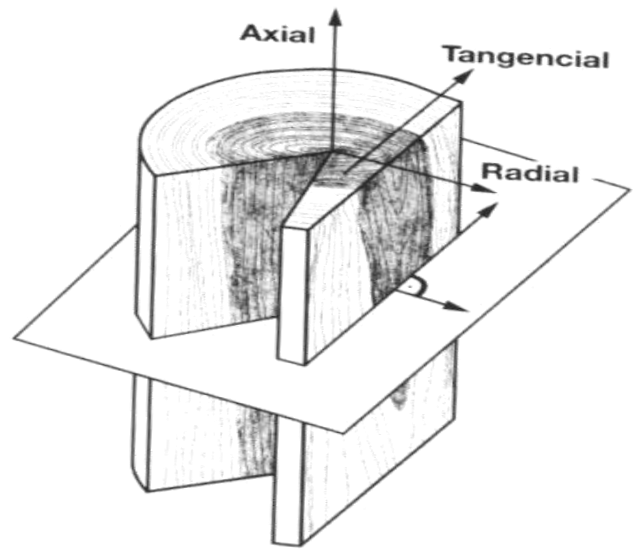


Fig. 3.1 Representación de la dirección de las fibras en la madera (Vignote y Jiménez 1996).

2. Higroscopicidad. La madera contiene huecos en el lumen celular, entre las microfibrillas y entre las fibrillas elementales. El hueco del lumen celular es relativamente tan grande, que su fuerza capilar no es suficiente como para captar agua de la atmósfera, llenándose sólo de agua, cuando la madera se sumerge en ella (Vignote y Jiménez 1996).

Por el contrario, los huecos entre las microfibrillas y las fibrillas elementales son tan pequeños que originan fuerzas de Van der Waal, capilares y de adhesión superficial suficientes como para captar agua de la atmósfera que le rodea. Como, por otra parte, la atmósfera tiene una fuerza desecante, dependiente de la temperatura, humedad relativa y presión a la que se encuentra, es también capaz de captar agua de la pared celular de la

madera. Dependiendo de la fuerza de uno u otro, la madera capta o cede agua (Vignote y Jiménez 1996).

Se puede establecer que el agua puede estar contenida en la madera en las siguientes formas:

- Agua de sorción: Este tipo de agua es el que más fuertemente queda retenido por la pared celular. La madera puede llegar a contener un 8% de peso de agua respecto del peso de la madera seca.
- Agua de adsorción: Es el agua que queda retenido en la pared celular como consecuencia de la fuerza de adhesión superficial. La madera puede llegar a contener hasta un 6 a un 8% de peso de agua respecto del peso de la madera seca.
- Agua de condensación o capilar: Es la retenida por fuerzas capilares, provocadas por los espacios entre las microfibrillas. La madera puede llegar a contener entre un 14 a un 16% de peso de agua respecto del peso de la madera seca.
- Agua libre: Es la contenida en el lumen de las células parenquimatosas. Su fuerza de retención es muy pequeña, de forma que no puede captar agua de la atmósfera, sólo puede introducirse si se produce un inmersión de la madera en agua (Vignote y Jiménez 1996).

3. Contenido de humedad. La presencia de agua en la madera es un factor ya conocido. Cuantitativamente, la cantidad de agua en madera es medida por el contenido de humedad. Para una pieza dada de madera, el contenido de humedad es definida como el porcentaje de agua presente, al peso seco (Gurfinkel 1973). Cuando el contenido de humedad de la madera es menor que el punto de saturación de las fibras, sufre cambios dimensionales, variando sus propiedades mecánicas (Lechman 2001).

La determinación estándar del contenido de humedad requiere que el peso de la muestra sea determinado inmediatamente antes de cualquier tipo de secado o de que la reabsorción de la humedad ocurra (Gurfinkel 1973).

4. Punto de saturación de las fibras. Estado en el cual el agua libre contenida en la madera ha sido eliminada, en tanto las paredes celulares se mantienen saturadas. Este valor depende de la especie. En general, se adopta el valor 30% con algunas excepciones. Hasta alcanzar el punto de saturación de las fibras, la madera se encuentra en proceso de secado y no sufre cambios dimensionales (Lechman 2001).

5. Polaridad. La madera tiene carácter polar y por tanto tiene afinidad con los productos polares, como puede ser el agua, los pegamentos de carácter polar, los barnices (Vignote y Jiménez 1996).

6. Densidad (τ). Es la relación entre el peso y el volumen de una madera. Como el peso y el volumen de una madera están afectados por el porcentaje de humedad, al hablar de densidad se debe siempre significar la humedad a la que está hecha la medida, es decir que se debe hablar de densidad de la madera a una determinada humedad como puede ser el 0% (densidad anhidra), el 12% (humedad normal) o a otra humedad de la madera (Vignote y Jiménez 1996).

Esta característica física influye de forma muy directa en casi la totalidad de características físicas y mecánicas y, por tanto, su conocimiento es muy importante (Vignote y Jiménez 1996). Esta propiedad referida a la madera, presenta aspectos de relativa complejidad, debido a que el carácter higroscópico de este material (gana y pierde humedad con facilidad), hace que éste sufra variaciones tanto en su masa como en su volumen, al estar afecto a cambios en su contenido de humedad, razón por la cual es necesario especificar las condiciones de la madera al momento de efectuar la medición densidad (Bisso 1982).

La norma UNE 56.540 establece la interpretación de resultados:

Cuadro 3.1 Clasificación de la madera de acuerdo a su densidad.

MADERA	RESINOSAS	FRONDOSAS
Muy ligera.....	0.40	0.35
Ligera.....	0.40 - 0.49	0.35 - 0.50
Semipesado.....	0.50 - 0.59	0.51 - 0.70
Pesada.....	0.60 - 0.70	0.71 - 0.95
Muy pesada.....	0.70	0.95

La densidad es importante en procesos como el secado, en el que a medida que la madera es más densa, más agua contiene (para la misma humedad de la madera) y más energía y tiempo cuesta eliminarse. Puede ser un factor decisivo para ciertos usos. Así, en envases y embalajes, se busca ligereza para hacer más fácil el transporte (Vignote y Jiménez 1996).

Se denomina **densidad específica** de una madera, a la relación entre el peso seco P_o de la madera y el volumen V_v de la madera, cuando ésta tiene una humedad superior al punto de saturación de la fibra (Vignote y Jiménez 1996).

7. **Peso específico.** El peso específico de la madera está dado por el peso de los sólidos de la madera seca W_s , dividido por el volumen a cierto porcentaje de humedad. El peso específico se determina frecuentemente para, madera verde, G_g , madera seca al aire (12% de humedad), G_a ; y madera seca al horno (0% de humedad), G_o . Debido a que el volumen de las piezas de madera va disminuyendo con la pérdida de agua, es notorio que el volumen verde es mayor que el volumen al 12%, que a su vez es mayor al volumen al 0%. Por lo tanto, el peso específico en verde es menor que el peso al 12%, que a su vez es menor que el peso en su estado original (Gurfinkel 1981).

De acuerdo a lo anterior, pueden determinarse los siguientes tres tipos de peso:

a. **Peso aparente:** relaciona la masa y el volumen de madera determinados para un mismo contenido de humedad y que se mide en probetas al estado original.

b. Peso específico: relaciona la masa anhidra de la madera y su volumen a un contenido de humedad específico, ya sea para madera verde (Gg) o para madera seca al aire (Ga). Este último valor se usa para comparaciones a nivel internacional.

c. Peso anhidro (Go): relaciona la masa y el volumen de la madera en su estado anhidro (Gurfinkel 1981).

8. Conductibilidad térmica. Es el coeficiente de la cantidad de calor que fluye de un material sometido a un gradiente de temperatura y se expresa en Kcal/m.h.°C.; o Vatios/m²°C. La conductibilidad térmica de la madera es directamente proporcional al contenido de humedad y a la densidad. La cantidad de calor conducida por la madera varía con la dirección de la fibra, el peso específico, la presencia de nudos y rajaduras. La madera seca es un buen aislante térmico (Lechman 2001).

9. Acusticidad. Esta propiedad está íntimamente relacionada con la estructura fibrovascular de la madera, su naturaleza elastoplástica y su densidad. La madera presenta buena capacidad para absorber sonidos (Lechman 2001).

10. Características organolépticas. Son aquellas que se determinan a través de la observación, la degustación y el olfato, con finalidad de identificación y reconocimiento, tanto en el campo como a la hora del aserrado y secado. A la madera se le puede determinar su olor, sabor, color, textura y grano (Lima 2003).

a. Olor. Durante el corte de los árboles, su manejo y su aserrado, es posible detectar el olor que ésta pueda desprender. Este olor es producido por diferentes sustancias volátiles contenidas en la madera. Para fines prácticos, el olor de la madera puede ser ausente o no distintivo, aromático o desagradable (Benitez y Montesinos 1988).

b. Sabor. Efecto que en el sentido del gusto, producen algunas sustancias contenidas en las células de la madera. De la misma manera que el olor, el sabor de la madera puede saberse si se degusta el aserrín de la misma. Debe tenerse mucho cuidado con aquellas que presenten olor desagradable, ya que puede contener elementos tóxicos.

El sabor puede definirse como ausente o no distintivo, amargo, dulce, salado o picante, aunque depende mucho del criterio del observador (Benítez y Montesinos 1988).

c. Color. Para la determinación del color, es necesario referirse a una escala específica, de tal forma que se eviten confusiones. El código Munsell bajo cada color en la tabla de colores, es una notación universal que describe el color (Lima 2003).

d. Grano. Es la dirección o alineamiento que tienen en un plano longitudinal leñoso sus elementos constitutivos, en especial los alargados verticalmente; como son las fibras y los vasos en las latifoliadas y las traqueidas en las coníferas. Este puede ser principalmente:

1) Recto (derecho). Cuando la dirección de los elementos es sensiblemente paralelo al eje del árbol.

2) Oblicuo. Cuando la dirección de los elementos se desvía de la dirección del eje del árbol, formando con él, ángulos agudos.

3) Espiralado. Cuando el hilo forma una espiral a través del eje (Benítez y Montesinos 1988).

e. Textura. Se refiere al tamaño de los elementos constitutivos del leño, especialmente los parenquimáticos, vasculares y fibrosos. Esta puede ser:

1) Gruesa. Elementos constitutivos amplios, fibras con diámetro tangencial grande de más de 250 micras, radios leñosos grandes y parénquima grande.

2) Fina. Elementos constitutivos pequeños, fibras menores de 150 micras de diámetro tangencial, parénquima escaso y abundante tejido fibroso.

3) Mediana. Término medio entre las dos anteriores.

4) Homogénea uniforme. Cuando los elementos constitutivos del leño sean grandes o pequeños, no presentan variedades en todas las superficies longitudinales del leño.

5) Heterogénea. Cuando la variaciones entre los elementos constitutivos del leño son grandes (madera tardía y temprana diferenciada) (Benítez y Montesinos 1988).

11. Posibles usos de la madera según sus propiedades físicas:

a. Estructuras:

- Peso seco de 0.4 a 0.8 gr/cm³
- Contracción volumétrica menor del 12%
- Relación CT/CR igual o menor de 2.0
- Resistente al ataque de hongos e insectos o fácil de tratar

b. Encofrados. Moldes o revestimientos de madera en que se hace el vaciado de las piezas de cemento armado, capaz de soportar con total seguridad todas las cargas verticales y los esfuerzos horizontales.

- Peso seco de 0.4 a 0.6 gr/cm³
- Contracción volumétrica igual o menor de 1.6%
- Baja absorción de humedad
- Adecuada resistencia mecánica
- Trabajabilidad fácil

c. Carpintería de obra:

- Comportamiento bueno al trabajo con máquinas de carpintería
- Estabilidad dimensional
- Contracción volumétrica igual o menor del 12%
- Relación CT/CR igual o menor de 2.0
- Apariencia buena
- Liviana o moderadamente pesada
- Textura media a fina y uniforme

d. Pisos:

- Peso seco igual o mayor de 0.7gr/cm³
- Contracción volumétrica del 10% al 15%
- Buena apariencia

e. Mangos de herramientas, artículos deportivos:

- Peso específico al 12% de humedad de 0.55 a 0.65 gr/cm³
- Grano recto
- Buena apariencia
- Fácil de trabajar mecánicamente

f. Durmientes, postes y pilotes:

- Peso específico al 12% de humedad mayor de 0.6 gr/cm³
- Relación CT/CR de 1.5 a 2.5
- poca tendencia a agrietarse durante el secado (Cassasola 1988).

El diseño de estructuras de madera debe brindar seguridad frente a la rotura y asegurar un correcto funcionamiento durante la vida útil prevista. En particular para las vigas sometidas a flexión, el último aspecto, relacionado a deformaciones, suele determinar las dimensiones finales del elemento estructural. La falta de consideración de este proceso, o una interpretación equivocada de los factores que inciden sobre él, es causa de comportamientos insatisfactorios (Piter 2001).

B. Características mecánicas de la madera

La madera, al contrario que otros materiales como el acero y el hormigón, es un producto de unas características que varían según un rango extraordinariamente amplio. La madera, como resultado del crecimiento de un ser vivo, adquiere una propiedad intrínseca a los seres animados: la diferencia individual. Pero no solamente es cierto que cada árbol es distinto del resto, si no que aún dentro del mismo individuo, las características de la madera varían con la posición del eje y a la altura sobre el suelo (Vignote y Jiménez 1996).

La variación intraespecífica es muy limitada y su amplitud depende de la característica que se considere. Por el contrario, la variabilidad entre diferentes especies es muy amplia. Por ejemplo: el color, existen maderas blancas, verdes, rojas, azules,

negras, prácticamente se puede cubrir toda la gama conocida de colores mediante maderas. Otras características son el peso y la resistencia a la flexión estática o la durabilidad (Vignote y Jiménez 1996).

Mientras que para estas propiedades hay gran variación, para otras es muy pequeña, como es el caso de la conductividad calorífica, la resistencia al fuego, el punto de saturación de la fibra, la humedad de equilibrio higroscópico, la dilatación térmica. Es esta variabilidad intraespecífica un gran inconveniente, al ser necesario estudiar profundamente cada especie para poder conocer su comportamiento. Sin embargo, presenta un aspecto positivo de enorme valor: el hombre dispone de una amplia gama en la oferta de madera, ante la cual el industrial puede elegir aquella que, por sus características, mejor se adapte al producto que se desea fabricar (Vignote y Jiménez 1996).

Se puede afirmar que para cada producto, existe una especie que por sus características, se adecua mejor que otras a los requerimientos de calidad y que, si su madera se destina a transformarse en dicho producto, los costes de transformación son mínimos, a la vez que se consigue una calidad óptima (Vignote y Jiménez 1996).

El conocimiento científico de los materiales y en concreto de la madera, hace que se recupere ese saber artesanal perdido y aplicarlo a la industria actual. Debe tenerse en cuenta que para que una madera pueda aplicarse a un determinado uso final, debe cumplir, con los requerimientos de dicho producto, así como con los requerimientos de la industria transformadora (Vignote y Jiménez 1996).

1. Resistencia mecánica. La resistencia engloba varias propiedades diferentes; una madera muy resistente en un aspecto no tiene por que serlo en otros. Además, la resistencia depende de lo seca que esté la madera y de la dirección en la que esté cortada con respecto a la veta. La madera siempre es mucho más fuerte cuando se corta en la dirección de la veta; por eso las tablas y otros objetos como postes y mangos se cortan así. La madera tiene una alta resistencia a la compresión, en algunos casos superior, con

relación a su peso a la del acero. Tiene baja resistencia a la tracción y moderada resistencia a la cizalladura (Bisso 1982).

La madera sometida a cargas tiene un comportamiento denominado visco-elástico. Ante una cierta carga inferior al límite elástico, se deforma, perdiendo la deformación cuando cesa la carga (Vignote y Jiménez 1996).

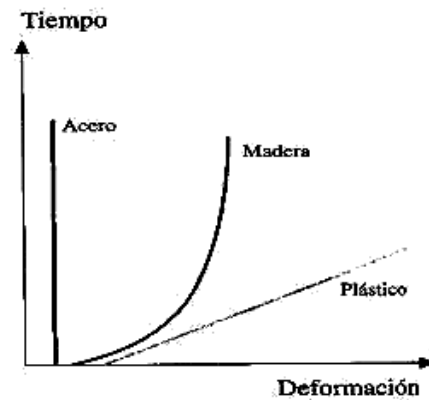
Las diferentes características de comportamiento que presenta la madera respecto de cualquier otro tipo de material elástico, son las siguientes:

- La deformación ante una cierta carga, aumenta con el tiempo.
- El valor de la deformación, en el estado plástico, es muy elevado respecto de cualquier otro material. Es decir, la madera es muy deformable (Vignote y Jiménez 1996).

Figura 3.2 Diagrama carga-deformación



Figura 3.3 Diagrama tiempo-deformación



Fuente (Vignote y Jiménez 1996)

Esta característica tiene dos consecuencias importantes:

- Al calcular una estructura resistente, el dimensionamiento de la sección se deberá realizar, no con base a su resistencia a la rotura sino por su deformación.

- La madera es muy fácil de clavar y además presenta gran resistencia al arranque de clavos. La facilidad de clavado es debida a la escasa dureza de la madera, gracias a ello, el clavo penetra sin apenas dificultad dentro de la madera. Pero al incidir el clavo en la madera, se produce una deformación lateral de la madera, que una vez que el clavo ha penetrado, tiende a recuperarse, presionando contra el clavo dificultando su salida (Vignote y Jiménez 1996).

Respecto a sus valores de resistencia, en dirección longitudinal es relativamente muy resistente, mientras que transversalmente, su resistencia es muy pequeña, hasta el punto que muchas veces no se considera. También debe indicarse la influencia de la resistencia de la madera en función de la humedad. Aunque varía con el tipo de esfuerzo, cuando la madera aumenta un 1% su porcentaje de humedad, la resistencia merma entre el 1.5 y el 2% (Vignote y Jiménez 1996).

2. Características de la madera:

- Características macroscópicas:
 - Dimensiones de la madera en rollo.
 - Forma de la madera en rollo.
 - Defectos de la madera en rollo.
 - Color de la madera.
 - Grano de la madera.
 - Textura de la madera.
- Características microscópicas:
 - Características de la fibra.
 - Trayectoria de la fibra.
- Características físicas:
 - Densidad.
 - Dureza.
 - Higroscopicidad.
 - Contracción volumétrica.

- Coeficiente de contracción volumétrica.
- Relación entre el coeficiente de contracción en dirección tangencial y radial.
- Características mecánicas.
- Características químicas.
 - % en resinas, grasas y ceras.
 - % de celulosa y lignina.
- Otras características:
 - Durabilidad natural.
 - Facilidad de impregnación (Vignote y Jiménez 1996).

3. Textura. Es la relación entre la madera de verano y la total. La textura es importante porque influye de forma indirecta en las características mecánicas: textura grande en las coníferas, implica mayores resistencias y al contrario en las frondosas de anillo poroso. También parece tener influencia en alguna operación como es la de acabado de carpintería y mueble, sobre todo en las operaciones de barnizado. En estos casos, a menor textura, se produce en mejor anclaje del barniz (Vignote y Jiménez 1996).

4. Características de la fibra. Son la longitud, la esbeltez (relación entre la longitud y la anchura) y la proporción de pared celular en el total de las células. Estas tres variables son importantes, sobre todo en la industria de pasta y en la de tablero de fibras, dado que están muy relacionadas con la resistencia del producto final (Vignote y Jiménez 1996).

En términos generales, se clasifican las maderas en cuanto a su longitud de fibra de la siguiente forma:

a. Maderas de fibra larga: son las coníferas. Por término medio, presentan unas fibras (traqueidas) de 2.4 mm de longitud por 20 a 50 micras de anchura.

b. Maderas de fibra corta: son las frondosas. La longitud media de la fibra es de alrededor de 1 mm con anchuras entre 15 y 25 micras. Dentro de las frondosas, se clasificarán como de fibra grande, media o pequeña cuando supere el 1.5 mm estén

comprendidas entre 0.5 y 1.5, o sea inferior a 0.5 mm respectivamente (Vignote y Jiménez 1996).

5. Trayectoria de las fibras. Las fibras torcidas disminuyen la resistencia de la madera y varían sus propiedades mecánicas, por lo que no conviene utilizar estas maderas para construcción. Son aptas para revestimiento, muebles y ebanistería por los dibujos variados que presentan sus vetas (Prontovoy 2004). Es también importante en la industria del mueble y, en menor medida, en carpintería, cuando se utiliza como materia prima la madera maciza, dado que si las fibras presentan trayectoria ondulada, existe tendencia de aparición de repelo después de las operaciones de cepillado y tintado, lo que supone un cierto inconveniente, pues obliga a su eliminación a base de lijados sucesivos (Vignote y Jiménez 1996).

Los nudos son irregularidades que se presentan entre las vetas. Varían la resistencia de las piezas para la construcción. Los nudos suelen secarse más rápidamente y saltar de la pieza, debilitando y creando huecos. Pese a ello, hay maderas que los nudos las hacen más atractivas utilizándolas con fines estéticos en muebles, revestimientos y objetos decorativos (Prontovoy 2004).

6. Dureza (D). Es una propiedad que mide la facilidad de penetración de un material en otro y por tanto, la facilidad de transformación (Vignote y Jiménez 1996). La dureza aumenta de la periferia al centro del tronco (Prontovoy 2004).

La norma UNE anteriormente señalada establece la siguiente clasificación de la dureza:

Cuadro 3.2 Clasificación de maderas de acuerdo a su dureza.

	<i>Dureza</i>	<i>Clase</i>
Resinosas	1 - 2	Blandas
	2 - 4	Semiduras
	4 - 20	Duras
Fronosas	0.2 - 1.5	Muy blandas
	1.5 - 3.0	Blandas

	3.0 -6.0	Semiduras
	6.0 - 9.0	Duras
	9.0 - 10.0	Muy duras

La dureza es muy importante a la hora de estimar la trabajabilidad de la madera. Las maderas muy duras (incluso las calificadas como duras) no son comerciales, salvo casos excepcionales, debido al gran esfuerzo que debe aplicarse en su mecanización (Vignote y Jiménez 1996).

7. Contracción. Se refiere al movimiento de la madera cuando reduce o aumenta su tamaño, al disminuir o aumentar el contenido de humedad por debajo del punto de saturación de las fibras. La variación del volumen por cada 1% de variación de la humedad, se denomina **coeficiente de contracción** constante que es característico de cada especie (Lechman 2001).

La relación entre los coeficientes de contracción lineal en dirección tangencial y radial ($R_{t/r}$): La contracción de la madera tiene diferentes valores según la dirección que se considere. Así en dirección axial, la contracción es prácticamente inapreciable, mientras que en dirección radial y tangencial es grande, siendo esta última de 1.5 a 2 veces más grande que la primera (Vignote y Jiménez 1996). La magnitud del movimiento de la madera es diferente según tres direcciones de referencia. En orden de aumento longitudinal (L), radial (R), y tangencial (T). A los efectos prácticos, el valor más utilizado es el de la relación T/R, cuyo resultado no debe superar ciertos límites para considerar su aptitud de aplicación. La relación T/R determina el grado de estabilidad de la madera (Lechman 2001).

Cuanto más iguales sean ambas contracciones, menos tensiones se producen en la madera y más estabilidad tendrán. Por ello, el valor de la relación entre ambos coeficientes de contracción lineal, sumarán o restarán los problemas de estabilidad que presenta el coeficiente de la contracción de la madera (Vignote y Jiménez 1996). Así:

- $1 < T/R < 2$ madera medianamente estable
- $T/R < 1$ madera estable

- $T/R > 2$ madera poco estable (Lechman 2001)

Maderas con relación entre coeficientes $R_{t/v} > 2$ presentan elevada tendencia a deformación por atejado, siendo problemática su utilización en muebles y carpintería (Vignote y Jiménez 1996).

8. Características mecánicas. En general, para todas las aplicaciones mecánicas de la madera interesa que el cociente entre las características mecánicas y el peso específico sea lo más elevado posible, sobre todo en aquellos usos en los que la madera actúa como estructura resistente (Vignote y Jiménez 1996).

En general, se exige gran resistencia mecánica en los siguientes casos:

Cuadro 3.3 Requerimientos de resistencia de acuerdo al uso de la madera

Muebles:	Resistencia a la flexión estática y módulo de elasticidad
Construcción:	Resistencia a la compresión paralela a las fibras Resistencia a la tracción perpendicular a la fibra Resistencia a la hienda Resistencia a la flexión y módulo de elasticidad Resistencia a la compresión paralela y perpendicular a las fibras Resistencia a la tracción perpendicular a la fibra, (caso de madera laminada) Esfuerzo cortante Resistencia a la hienda, (caso de construcción clavada)
Envases y paletas:	Resistencia a la flexión dinámica
Traviesas:	Resistencia a la compresión perpendicular a la fibra Resistencia a la hienda Resistencia al arranque de tornillos
Postes:	Resistencia a la flexión estática
Apeas:	Resistencia a la compresión axial
	Módulo de elasticidad

La norma UNE sobre interpretación de características físico mecánicas, establece las siguientes clasificaciones, según los valores medios de resistencia:

Compresión axial β : valora la cifra absoluta de la resistencia a rotura, así como el cociente con 100 veces su densidad (cota estática de resistencia a la compresión axial, C_e) en función de su clasificación por densidad (Vignote y Jiménez 1996).

Cuadro 3.4 Compresión β_{12} (kg/cm²) de madera de frondosas

CLASE	LIGERA		SEMIPESADA		PESADA		MUY PESADA	
	β_{12}	C_e	β_{12}	C_e	β_{12}	C_e	β_{12}	C_e
Baja	200-300	6	275-375	6	400-500	6	500-600	7
Mediana	300-400	6-8	375-475	6-7	500-700	6-7	600-800	7-8
Alta	400-600	8	475-600	>7	700-800	7	800-1000	8

La resistencia a la compresión axial es imprescindible en las maderas que se quieren curvar (Vignote y Jiménez 1996).

9. Tracción perpendicular de la fibra σ . Si bien a la madera se le debe evitar que trabaje en esta dirección, el esfuerzo se presenta en los fenómenos de secado y ciertos encolados. Su resistencia se mide por el valor de resistencia a rotura y por la relación de este valor con el de 100 veces la densidad cota estática (Vignote y Jiménez 1996).

C. Propiedades límite de la madera

La madera de diferentes especies y tamaños, tal como es aserrada de la troza, tiene propiedades mecánicas variables. Las piezas pueden tener variaciones de resistencia en más del 100% (Bethancourt 1995).

Por razones prácticas de simplicidad y economía en su uso, las piezas de madera, con propiedades mecánicas parecidas, son colocadas en clases. A esta clasificación se le llama de esfuerzos. La clasificación de los esfuerzos se caracteriza por:

- ♦ Uno o más criterios de clasificación.
- ♦ Conjunto de propiedades permisibles para el diseño de ingeniería.

- ♦ Nombre único en la clasificación (Bethancourt 1995).

Las propiedades permisibles dependen del criterio particular de ordenamiento y de factores adicionales que son independientes de clasificación. Las propiedades permisibles son generalmente menores que las propiedades de madera libre de defectos y de fibra recta. Para dimensionar elementos de madera, por medio del método de esfuerzos permisibles, es necesario establecer valores que garanticen un grado de seguridad adecuado (Bethancourt 1995).

Como en todo material estructural, las propiedades permisibles de diseño deben inferirse o medirse con pruebas no destructivas. En madera, las propiedades se infieren de criterios visuales de clasificación o mediciones no destructivas. Estas mediciones no destructivas proveen un criterio de clasificación y un medio para calcular las propiedades mecánicas apropiadas (Bethancourt 1995).

1. Esfuerzo de compresión paralela a la fibra. El ensayo del esfuerzo de compresión paralela a las fibras consiste en romper, por compresión, una probeta especialmente preparada, entre las platinas de una máquina de ensayo, y medir con precisión la carga de ruptura para la determinación de su resistencia a la compresión. El esfuerzo de compresión paralelo a las fibras es necesario para establecer el tamaño de columnas y otros miembros sometidos a presión (Bethancourt 1995).

Los parámetros de diseño se basan en esfuerzos, aplicados sobre elementos estructurales que están bajo cargas de servicio, que permiten establecer si el elemento soporta o no los mismos (Echeverría 1997).

Si se desea evitar la falla de una estructura, las cargas que la misma puede realmente soportar debe ser mayor que las cargas que requerirá sostener cuando esté en servicio. La capacidad de una estructura para soportar cargas se denomina resistencia, por lo que se concluye en que la resistencia real de una estructura debe sobrepasar la resistencia requerida (Echeverría 1997).

2. Factor de seguridad. La relación entre la resistencia real y la resistencia requerida se denomina factor de seguridad, el cual debe ser mayor que 1.0 si se desea impedir la falla del material. De acuerdo a la experiencia, se emplea factores de seguridad desde 1.0 hasta 10 (Echeverría 1997).

La inclusión de factores de seguridad en el diseño no es un asunto sencillo, porque la resistencia y la falla del material denotan conceptos diferentes. La falla del material significa la ruptura o el colapso completo de una estructura, o bien que las deformaciones rebasan algún valor limitante, de tal modo que la estructura se vuelve incapaz de realizar sus funciones. Esta última clase de falla puede ocurrir con cargas mucho menores que aquellas que ocasionan el colapso (Echeverría 1997).

Para la determinación de un factor de seguridad, se deben tomar en cuenta los conceptos de probabilidad de sobrecarga accidental de la estructura, los tipos de cargas (estática, dinámica o repetitiva) y con que precisión se conocen, la posibilidad de falla por fatiga, inexactitudes de construcción, calidad de fabricación, variaciones en propiedades de los materiales, deterioro debido a corrosión o a otros efectos ambientales, precisión de los métodos de análisis, si la falla es gradual (con amplias señales de peligro) o súbita (sin señales de peligro), consecuencia de la falla (daño menor o catástrofe) y otras consideraciones más (Echeverría 1997).

3. Deformación. La definición indica que es todo cambio de forma (Escalona 1997). La deformación final de una pieza estructural puede descomponerse en dos partes:

a. la deformación elástica instantánea, dependiente del módulo de elasticidad, o sea de su rigidez, y

b. la que se produce posteriormente, variando en función del tiempo y de otros factores, como la duración e intensidad de las cargas, y las condiciones de servicio que determinan el contenido de humedad de la pieza y su variación. Esta última se conoce como deformación diferida (Piter 2001).

Se ha prestado especial atención a partir de las plantaciones de rápido crecimiento, pues los árboles, cortados a temprana edad, presentan en esos casos una importante proporción de madera juvenil, la que brinda en general menores valores de resistencia y rigidez, como consecuencia de la conformación que adquiere la importante capa intermedia de la pared secundaria en la estructura celular (Piter 2001)

La madera, siendo un compuesto polimérico natural, es altamente susceptible a las deformaciones lentas. Hunt (1999) ha descrito los diferentes mecanismos responsables del proceso de deformación diferida:

- a. componente dependiente del tiempo o viscoelástica, la cual para permanecer constante requiere que otras variables, como la temperatura y la humedad, permanezcan constantes,
- b. componente mecano-adsortiva, originada por los cambios de humedad en la madera,
- c. pseudo-deformación y recuperación atribuida al hinchamiento y contracción de la madera (Piter 2001).

La deformación diferida en una pieza es función del contenido de humedad, de la duración de las cargas, del nivel de esfuerzo en la pieza y de la temperatura ambiente. El contenido de humedad, junto a la duración de la carga, es el parámetro que mayor incidencia tiene en la deformación lenta. Esta crece con el contenido de humedad bajo carga, resultando de mayor importancia la intensidad de variaciones de humedad que el contenido absoluto de la misma (Piter 2001).

4. Flexión. Es la resistencia que opone una viga a una carga puntual aplicada en el centro de la luz o distancia entre apoyos; en la cara radial, más cerca de la médula de la probeta (Bisso 1982). La resistencia de la madera, en flexión bajo carga transversal, es una de las propiedades más importantes porque es lo que tiene mayor uso en la construcción (Bethancourt 1995).

5. Módulo de elasticidad. El módulo de elasticidad es una medida de la habilidad que el material tiene para resistir deformaciones. El módulo de elasticidad asignado es

una estimación del promedio de la clase de madera considerada (Bethancur 1995). Es la relación entre el esfuerzo, y la deformación, la cual está determinada por la estructura molecular del material. La distancia entre las moléculas de un material no sometido a esfuerzo depende de un equilibrio entre las fuerzas moleculares de atracción y repulsión (Escalona 1997).

Cuando se aplica una fuerza externa que crea una tensión en el interior del material, las distancias moleculares cambian y el material se deforma. Si las moléculas están firmemente unidas entre sí, la deformación no será muy grande incluso con un esfuerzo elevado. En cambio si las moléculas están un poco unidas, una tensión relativamente pequeña causará una deformación grande. Por debajo del límite de elasticidad, cuando se deja de aplicar la fuerza, las moléculas vuelven a su posición de equilibrio y el material elástico recupera su forma original. Más allá del límite de elasticidad, la fuerza aplicada separa tanto las moléculas que no pueden volver a su posición de partida, y el material queda permanentemente deformado o se rompe (Escalona 1997).

6. Módulo de ruptura. Echeverría (1997) se refiere al esfuerzo debido a la flexión en una viga cargada hasta su ruptura. Esta propiedad es utilizada para comparar resistencias últimas. El módulo de ruptura se calcula según norma ASTM de la forma siguiente:

$$\text{MOR} = \frac{3 * P * a}{b * h^2}$$

Donde: MOR = módulo de ruptura

P = carga máxima (lb o kg)

a = Distancia desde la reacción al punto de carga más próximo (cm)

b = Ancho de la viga (cm)

h = profundidad o peralte de la viga (cm)

7. Tipos de fallas de flexión. Los tipos de fallas conocidos en los ensayos de probetas longitudinales a flexión son los siguientes:

a. Falla simple (vista lateral):



b. Fibra cruzada (vista lateral):



c. Astillada (vista en la superficie de tensión):



d. Abrupta (vista en la superficie de tensión):



e. Compresión (vista lateral):

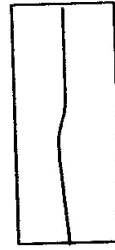


f. Corte horizontal (vista lateral):



3.8 Tipos de fallas a compresión

a. Rajadura (vista lateral):



b. Compresión y corte paralelo (vista lateral):



d. Aplastamiento (vista lateral):



9. Esfuerzo básico. Los esfuerzos básicos, en esencia, esfuerzos unitarios aplicados a materiales con fibras rectas y libres de defectos. Estos esfuerzos obtenidos de los resultados de las pruebas con pequeños especímenes libres de defectos de madera verde, son considerablemente menores con relación al promedio de la especie. Sólo requieren un ajuste, por su clasificación, para tomarse como esfuerzos unitarios permisibles (Bethancourt 1995).

Los esfuerzos unitarios permisibles se calculan para una clasificación en particular, reduciendo el esfuerzo básico de acuerdo con las limitaciones sobre defectos que tenga dicha clasificación. El esfuerzo básico se multiplica por una relación de resistencia para obtener el esfuerzo permisible. Esta relación de resistencia representa la proporción de resistencia de una pieza libre de defectos que persiste, tras considerar el efecto de las características que reducen la resistencia (Bethancourt 1995).

D. Características botánicas de las especies a trabajar:

1. *Metopium brownei* (Jacq.) Urban (Chechén negro). Árbol de la familia Anacardiaceae, de hasta 25 m de alto y de hasta 60 cm de dap., con un tronco derecho con ramas ascendentes y la copa irregular. La corteza es escamosa, con un exudado sumamente cáustico que se pone negro al contacto con el aire. Es una especie abundante en el estrato medio y superior de selvas medianas subperennifolias y subcaducifolias en suelos someros de buen drenaje superficial (Pennington y Sarukhán 1998).

Su madera posee un veteado bastante exótico que se ha aprovechado para la fabricación de chapas para madera terciada decorativa. La madera presenta algunos problemas en su secado. Una limitante para el uso de esta especie ha sido en muchas ocasiones, las afecciones dérmicas que su cáustica resina produce, especialmente en algunas personas, incluso el aserrío de la madera es causa de intensas alergias y afecciones en las vías respiratorias (Pennington y Sarukhán 1998).

2. *Aspidosperma cruenta* Muell. Arg. (Malerio colorado). Árbol de la familia Apocynaceae, monopódico de hasta 40 m de altura y dap. de hasta 80 cm, con el tronco muy recto y las ramas horizontales o ascendentes situadas muy arriba del tronco dejando un fuste limpio, copa redondeada o piramidal. La madera es dura y pesada, con albura amarillenta, a veces con vasos grandes. En su corteza, produce un exudado rojizo o rosado. Se usa actualmente un poco para la producción de chapa o para madera aserrada y especialmente para la fabricación de durmientes, sus características de aserrado y secado son buenas, pero se raja fácilmente con los clavos. Un uso futuro para esta especie sería la fabricación de chapa para madera terciada y duelas (Pennington y Sarukhán 1998).

3. *Pseudobombax ellipticum* (Kunth) Dugand. (Amapola). Árbol de la familia Bombacaceae de hasta 30 m de altura y hasta 1.5 m de dap. con el tronco derecho, ramas horizontales y colgantes, copa muy dispersa. La corteza externa es lisa a amplia y somera o profundamente fisurada en árboles viejos, con manchas gris claro y verdoso, a pardo.

En la madera, la albura es de color crema muy claro con vasos muy grandes. Crece desde el nivel del mar hasta unos 500 m de altitud formando parte de selvas de suelos preferentemente profundos (Pennington y Sarukhán 1998).

Su madera es relativamente blanda, de buenas cualidades para la fabricación de chapas para centros de madera terciada, aunque su alto contenido de agua y la presencia de resinas dificultan su proceso de fabricación (Pennington y Sarukhán 1998).

4. *Pithecellobium arboreum* (L.) Urban (Cola de coche). Árbol de la familia Mimosaceae, de hasta 30 m de altura y dap. de hasta 1 m, tronco derecho, ligeramente tortuoso, con las ramas ascendentes y la copa abierta y oscura. La corteza externa es fisurada, con las costillas escamosas. En la madera, la albura es amarilla parduzca y es dura (Pennington y Sarukhán 1998).

Se ha usado su madera para la fabricación de mangos de herramientas y piezas similares, su aserrío es regular y tiende a rajarse cuando se seca, la fibra encontrada impide un buen torneado pulido, se puede cepillar bien en sentido de la fibra (Pennington y Sarukhán 1998).

IV. MATERIALES Y MÉTODOS

A. Selección y corte de árboles

1. Priorización de especies forestales a estudiar. Las especies forestales a trabajar son:

- *Metopium brownei* (Chechén negro),
- *Aspidosperma cruenta* (Malerio colorado),
- *Pseudobombax ellipticum* (Amapola),
- *Pithecellobium arboreum* (Cola de coche)

Se escogieron estas especies debido a la carencia de información acerca de sus propiedades físicas y mecánicas en la madera, además de la importancia de estos árboles en los bosques tropicales del país, así como la importancia que tienen los mismos para la población rural, por el uso diario que les dan.

2. Lugar de recolección de muestras. El material de estudio fue colectado en los municipios de Sayaxché y San Andrés, Petén, de acuerdo a bosques, plantaciones o parcelamientos de propietarios que tuvieran las especies a estudiar. Específicamente, se colectó la madera en las aldeas Balactún y Sacpuy del municipio de San Andrés y en las aldeas de Las Pozas y El Mirador, en el municipio de Sayaxché.

3. Identificación de las muestras. Se realizó una gira de campo, acompañado por un baquiano conocedor del lugar, quien identificó los árboles por especie de acuerdo al nombre común de cada uno de estos. Se recolectó muestras de hojas, frutos y flores, para ser analizadas en el laboratorio botánico de la Universidad del Valle de Guatemala y se confirmó la especie a trabajar, en base a la literatura.

4. Selección y cantidad de árboles. Según Valdés (1988), se necesitan 5 árboles seleccionados al azar por especie, que es suficiente para tener un 15% de precisión del valor promedio. La selección de árboles fue hecha al azar, de acuerdo a los datos recolectados con anterioridad. Estos árboles estaban separados por lo menos 100 m de distancia, uno del otro.

Para la selección de árboles, se procuró que en estos hubiera un buen fuste, un tronco recto, en donde no se presente madera de reacción (madera en árboles inclinados). Y que se encuentren en buenas condiciones, fuera de algún defecto causado por alguna enfermedad o ataque de insecto.

5. Corte y marcado de árboles. Los árboles escogidos fueron designados con números arábigos (1,2...5), y se les colocó una letra inicial de acuerdo al nombre común del árbol. Las letras y los números fueron puestos con pintura de aceite de color rojo para evitar que se borrarán con el agua. El chechén negro llevó la letra CH, el malerio colorado = MC, amapola = A y cola de coche = CC.

Se contactó con los dueños de los terrenos o parcelamientos y se contrató a un motosierrista del lugar para que realizara los cortes correspondientes a las especies buscadas.

6. Transporte de material. Las trozas ya identificadas fueron colocadas desde el lugar de corte hacia un vehículo, el cual las llevó al aserradero local para obtener las medidas necesarias para las probetas de análisis.

7. Aserrado de material. Las trozas fueron llevadas a un aserradero local, en donde fueron cortadas todas las piezas necesarias para poder efectuar las pruebas físicas y mecánicas. Se obtuvieron todas las piezas posibles de 2" x 2", y se descartaron aquellas que se encontraban defectuosas.

Estas piezas fueron llevadas a la ciudad capital, mediante la contratación de un flete a una carpintería para que fueran cortadas con el largo específico para cada prueba. Como se indica en el siguiente cuadro:

Cuadro 4.1 Medidas de las probetas para realizar los distintos ensayos

Prueba	Medidas (pulg)
Peso específico	2 x 2 x 2
Humedad	2 x 2 x 2
Contracción volumétrica	2 x 2 x 2
Flexión	2 x 2 x 30
Compresión paralela a la fibra	2 x 2 x 8
Compresión perpendicular a la fibra	2 x 2 x 6
Prueba de corte	Ver figura 4.1

Las medidas de cada prueba fueron tomadas de la ASTM¹, pero para las pruebas físicas de peso específico, contenido de humedad y contracciones, se tuvo que reducir las medidas al tamaño indicado, debido a la utilización del horno empleado, ya que originalmente serían de 2" x 2" x 6".

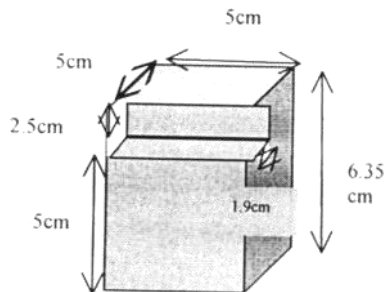


Fig. 4.1 Medidas y formas de la probeta para la realización de la prueba de corte

B. Determinación de las propiedades físicas

Para la determinación de las pruebas y ensayos de las propiedades físicas y mecánicas, se trabajó de acuerdo con las especificaciones de las normas ASTM-D 143, ya

¹ American Society For Testing and Materials

que las mismas incluyen métodos adoptados internacionalmente, principalmente en países americanos, que generan información confiable a partir de pequeños especímenes y de un relativamente fácil manejo (Lima 2003)

1. Características organolépticas. Se determinaron las siguientes características a través de observar, oler y saborear el aserrín que se obtuvo a través del corte con sierra, en el lugar de aserrío:

- a. Olor: ausente o no distintivo, aromático, desagradable.
- b. Sabor: ausente o no distintivo, amargo, dulce, picante.
- c. Color: en el laboratorio, se utilizó la escala Munsell para determinar el color específico de la madera y no dar lugar a interpretaciones dadas al criterio del observador.
- d. Grano: recto, oblicuo, entrecruzado o espiralado.
- e. Textura: gruesa, fina, mediana; homogénea uniforme o heterogénea.

2. Peso específico. Para esta prueba, se utilizaron diez probetas de cada especie con medidas de $2 \times 2 \times 2''$. Para lograr determinar el peso específico, era necesario obtener datos de humedad, peso en gramos y volumen en cm^3 , de tres días consecutivos. Los pesos fueron determinados en balanzas electrónicas. Ya que según la norma ASTM D-143, para todos los ensayos en donde se efectúen las mediciones de peso y contenido de humedad, la precisión debe ser no menos de 0.2% (Lima 2003).

Para la medición de las probetas, se utilizó un vernier digital marca Stainless Hardened, modelo Scala 230.203, con precisión de 0.001mm y se pesaron en una balanza electrónica marca Sartorius modelo 2354, con capacidad máxima de 1000gr y una precisión de 0.01gr.

El procedimiento para determinar el peso específico, el cual duró un período de tres días, se describe a continuación:

Día 1: Se identificó cada una de las probetas con la letra correspondiente a la especie (Ej: CC: cola de coche, MC: maderio colorado...etc), así como el número correspondiente para cada una de éstas. También se identificaron los lados de la probeta con letras minúsculas (Ej: a = axial, r = radial y t = tangencial). Las letras y números se escribieron con un marcador indeleble, para evitar que se borraran al ser sumergidas en agua posteriormente. Cada una de las probetas fue pesada en la balanza electrónica, y medida cada una de sus lados con el vernier digital. Los datos fueron tomados en una hoja de datos para cada especie.

A partir de los datos encontrados fue posible determinar el peso aparente (W_g) de las muestras, para obtener los datos de peso en estado verde u original. Ya que se necesita tener un punto de referencia para llegar a conocer la cantidad de agua que posee la madera al realizar los distintos ensayos. Así con los datos de los tres lados de las probetas, se calculó el volumen; y el peso aparente con la siguiente fórmula:

$$W_g = \frac{\text{peso en estado original de humedad}}{\text{Volumen en estado original de humedad}} \quad (\text{Ec. 1})$$

Posteriormente, se introdujeron las probetas en el horno durante 24 horas a una temperatura de 100°C. Las probetas fueron colocadas en bandejas por especies, cuidando que hubiera espacio suficiente entre estas para que el aire caliente fluyera libremente sin ningún tipo de obstáculo, dando así un secado óptimo de la madera.

Día 2: Después de pasadas las 24 horas las probetas en el horno, cada una de las muestras fue medida y pesada nuevamente de la misma manera que el día anterior.

A partir de los datos encontrados, se determinó el peso seco (G_o) y el peso específico verde (G_g) a partir de las siguientes fórmulas:

$$G_o = \frac{\text{Peso en estado seco}}{\text{Volumen en estado seco}} \quad (\text{Ec. 2})$$



Foto 1. Horno utilizado para quitar la humedad a la madera.

$$G_g = \frac{\text{Peso en estado seco}}{\text{Volumen verde u original}} \quad (\text{Ec. 3})$$

Luego de medir cada uno de los lados de las probetas, así como de determinar el peso, éstas se colocaron en un balde con agua para que permanecieran sumergidas durante 24 horas. Se les colocó un peso en la parte superior del balde, para que cada pieza permaneciera completamente sumergida, ya que estas especies flotan cuando son puestas en el agua.

Día 3: Pasadas las 24 horas las probetas bajo agua, estas fueron sacadas del balde y se les quitó el exceso de agua con servilletas. A partir de esto, se determinó nuevamente el peso con balanza electrónica y se midió las caras de la madera con vernier digital.

Con los datos obtenidos, se pudo determinar el contenido de humedad (sección 2.3) que contenía la madera. A partir de los datos de humedad de los tres días, se realizaron modelos de regresión de la madera de Humedad - Peso y Humedad - Volumen para interpolar variables (ver gráficas de regresión en anexos). En todas las especies se calculó el peso y volumen al 12% de humedad con los modelos de regresión. Y fue posible calcular el peso específico seco al aire (G_a) y el peso unitario al 12% ($W_{12\%}$), el cual es un valor que puede compararse con datos obtenidos internacionalmente.

$$G_a = \frac{\text{Peso en estado seco}}{\text{Volumen al 12\%}} \quad (\text{Ec.4})$$

$$W_{12} = \frac{\text{Peso al 12\% de humedad}}{\text{Volumen al 12\% de humedad}} \quad (\text{Ec.5})$$

3. Contenido de Humedad. Se determinó a partir de los datos encontrados con anterioridad y se utilizaron las mismas probetas para calcular el peso específico.

$$C_H = \frac{\text{Peso húmedo} - \text{Peso seco}}{\text{Peso seco}} \times 100\% \quad (\text{Ec. 6})$$

4. Contracciones. Para la realización de esta prueba se utilizaron probetas con medidas de 2" x 2" x 2". Se midieron las tres caras de la madera, axial, radial y tangencial para obtener los datos necesarios para el cálculo de las contracciones. Se procedió a medir cada una de las caras con el vernier digital en el estado verde u original; pasadas las 24 horas en el horno, se vuelven a medir las tres caras de la madera, y con los datos obtenidos se aplicaron a las siguientes fórmulas:

a. Contracción radial:

$$C_r = \frac{\text{dimensión radial verde} - \text{dimensión radial seco}}{\text{Dimensión radial verde}} \times 100\% \quad (\text{Ec. 7})$$

b. Contracción tangencial:

$$C_t = \frac{\text{dimensión tang verde} - \text{dimensión tang seco}}{\text{Dimensión tang verde}} \times 100\% \quad (\text{Ec.8})$$

c. Contracción axial:

$$C_a = \frac{\text{dimensión axial verde} - \text{dimensión seco}}{\text{Dimensión verde}} \times 100\% \quad (\text{Ec.9})$$

d. Contracción volumétrica:

$$C_v = \frac{\text{Volumen verde} - \text{volumen seco}}{\text{Volumen verde}} \times 100\% \quad (\text{Ec.10})$$

A partir de los datos encontrados de contracción volumétrica, se calculó la relación que existía entre la cara radial y tangencial (r/t), con el fin de encontrar la estabilidad de la madera.

C. Determinación de las propiedades mecánicas

1. Compresión paralela a la fibra. Esta se define como la resistencia que opone una viga a una carga aplicada en el mismo sentido de la dirección de sus fibras. Para la realización de esta prueba, se utilizó una probeta por cada barra de troza. Las dimensiones de la probeta eran de 2" x 2" x 8". Se aplicó una carga sobre la muestra, como muestra la figura 4.2, hasta el momento de la falla. Al realizar la prueba, es necesario cuidar que los extremos estén paralelos uno con el otro y normal al eje longitudinal.

CARGA



Figura 4.2 Compresión paralela a la fibra

Para la medición de la carga aplicada, se utilizó una compresora hidráulica monofásica, marca Forney, modelo FT-40-DR (foto 2), con una capacidad de 250,000lb.



Foto 2. Compresora hidráulica Forney, FT-40-DR

A partir de los datos encontrados, se calculó el esfuerzo último de compresión paralela a la fibra a través de la siguiente fórmula:

$$E_{pa} = \frac{F}{A} \quad (\text{Ec. 11})$$

En donde E_{pa} = es el esfuerzo último de compresión paralela a la fibra

F = es la fuerza aplicada en lb o kg.

A = es el área donde es aplicada la fuerza en in² o cm².

También se realizó una sola prueba en donde se colocó el deformímetro 1C-8 marca Soiltest Inc. (foto 3) a la pieza para ir midiendo su deformación cada 1,000 lb, hasta llegar a la ruptura.



**Foto 3. Deformímetro
1C-8 Soiltest Inc.**

Esta prueba se realizó en la compresora hidráulica marca Versa Tester Soiltest, número de serie 153. Con estos datos fue posible calcular el Módulo de elasticidad en compresión paralela a la fibra, mediante la relación del esfuerzo de carga con la deformación unitaria.

2 Compresión perpendicular a la fibra. Se define como la resistencia que opone la madera a una carga aplicada en sentido perpendicular a la dirección de las fibras en una cara radial de la probeta. Igual que con la prueba anterior, se utilizó una probeta por cada barra de troza y las dimensiones de las probetas para realizar esta prueba, fueron de 2" x 2" x 6", a la cual se le aplica una carga con una placa metálica de 2" de ancho, colocada a través de la superficie de la pieza a igual distancia de las orillas, y normal a lo largo.

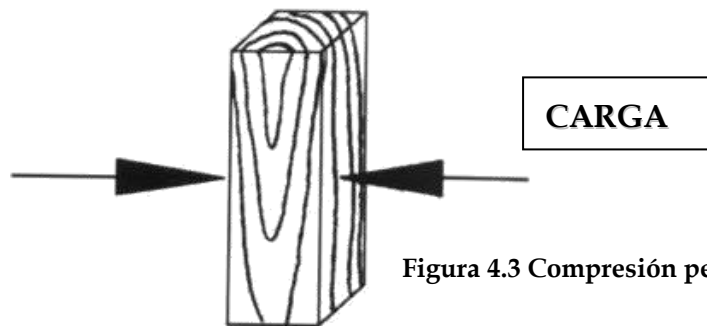


Figura 4.3 Compresión perpendicular a la fibra

A cada una de las probetas se les aplicó una carga con la compresora hidráulica monofásica, marca Foney hasta que la misma mostrara una deformación o falla. Con los datos encontrados de este ensayo, fue posible calcular el esfuerzo último de compresión perpendicular a la fibra a través de la siguiente fórmula:

$$E_{\perp} = F/A \quad (\text{Ec.12})$$

En donde: E_{\perp} = esfuerzo último de compresión perpendicular a la fibra

F = fuerza aplicada en lb o kg

A = área donde es aplicada la fuerza en in² o cm²

3. Flexión estática. En este ensayo, se determinó la resistencia que ofrece una viga, simplemente apoyada, cuando se le aplica en el centro de su claro, una carga que aumenta gradualmente hasta alcanzar su rotura. Para esta prueba, se utilizó una probeta por cada barra de troza y las medidas de las probetas fueron de 2" x 2" x 30". Estas se colocaron en la compresora hidráulica marca Versa Tester Soiltest, número de serie 153 (Foto 4), en la cual se tomaron los datos de carga.



Foto 4. Compresora hidráulica Versa Tester Soiltest

Para tomar las lecturas de deformación, se utilizó un deformímetro 1C-8 marca Soiltest Inc. con una carrera de 1".

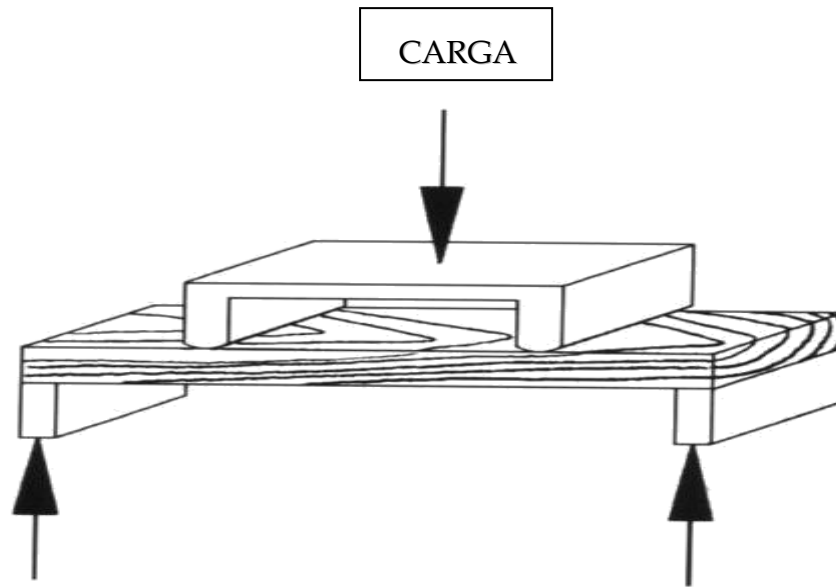


Figura 4.4 Diagrama de prueba de Flexión estática

Se aplicó la carga a cada una de las probetas, tomando lecturas cada 100lb con el deformímetro, hasta llegar a 1,000 lb. A partir de esta carga, se esperó hasta llegar a la carga última, en donde se observó una ruptura o falla en la probeta. A partir de estos datos, se calculó el Módulo de Elasticidad (MOE) y el Módulo de Ruptura (MOR) con las siguientes fórmulas:

$$\text{MOE} = \frac{Pa}{24\Delta l} (3L^2 - 4a^2) \quad (\text{Ec. 13})$$

Donde: MOE = módulo de elasticidad

$l = \text{base} \times \text{altura}^3 / 12 = \text{constante (in}^4) = 1.33\text{in}^4$

$P = \text{carga aplicada (lb) (lectura en la máquina universal)}$

$a = \text{distancia entre los apoyos, en nuestro caso sería } L/3 \text{ (in)}$

$L = \text{largo de la viga}$

$\Delta = \text{deformación (in) (lectura del deformímetro)}$

Es posible sustituir en la fórmula el momento de inercia, la distancia entre los apoyos y el largo total de la viga, suponiendo que las medidas son iguales para todas las

probetas. Dando como resultado una fórmula en función de la carga aplicada y la deformación:

$$\text{MOE} = P/\Delta \text{ (718.75)} \quad (\text{Ec. 14})$$

Mientras que para calcular el módulo de ruptura de la prueba, se aplicó la siguiente fórmula:

$$\text{MOR} = My / I \quad (\text{Ec. 15})$$

Donde: MOR = módulo de ruptura

$$I = bh^3 / 12$$

$$M = Pa$$

$$y = h/2$$

4. Prueba de corte. El número de probetas a utilizar será de 10, y con especímenes como muestra la figura 4.1. Las probetas se introdujeron dentro de un dispositivo diseñado especialmente para provocar el corte.



Foto 5. Dispositivo diseñado para realizar la prueba de corte.

El dato que se obtuvo es la carga para la cual la probeta falla, es decir, el momento que el dispositivo rasga la parte de la pieza de madera que está presionando. Los cortes

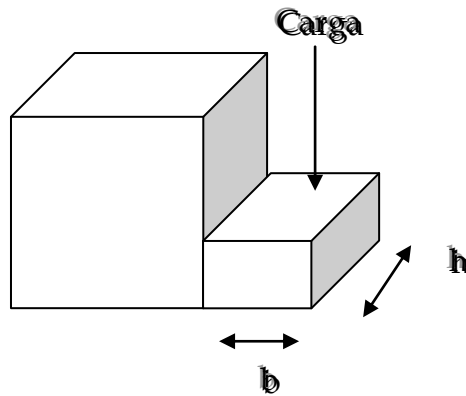
paralelos a las fibras ocurren en los planos longitudinales-tangenciales o longitudinales-radiales, con esfuerzos cortantes paralelos a la dirección de las fibras.

El esfuerzo cortante se determinará a partir del área de falla, por lo que se procedió a medir con el vernier digital, la base y la altura de ésta área. El dispensador con la probeta fue colocado en la compresora manual marca Soiltest, modelo CN-472, número de serie 192 (foto 6).



Foto 6. Compresora manual Soiltest CN-472.

Luego de esto, se tomó la lectura de deformación en el deformímetro 1C-8 marca Soiltest Inc. hasta que la muestra mostró algún tipo de falla. Se anotó el tipo de falla; en aquellos donde se presentó perpendicular a la fibra, se trató de una falla radial, y donde la falla fue tangente a la fibra, se trató de una falla tangencial.



El esfuerzo cortante será igual a:

$$E_c = \frac{F}{A} \quad (\text{Ec. 16})$$

En donde: E_c = esfuerzo cortante

F = fuerza aplicada en lb o kg

A = área donde es aplicada la fuerza en in² o cm²

El equivalente en carga de deformación se calculó con la siguiente fórmula; ya que la lectura del deformímetro se toma en número de vueltas.

$$\text{Carga (lb)} = \frac{1000 (\# \text{ de vueltas})}{1 1/3} \quad (\text{Ec.17})$$

5. Prueba de dureza. Para esta prueba se utilizaron probetas de 2" x 2" x 6" para cada especie. El número de probetas fue una por cada barra de troza. Se utilizó una compresora manual marca Soiltest, modelo CN-472, número de serie 192, junto con una bala de acero, con la cual se ejerció presión sobre una cara de la madera de cada probeta, hasta llegar a una penetración de 0.096". Al llegar a esta profundidad, se tomó la lectura de la compresora, y se calculó la carga al igual que en el inciso anterior.

El número de lecturas para cada probeta, fue de dos en la cara tangencial, dos en la cara radial y dos en la axial.

6. Esfuerzos básicos. Los esfuerzos básicos representan la resistencia permisible de la madera en piezas libres de defectos y sanas. Se aplicaron los resultados obtenidos en la determinación de las propiedades mecánicas y se calcularon los esfuerzos básicos para cada especie, aplicando la siguiente fórmula:

$$\begin{aligned}\text{Esfuerzo básico} &= (X)(V)(T)(S)(H) \\ \text{Esfuerzo básico} &= (X)(V)(0.67)(0.5)(H) \\ \text{Esfuerzo básico} &= (X)(V)(H)(0.335) \qquad \qquad \qquad (\text{Ec.18})\end{aligned}$$

Donde X= promedio aritmético de los resultados de ensayo

V= corrección de variabilidad ²

H= corrección para adaptar los esfuerzos básicos corregidos según el contenido de humedad. = 1

T= corrección por disminución de resistencia de madera cargada por largo tiempo =0.67 ³

S= factor de seguridad = 0.5

Los incrementos de resistencia son detectados al disminuir la humedad en la madera, bajo su punto de saturación de las fibras. El límite de saturación es del 30% de humedad aproximadamente. En la práctica al azar, una curva de resistencia (ordenadas) y humedades (abscisas) establece que el porcentaje de humedad a partir de la cual aumenta la resistencia al disminuir la humedad, es un poco menor que el límite de saturación.

² $V= 1- C(v/100)$ en donde v es el coeficiente de variación en % y C es el coeficiente con valor de 1.0 a 1.5 dependiendo de la dispersión de los valores observados y la forma de su distribución. En este estudio se tomó como 1.

³ Observaciones realizadas en otros países, han señalado que la resistencia de la madera sujeta a cargas durante períodos largos de tiempo, sufre una disminución que llega al 40% de su resistencia inicial, por lo que se ha adoptado un factor de corrección con un valor de $2/3 = 0.67$

Debido a los factores de compensación que existen entre la resistencia de madera verde y resistencia de madera seca, que hacen sus resistencias bastante similares, para maderas cuyo contenido de humedad sea mayor o igual al 30%, el factor de corrección por grado de razonamiento es igual a 1.

V. RESULTADOS

A. Propiedades físicas

1. Características organolépticas. Las características organolépticas fueron determinadas a través de oler, saborear y observar las muestras de madera de cada especie. El color fue determinado a través de la tabla Munsell para no dar lugar a la suposición del observador.

Cuadro 5.1.

Características organolépticas Chechén negro

Olor	no distintivo
Sabor	no distintivo
Color	7.5 YR/8/4
Grano	Entrecruzado
Textura	Heterogénea

Cuadro 5.2.

Características organolépticas Malerio colorado

Olor	Ausente
Sabor	Ausente
Color	10 YR/8/6
Grano	Oblicuo a recto
Textura	Fina y homogénea

Figura 5.1 Madera de Chechén negro

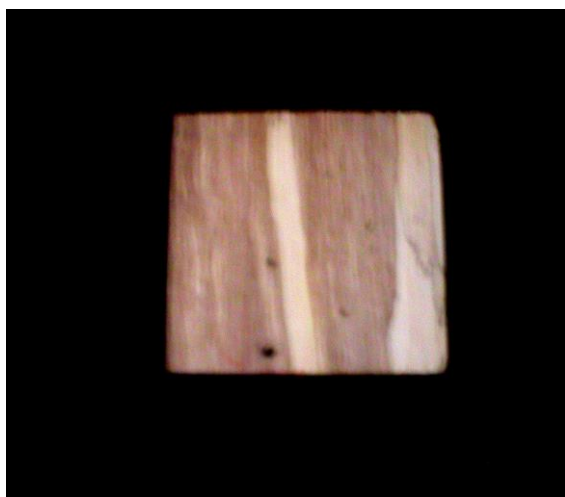


Figura 5.2 Madera de Malerio Colorado



Cuadro 5.3.

Características organolépticas Amapola

Olor	Desagradable
Sabor	Ausente
Color	Entre 10 YR/8/2 y 10YR/8/3
Grano	Oblicuo
Textura	Homogénea

Cuadro 5.4.

Características organolépticas Cola de coche

Olor	Desagradable
Sabor	Amargo
Color	Entre 7.5YR/5/6 y 7.5YR/5/6
Grano	Recto
Textura	Homogénea

Figura 5.3 Madera de Amapola

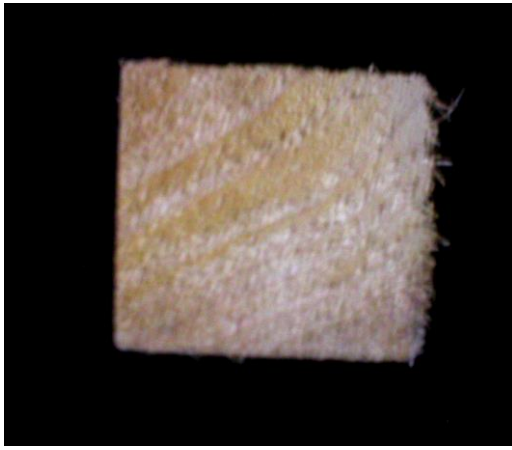
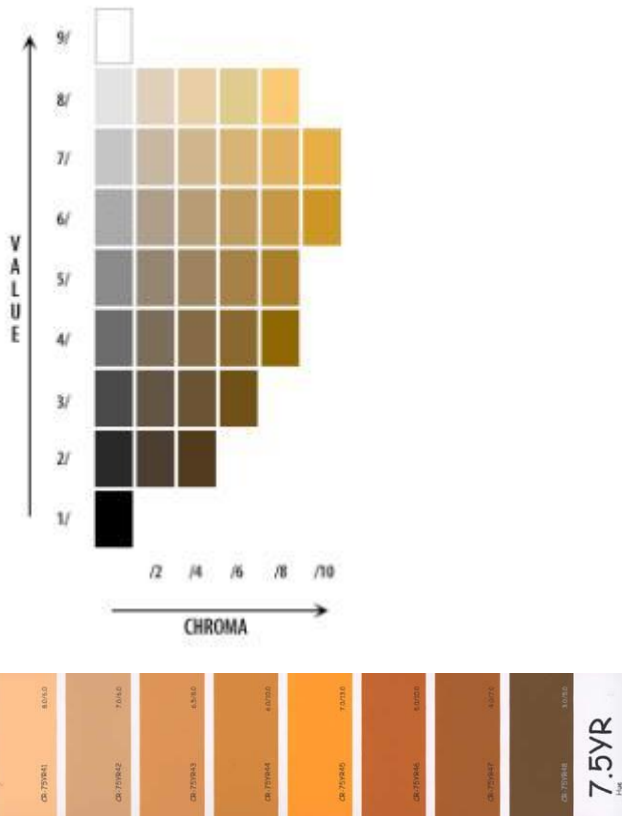


Figura 5.4 Madera de Cola de Coche





2. Peso específico. Los valores de peso específico que se trabajan internacionalmente son los de $W_{12\%}$. El resto de valores fue calculado con las fórmulas de la sección 2.2 de metodología. Asimismo, se calculó la relación de peso y volumen en peso seco para verificar la viabilidad de las especies en la construcción de estructuras.

Cuadro 5.5 Peso y humedad de las muestras de Chechén Negro

Propiedad	Valor medio	Desv. estándar	Coef. de variación (%)
Humedad (%)	50.30	20.95	41.64
Peso aparente, W_g (gr/cm^3)	0.69	0.06	8.69
Peso anhidro, G_o (gr/cm^3)	0.57	0.04	7.01
Peso específico al 12%, G_a (gr/cm^3)	0.55	0.04	7.27
Peso específico al 50%, G_g (gr/cm^3)	0.52	0.04	7.69
Peso unitario al 12%, $W_{12\%}$ (gr/cm^3)	0.64	-----	-----

El peso básico es equivalente al peso específico al 50%.

Cuadro 5.6 Peso y humedad de las muestras de Amapola

Propiedad	Valor medio	Desv. Estándar	Coef. de variación (%)
Humedad	87.54	14.56	16.32
Peso aparente, W_g (gr/cm ³)	0.44	0.06	13.63
Peso anhidro, G_o (gr/cm ³)	0.29	0.04	13.79
Peso específico al 12%, G_a (gr/cm ³)	0.29	0.05	10.34
Peso específico al 87%, G_g (gr/cm ³)	0.27	0.04	14.81
Peso unitario al 12%, $W_{12\%}$ (gr/cm ³)	0.39	-----	-----

El peso básico es equivalente al peso específico al 87%.

Cuadro 5.7 Peso y humedad de las muestras de Malerio colorado

Propiedad	Valor medio	Desv. estándar	Coef. de variación (%)
Humedad (%)	28.63	1.26	4.40
Peso aparente, W_g (gr/cm ³)	0.94	0.03	3.19
Peso anhidro, G_o (gr/cm ³)	0.67	0.01	1.49
Peso específico al 12%, G_a (gr/cm ³)	0.64	0.01	1.56
Peso específico al 28%, G_g (gr/cm ³)	0.59	0.01	1.69
Peso unitario al 12%, $W_{12\%}$ (gr/cm ³)	0.76	-----	-----

El peso básico es equivalente al peso específico al 28%.

Cuadro 5.8 Peso y humedad de las muestras de Cola de coche

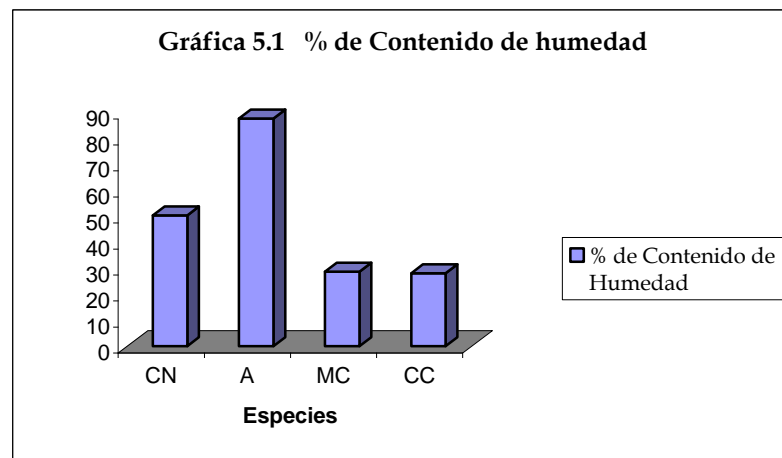
Propiedad	Valor medio	Desv. estándar	Coef. de variación (%)
Humedad (%)	28.03	2.66	9.48
Peso aparente, W_g (gr/cm ³)	1.10	0.02	1.81
Peso anhidro, G_o (gr/cm ³)	0.87	0.03	3.45
Peso específico al 12%, G_a (gr/cm ³)	0.82	0.01	1.22
Peso específico al 28%, G_g (gr/cm ³)	0.75	0.01	1.33
Peso unitario al 12%, $W_{12\%}$ (gr/cm ³)	0.95	-----	-----

El peso básico es equivalente al peso específico al 28%.

3. Contenido de humedad

Cuadro 5.9 Humedad (%) por especie

ESPECIE	% DE CONTENIDO DE HUMEDAD
Chechén Negro (CN)	50.30
Amapola (A)	87.54
Malerio Colorado (MC)	28.63
Cola de Coche (CC)	28.03

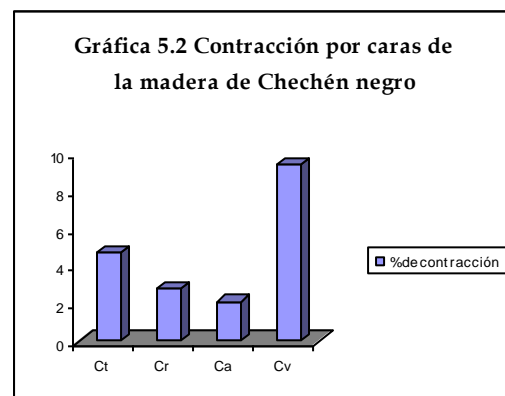


El contenido de humedad en la madera fue calculado en base a los datos encontrados para el peso específico, por medio de la ecuación 6.

4. Contracciones

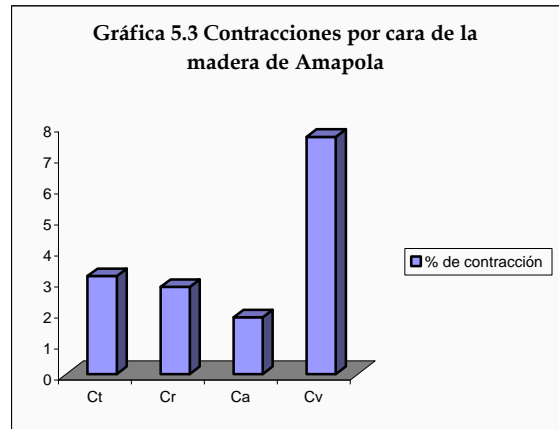
Cuadro 5.10 Contracciones de la madera de Chechén Negro

Contracciones	% de contracción
Tangencial	4.77
Radial	2.85
Axial	2.11
Volumétrica	9.48
Relación t/r	1.67



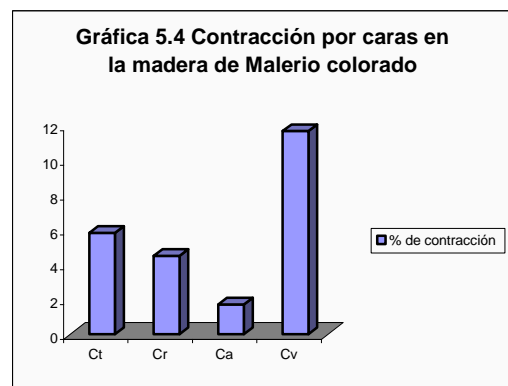
Cuadro 5.11 Contracciones de la madera de Amapola

Contracciones	% de contracción
Tangencial	3.16
Radial	2.81
Axial	1.83
Volumétrica	7.65
Relación t/r	1.12



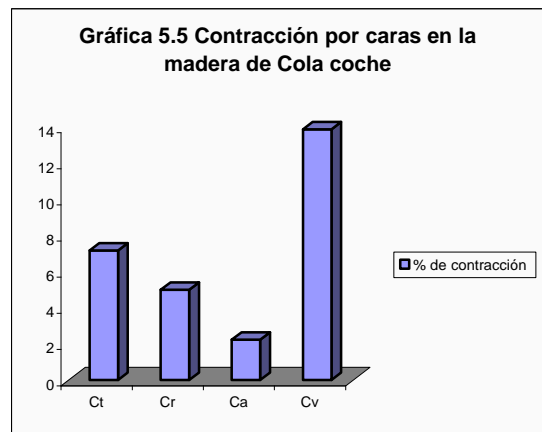
Cuadro 5.12 Contracciones de la madera de Malerio Colorado

Contracciones	% de contracción
Tangencial	5.82
Radial	4.51
Axial	1.71
Volumétrica	11.68
Relación t/r	1.23



Cuadro 5.13 Contracciones de la madera de Cola de Coche

Contracciones	% de contracción
Tangencial	7.16
Radial	4.99
Axial	2.23
Volumétrica	13.87
Relación t/r	1.43



La contracción de cada especie se hizo por cada cara de la madera, ya que cada una se comporta distinto, y fue determinado a través de las fórmulas de la sección B.4 de metodología.

B. Propiedades mecánicas

1. Compresión paralela a la fibra. Con los datos encontrados de carga y deformación de la madera, fue posible encontrar el Módulo de elasticidad con la relación de esfuerzo de carga y deformación unitaria. A partir de la última lectura del deformímetro cuando la madera muestra una falla o deformidad, es posible calcular el esfuerzo último, con la ecuación 11.

Cuadro 5.14 Esfuerzo y MOE en Compresión paralela a la fibra en Cola de Coche

	Resultado	Resultado	Des. Estándar	Coef. Var	Esf. Básicos
Esfuerzo último	5,525 lb/in ²	387.45 kg/cm ²	335.78	6.07%	121.92 kg/cm ²
MOE	666,666.67 lb/in ²	46,783.62 kg/cm ²	-----	-----	-----

Cuadro 5.15 Esfuerzo y MOE en Compresión paralela a la fibra en Amapola

	Resultado	Resultado	Des. Estándar	Coef. Var	Esf. Básicos
Esfuerzo último	26,81.25 lb/in ²	188.03 kg/cm ²	538.04	20.06%	50.35 kg/cm ²
MOE	123,076.92 lb/in ²	8,636.97 kg/cm ²	-----	-----	-----

Cuadro 5.16 Esfuerzo y MOE en Compresión paralela a la fibra en Chechén Negro

	Resultado	Resultado	Des. Estándar	Coef. Var	Esf. Básicos
Esfuerzo último	4,491.67 lb/in ²	314.98 kg/cm ²	593.01	13.20%	91.58 kg/cm ²
MOE	247,422.68 lb/in ²	17,362.99 kg/cm ²	-----	-----	-----

Cuadro 5.17 Esfuerzo y MOE en Compresión paralela a la fibra en Malerio Colorado

	Resultado	Resultado	Des. Estándar	Coef. Var	Esf. Básicos
Esfuerzo último	7,166.67 lb/in ²	502.57 kg/cm ²	1,044.83	14.58%	143.81 kg/cm ²
MOE	613,333.33 lb/in ²	43,040.93 kg/cm ²	-----	-----	-----

2. Compresión perpendicular a la fibra. Al igual que anteriormente, se calculó el esfuerzo último (ecuación 12) a partir de los datos encontrados de deformación y carga al presentarse una falla en la probeta.

Cuadro 5.18 Esfuerzo de compresión perpendicular a la fibra por especie

Especie	Esfuerzo último	Esfuerzo último	Desv. Estándar	Coef. Variación	Esfuerzos básicos
Chechén negro	1,076.38 lb/in ²	75.48 kg/cm ²	185.24	17.21%	20.93 kg/cm ²
Amapola	284.72 lb/in ²	19.96 kg/cm ²	31.65	11.12%	5.94 kg/cm ²
Malerio colorado	2,145.83 lb/in ²	150.47 kg/cm ²	285.96	13.32%	43.69 kg/cm ²
Cola de Coche	1,291.67 lb/in ²	90.58 kg/cm ²	98.60	7.63%	28.02 kg/cm ²

3. Flexión estática. Se calculó el Módulo de elasticidad (MOE) y el Módulo de Ruptura (MOR) a partir de las lecturas de deformación y falla de las probetas. El módulo de elasticidad fue calculado con la ecuación 13, mientras que el módulo de ruptura fue calculado con la ecuación 14. Para ambos valores, se presentan sus esfuerzos básicos, y dimensionales de kg/cm² y lb/cm².

Cuadro 5.19 MOE y MOR en flexión estática de Cola de Coche

	Resultado	Resultado	Desv. Estándar	Coef. Variación	Esfuerzos básicos
MOE	2.38 E ⁶ lb/in ²	167,593.05 kg/cm ²	566,815.28	24.42%	42,433.39 kg/cm ²
MOR	25,062.66 lb/in ²	1,757.55 kg/cm ²	4,911.26	19.60%	473.38 kg/cm ²

Cuadro 5.20 MOE y MOR en flexión estática en Malerio Colorado

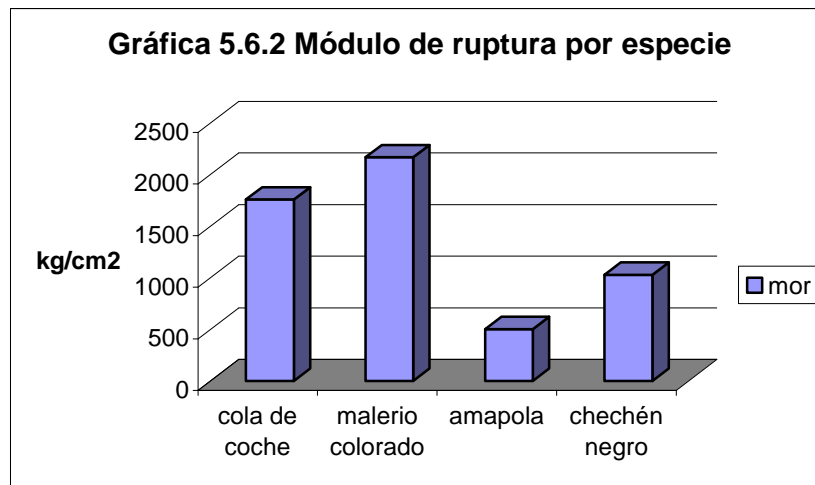
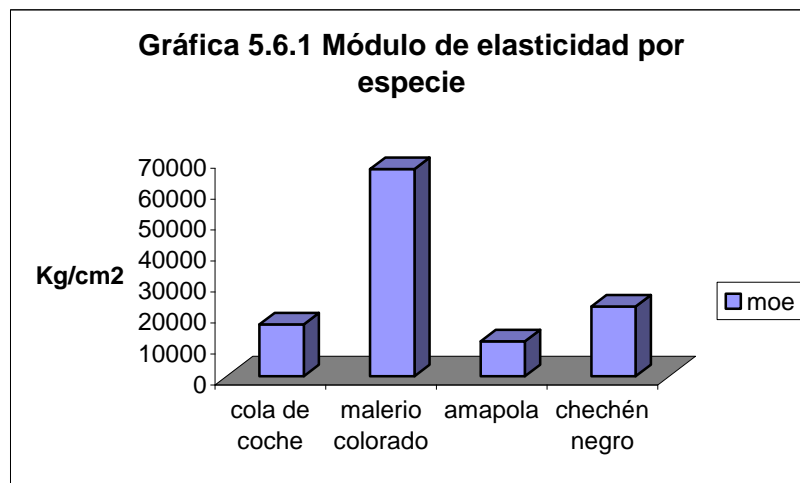
	Resultado	Resultado	Desv. estándar	Coef. Variación	Esfuerzos básicos
MOE	9.53 E ⁶ lb/in ²	669,342.93 kg/cm ²	8,273,936.26	86.73%	29,755.30 kg/cm ²
MOR	30,889.73 lb/in ²	2,166.18 kg/cm ²	3,739.93	12.10%	637.86 kg/cm ²

Cuadro 5.21 MOE y MOR en flexión estática en Amapola

	Resultado	Resultado	Desv. Estándar	Coef. Variación	Esfuerzos básicos
MOE	1.60 E ⁶ lb/in ²	112,968.25 kg/cm ²	973,843.93	60.47%	14,945.28 kg/cm ²
MOR	7,174.18 lb/in ²	503.09 kg/cm ²	2,670.00	37.22%	105.81 kg/cm ²

Cuadro 5.22 MOE y MOR en flexión estática de Chechén negro

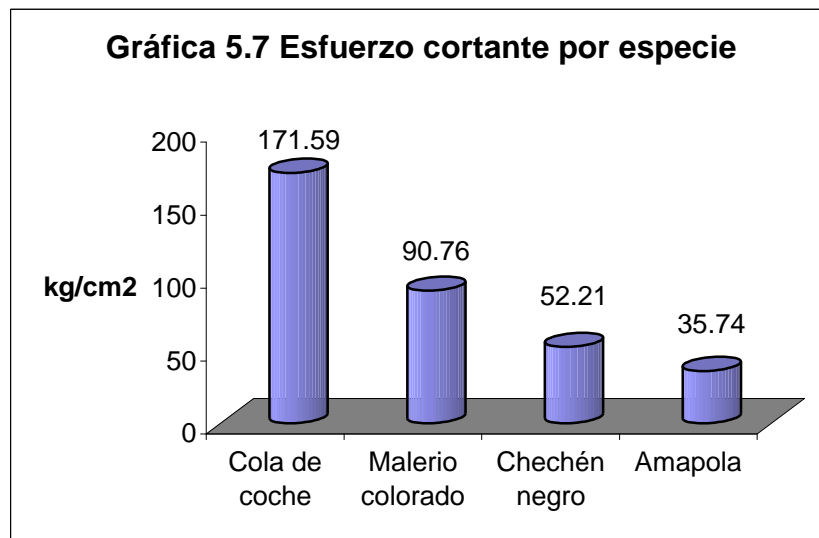
	Resultado	Resultado	Desv. Estándar	Coef. Variación	Esfuerzos básicos
MOE	3.21 E ⁶ lb/in ²	225,597.94 kg/cm ²	131,048.89	40.76%	44,740.34 kg/cm ²
MOR	14,661.65 lb/in ²	1,028.17 kg/cm ²	5,311.27	36.22%	219.68 kg/cm ²



4. Prueba de corte. Se calculó el esfuerzo cortante con la ecuación 16 para esta prueba a partir de los datos encontrados de carga (Ec. 17) y deformación.

Cuadro 5.23 Esfuerzos últimos en prueba de corte por especies

	lb/in ²	Kg/cm ²	Desv. Estándar	Coef. Variación	Esfuerzos básicos
Cola coche	2,446.82	171.59	1726.18	70.54%	16.93 kg/cm ²
Malerio colorado	1,294.19	90.76	716.52	55.36%	13.57 kg/cm ²
Chechén negro	744.58	52.21	476.79	64.03%	6.29 kg/cm ²
Amapola	509.72	35.74	343.65	67.42%	3.90 kg/cm ²



5. Prueba de dureza. A partir de la lectura del deformímetro, se pudo calcular la carga presentada en cada cara de la madera, cuando la bala estaba introducida 0.096". Este se calculó con la ecuación 17 de la sección de metodología.

Cuadro 5.24 Carga de la madera por caras en Chechén negro

Cara de la madera	Carga (lb)	Carga (kg)	Desv. Estándar	Coef. Variación	Esfuerzos básicos (kg)
Axial	990.61	448.24	102.60	10.35%	134.62
Radial	573.81	259.64	120.43	21.00%	68.71
Tangencial	424.28	191.98	86.88	20.48%	51.14

Cuadro 5.25 Carga de la madera por caras en Amapola

Cara de la madera	Carga (lb)	Carga (kg)	Desv. Estándar	Coef. Variación	Esfuerzos básicos (kg)
Axial	134.08	60.67	126.74	94.53%	1.11
Radial	72.05	32.60	42.47	58.94%	4.48
Tangencial	156.01	70.59	133.55	85.60%	3.41

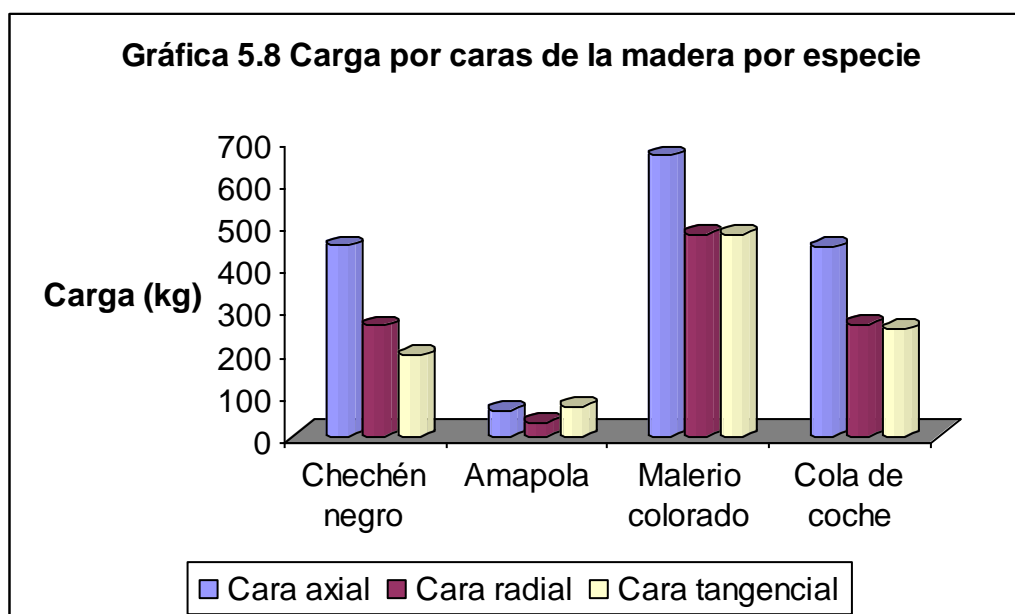
Cuadro 5.26 Carga de la madera por caras en Malerio colorado

Cara de la madera	Carga (lb)	Carga (kg)	Desv. Estándar	Coef. Variación	Esfuerzos básicos (kg)
Axial	1,459.90	660.59	86.14	5.90%	208.24
Radial	1,050.75	475.45	70.17	6.68%	148.64
Tangencial	1,050.12	475.16	76.29	7.26%	147.62

Cuadro 5.27 Carga de la madera por caras en Cola de coche

Cara de la madera	Carga (lb)	Carga (kg)	Desv. Estándar	Coef. Variación	Esfuerzos básicos (kg)
Axial	986.82	446.52	98.67	9.99%	134.64
Radial	581.45	263.09	121.51	20.90%	69.71
Tangencial	558.27	252.61	153.76	27.54%	61.31

Gráfica 5.8 Carga por caras de la madera por especie



VI. DISCUSIÓN

Para la elaboración de este estudio, se tomó en cuenta los principales ensayos para llegar a determinar las propiedades físicas y mecánicas de la madera. Todas las pruebas realizadas fueron hechas bajo las normas ASTM D143, que son métodos adoptados internacionalmente, los cuales generan datos confiables a partir de pequeñas muestras.

Este se hizo con cuatro especies arbóreas situadas en el departamento de Petén, las cuales fueron extraídas de los municipios de San Andrés y Sayaxché. Las especies trabajadas responden al nombre común de Chechén negro (*Metopium brownei*), Malerio colorado (*Aspidosperma cruenta*), Amapola (*Pseudobombax ellipticum*) y Cola de Coche (*Pithecellobium arboreum*). Se escogieron estas especies, debido a la poca información que se tiene de ellas, y éstas representan un porcentaje del gran número de especies tropicales que tiene nuestro país.

El objetivo principal se basa en obtener información acerca de las propiedades físicas y mecánicas de la madera de estas especies, ya que con estos datos se puede concretar así científicamente un uso óptimo o ideal, o bien se puede clasificar las especies de acuerdo a sus características físicas y mecánicas. Entre las propiedades físicas que se determinaron, se puede clasificar a la madera por sus características organolépticas, en la cual se tiene que para el Chechén Negro y el Malerio Colorado, el olor de la madera era no distintivo o ausente, mientras que en la Cola de coche y la Amapola éste se apreciaba como desagradable. Para el color de las cuatro especies, se pudo observar a través de la tabla Munsell que éste se concentra en el color amarillo, pues todas se encuentran bajo este mismo rango, solamente que con tonalidades distintas. El color fue claramente definido en la madera de Chechén negro y la de Malerio colorado, pero para Cola de coche y Amapola, el color de la madera no se pudo definir en un rango, sino que fue definida entre dos tonalidades distintas.

Para el sabor de la madera, se determinó probando el aserrín que caía de las sierras cuando la madera era cortada para obtener las probetas de ensayo y se pudo

concretar que para todas las especies éste era no distintivo, excepto para Cola de coche ya que en éste, se percibía que el sabor era amargo.

Para determinar el peso específico en cada una de las maderas, se designó el peso para cada estado de humedad, ya que el peso de la madera cambia en relación a la humedad al ir perdiendo agua. Así se determinó el peso con las fibras saturadas (humedad al 30%), con la madera seca (0% de humedad) y el estado original o verde. Esto se hizo con el fin de lograr ubicar el punto en el cual se encontraba la madera al realizar cada uno de los ensayos, ya que el comportamiento del peso de ésta es proporcional al volumen, y el peso es directamente proporcional con el porcentaje de humedad. Para cada especie, se obtuvo el valor del peso y volumen al 12% de humedad, a través de una regresión y con estos datos fue posible calcular el peso específico seco al aire y el peso unitario, que es un dato con el cual se puede comparar con valores dados internacionalmente.

Según los datos encontrados en la relación de peso y volumen, Malerio colorado tiene el menor valor con 0.29 gr/cm^3 , y el más alto lo tiene Cola de coche con 0.87 gr/cm^3 . El Malerio Colorado puede ser utilizado para la construcción de mangos de herramientas y artículos deportivos, al igual que Cola de coche para la construcción de durmientes, poste y pilotes. Mientras que Amapola, por su bajo valor, sólo puede ser utilizada para carpintería de obra.

En cuanto al peso se refiere, se observa que la Amapola es la especie que menor peso tiene en un estado de equilibrio de humedad. Mientras que para las especies de Malerio colorado y Cola de coche, el peso sobrepasa los 125 gr, por aproximadamente cada 125 cm^3 . Una relación mayor de 1:1 en peso y volumen; lo que quiere decir que son maderas que pueden servir para hacer estructuras, ya que según Casasola (1988), se necesita una relación de $0.4 - 0.8 \text{ gr/cm}^3$ en peso seco; y estas tienen 0.66 gr/cm^3 y 0.87 respectivamente. La madera de Cola de coche puede ser utilizada para la creación de pisos, con el inconveniente de la apariencia que tiene, sobre todo el olor que desprende. El Chechén negro tiene una relación de 0.57 gr/cm^3 , la cual también puede ser utilizada para la utilización de estructuras.

El volumen al igual que el peso, es proporcional a la humedad de la madera, pues entre más agua contenga la misma, mayor volumen tendrá. Todas las especies en estudio mostraron un aumento en el volumen de las probetas al llegar al punto máximo de humedad, y sufrieron otro cambio dimensional de contracción, al llegar al límite con 0% de humedad. La especie que mayor cambio volumétrico mostró fue la de Cola de coche, y Amapola fue la que menos cambio mostró. Esto puede deberse a la unión de las fibras, que en el caso de Cola de coche, se encuentran muy unidas, no así en la Amapola que están muy separadas.

El porcentaje de humedad en la madera nos indica la cantidad de agua que contiene la misma y es importante saberlo, ya que si el porcentaje de agua contenido en la madera es mayor al del punto de saturación de las fibras, la madera sufre cambios dimensionales. La especie que mayor agua contenía es la Amapola, seguido del Chechén negro como se observa específicamente en la gráfica 5.1. Mientras que Cola de coche y Malerio colorado están en circunstancias semejantes, pues ambas están alrededor del 28% de humedad. Estas dos especies contienen muy baja la cantidad de agua, ya que se observa que las fibras están muy unidas, por lo que es difícil que absorba agua tanto como que pierda. La madera de Amapola tiene una alta porosidad y sus fibras se mantienen muy separadas, provocando mayor retención de agua, mientras que la cantidad de agua en el Chechén negro, es medianamente alta.

Se observa que en la contracción de las probetas, la que mayor porcentaje de cambio presentó fue la volumétrica, (gráficas 5.2 - 5.5), con respecto a las otras caras de la madera. Esto se debe a que el volumen es la interacción conjunta de las tres caras de la madera, y se define como contracción a aquel cambio que se da en la madera causada por la falta o aumento de agua. Y como la madera se comporta diferente en sus tres componentes, era necesario conocer el comportamiento de cada uno de estos componentes, a través de secar y saturar las fibras de la madera. Por lo que se procedió a medir la contracción de las tres caras de la madera, en general la cara axial fue la que menos sufrió cambios para todas las especies, no así las caras tangencial y radial que la contracción fue mayor para todas las especies.

Para fines prácticos, los puntos de referencia radial y tangencial son los importantes, ya que la relación entre los mismos limita el uso de la madera; entre más iguales estén las contracciones radiales y tangenciales producen menos tensiones en la madera, dando mayor estabilidad. Así, para el Malerio colorado, la relación tangencial-radial fue de 1.23, y según Lechman (2001), esta madera es medianamente estable, también esta misma relación en Chechén negro y Cola de coche, resulta en una madera medianamente estable, no así la madera de Amapola, cuyo valor de esta relación es cercano a 1, resultando en una madera poco estable.

Al determinar las propiedades mecánicas de cada una de las especies trabajadas, se observa un comportamiento totalmente distinto para cada una de ellas. Para compresión paralela a la fibra, existe una gran diferencia entre los esfuerzos últimos de la madera de las cuatro especies. Cuando nos referimos al esfuerzo último, se trata del dato que se registra al momento que se produce una falla o deformación en la probeta. Y ya que esfuerzo se define como la cantidad proporcional de la fuerza que produce una deformación en un área dada, esta prueba nos indica la fuerza que oponen las fibras de la madera al ser colocadas paralelamente a la carga aplicada. Se observa una gran diferencia entre los esfuerzos últimos de Amapola y Malerio colorado, ya que la primera muestra muy poco esfuerzo, 2,600 lb/in², mientras que la segunda muestra un esfuerzo arriba de los 7,000. Cola de coche y Chechén negro tuvieron esfuerzos similares, alrededor de los 5,000 lb/in².

También se calculó el módulo de elasticidad de la madera en compresión paralela a la fibra, que es la habilidad del material a resistir deformaciones ante una carga o fuerza y depende de la estructura molecular del material. Y fue calculado a partir de la deformación unitaria en base a deformaciones encontradas. En este caso Amapola tuvo un valor bajo comparado con el resto de las especies, el cual pasa las 120,000 lb/pul², las piezas de Chechén negro estuvo cercano a las 250,000 lb/pul². Mientras que para Cola de coche y Malerio colorado, este valor estuvo alrededor de las 600,000 lb/pul², lo que quiere decir que estas dos especies oponen gran resistencia a ser deformadas, mientras que las dos primeras resisten muy poco a estar deformadas. Esto va de la mano a la unión de las fibras, ya que éstas determinan el módulo de elasticidad.

En el esfuerzo de compresión perpendicular a la fibra, se observa nuevamente que la Amapola resiste muy poco, solamente con un poco arriba de las 200 lb/in² y que el Malerio colorado opone la mayor resistencia a la falla, con un valor arriba de las 2,000 lb/in². Las otras dos especies, tienen un comportamiento similar, ya que sus esfuerzos son relativamente similares, alrededor de las 1,000 lb/in². Este esfuerzo es menor al mostrado anteriormente, en compresión paralela a la fibra, ya que en este caso las fibras se encuentran perpendiculares a la carga, ejerciendo así menor oposición a la fuerza, dando por resultado un esfuerzo menor.

La prueba de flexión es una de las pruebas más importantes pues la información obtenida sirve para la construcción de vigas y andamios; para lo cual se determinan los parámetros de Módulo de Elasticidad y el Módulo de Ruptura de las probetas. En base a los resultados obtenidos, se observa que la Amapola tiene un módulo de elasticidad y módulo de ruptura muy por debajo del resto de especies. Mientras que el Malerio colorado tiene un alto valor del módulo de elasticidad, arriba de 9, 000,000 lb/in², así como de Módulo de Ruptura, que juntos dan como resultado una madera muy fuerte. El Chechén negro tiene un bajo Módulo de ruptura, que es el equivalente al esfuerzo que hace fallar el material, pero a su vez el valor del módulo de elasticidad es alto.

El límite elástico en la prueba de flexión estática es mucho más alto que para la prueba de compresión paralela a la fibra donde es relativamente bajo, pues aquí no existe un punto de falla o deformación definida. Y esto se debe a que la madera es un material anisotrópico, que lo componen células formadas por crecimientos orgánicos que se alinean para formar una serie de columnas en la dirección de las fibras.

La dureza del material fue medida con base en la posición de sus fibras, ya que se hizo de tal manera que en el método a seguir, se incluyera en cada una de las caras de la probeta. Así las caras axiales, tangenciales y radiales, sufrieron una penetración para lograr determinar la dureza de las mismas. Para todas las especies, se observó que la cara axial fue la más difícil de penetrar, mientras que las caras radial y tangencial tuvieron un comportamiento similar. La especie más dura es el Malerio colorado, en sus tres caras, mientras que nuevamente la Amapola es muy suave en sus tres caras. Para Cola de

coche y Chechén negro, se observa un comportamiento similar. La unión de las fibras es la que define la dureza de la madera, como afirma Bisso (1982), menciona que las maderas fibrosas son más duras, en este caso el Malerio colorado, y las maderas más ricas en vasos son más blandas, como Amapola. También la madera dura es más pesada.

Durante la prueba de corte, se observó que en este caso, la especie que mayor resistencia opuso a la falla, fue Cola de Coche, seguido de Malerio colorado. La Amapola fue nuevamente, la especie que menor esfuerzo de corte tuvo. Este esfuerzo es aquel que actúa paralelamente a un plano, para distinguirlo de los esfuerzos tensitivos y compresivos que actúan normalmente a un plano.

Para todos los valores obtenidos de propiedades mecánicas, se calculó los esfuerzos básicos, que son factores de corrección para madera libre de defectos. Los esfuerzos básicos son calculados según a un factor de seguridad, y de un factor de corrección de humedad.

VII. CONCLUSIONES

- De acuerdo a las propiedades mecánicas, la madera de la especie que menos opone resistencia a la deformación o falla es la Amapola (*Pseudobombax ellipticum*), debido a su bajo esfuerzo encontrado en las pruebas realizadas, es una madera muy blanda y suave.
- La especie de Amapola (*Pseudobombax ellipticum*) es una madera porosa que contiene mucha agua, 87% de humedad, lo que provoca un difícil manejo; su bajo peso específico de 0.29 gr/cm^3 , y la relación t/r (1.12), la hace un poco inestable por lo que sólo puede ser utilizada para madera de uso artesanal.
- Con base en sus propiedades mecánicas, la madera que mayor oposición a la deformación o falla, es la de Malerio Colorado (*Aspidosperma cruenta*), que resulta en una madera dura, con valores de esfuerzos altos en todos los ensayos realizados y con un alto comportamiento elástico, difícil de llegar a la ruptura.
- La madera de Malerio colorado (*Aspidosperma cruenta*), tiene una contracción volumétrica de 11.68%, relación t/r de 1.23, es moderadamente pesada y tiene una textura fina y uniforme, lo que la hace candidata a la utilización de carpintería de obra, la construcción de vigas y estructuras, así como la utilización en mangos de herramientas y artículos deportivos.
- Con los resultados encontrados de contracción radial y tangencial de Cola de Coche (*Pithecellobium arboreum*), de 0.69, peso seco de 0.87 gr/cm^3 , contracción volumétrica de 17.87% y su alta resistencia a deformación y falla, puede considerarse una madera estable que puede ser utilizada para la construcción de estructuras y vigas.
- Se puede considerar la utilización de Cola de coche (*Pithecellobium arboreum*) para la construcción de pisos, pues el peso seco es de 0.69 gr/cm^3 , y la contracción volumétrica

es menor al 15%, con el inconveniente de la apariencia de esta madera, sobre todo el olor que desprende la misma.

- Según las propiedades físicas de la madera del Chechén negro (*Metopium brownei*), de peso seco de 0.57 gr/cm³, contracción volumétrica de 9.48% y la relación t/r de 1.67. Se considera una madera que puede clasificar para la realización de estructuras.
- Las propiedades mecánicas de la madera de *Metopium brownei* reflejan el bajo comportamiento elástico, a pesar de tener una buena estabilidad no tiene un grado de resistencia a deformación alta.

VIII. RECOMENDACIONES

- Se recomienda el uso del Malerio colorado para construcción, debido a sus propiedades mecánicas. Y debido al fácil acceso de este árbol, con un buen manejo forestal, puede llegar a representar una alternativa de explotación sostenible para empresarios, así como cualquier persona individual.
- La madera de Cola de Coche puede representar una alternativa para la construcción de inmuebles o estructura, según a los datos encontrados de propiedades físicas y mecánicas.
- El Chechén negro puede ser utilizado para construcciones menores o de baja resistencia mecánica, ya que tiene alta elasticidad, pero una baja resistencia a oposición.
- De acuerdo a los resultados encontrados, por el bajo esfuerzo presentado por la Amapola, no se recomienda el uso de la madera de este árbol para la construcción de ninguna clase, solamente para el uso doméstico y artesanal.
- Las especies trabajadas pueden ser sometidas a un inventario a nivel regional, para conocer a exactitud el volumen maderable de los mismos, y poder sustituir aquellas maderas que estén en un bajo rendimiento maderero.

IX. BIBLIOGRAFÍA

- Benítez y Montesinos. 1988. *Catálogo de 100 especies forestales de Honduras: distribución, propiedades y usos*. Siguatepeque, Honduras. Escuela Nacional de Ciencias Forestales -ESNACIFOR. 216pp.
- Bethancourt, H. 1995. *Metodología para la obtención de esfuerzos permisibles en madera*. Tesis. Ing. Civil. UVG. Guatemala. 82pp.
- Cassasola, CR. 1988. *Anatomía y propiedades físicas de las maderas Calophyllum brasiliense, Vochysia hondurensis y Symphonia globulifera*. Tesis Licenciatura en Agronomía. Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala. 112pp.
- Echeverría, J. 1997. *Alnus acuminata o. ktze (Ilamo), determinación de sus propiedades físico-mecánicas, para diseño de flexión en madera estructural y su uso como otra alternativa para la construcción de vivienda popular*. Tesis Ing. Civil. USAC. Guatemala. 29pp.
- Escalona, I. 1997. *Prácticas de Mecánica*. Consultado 14 abril de 2005. Disponible en <http://www.monografias.com/trabajos12/pruemec/pruemec.shtml>.
- Gurfinkel, G. 1981. *Wood Engineering*. 2da. Edición. Kendall/Hunt Publishing. Iowa. 552pp.
- Lechman, L. 2001. *Herramientas de trabajo para agricultura moderna*. Argentina. Consultado el 14 abril 2005. Consultado en http://www.todomi.com.ar/seccion_taller/taller_apicultura_3.thm
- Lima, L. 2003. *Determinación de algunas propiedades físicas y mecánicas de 5 especies de árboles tropicales*. Tesis. Ing. Forestal. UVG. Guatemala. 74pp
- Pennington, T y J. Sarukhán. 1998. *Árboles Tropicales de México*. Fondo de Cultura Económica. México. 521pp.
- Piter, J. 2001. *Programa complementario de ensayos*. Consultado el 14 abril de 2005. Disponible en http://www.sedici.unlp.edu.ar/search/request.php?id_document=ARG-UNLP-TPG-000000023&request=request
- Prontovoy. 2004. *Maderas, Tipos y Propiedades*. Argentina. Consultado el 14 abril de 2005. Disponible en <http://www.prontovoy.com.ar/DeInteres/Maderas.htm>

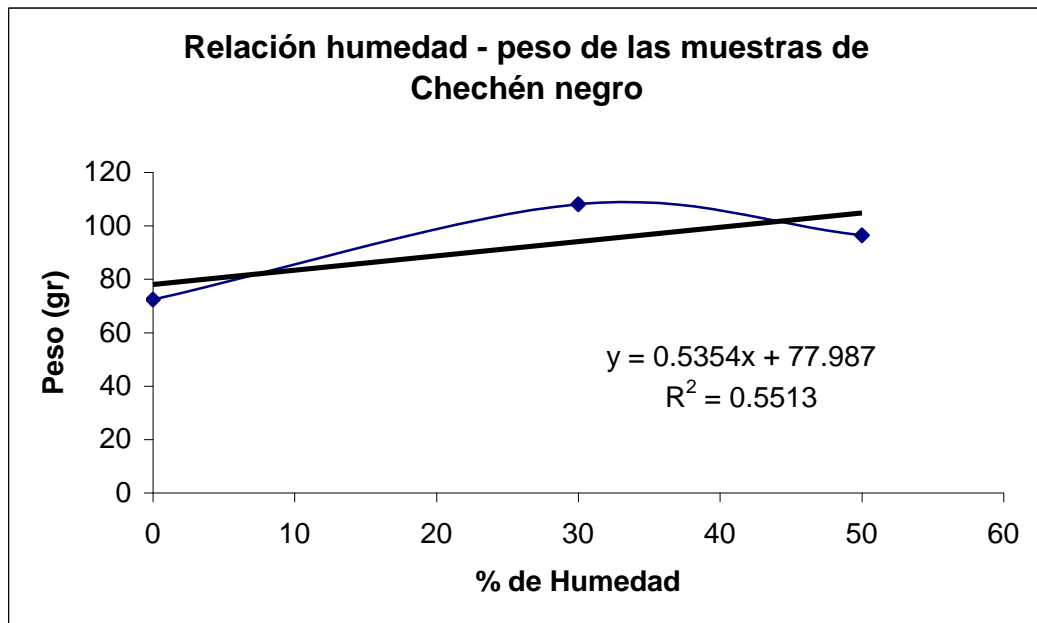
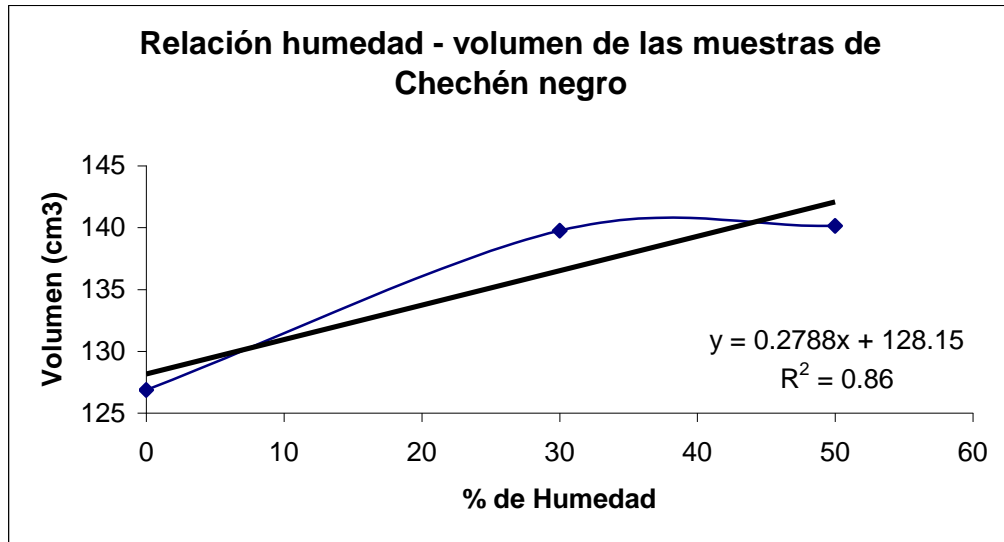
Valdes, HC. 1988. *Anatomía y propiedades físicas de la madera Lonchocarpus latifolius (Willd) HBK, Terminalia amazonia (J.F. Gmel) y Pouteria gallifruca Cronquist.* Tesis Licenciatura en Agronomía. Guatemala. Universidad de San Carlos de Guatemala. 49pp.

Vignote, S. y J. Jiménez. 1996. *Tecnología de la Madera.* Ministerio de Agricultura, pesca y alimentación. Madrid. 602pp.

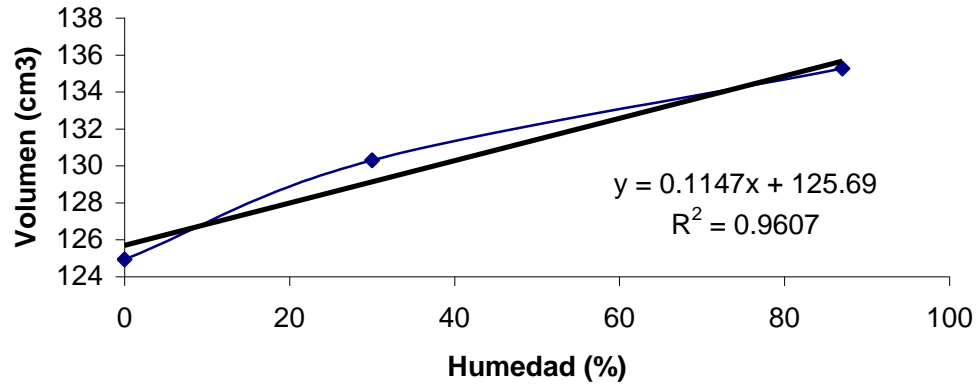
X. ANEXOS

Anexo 1.

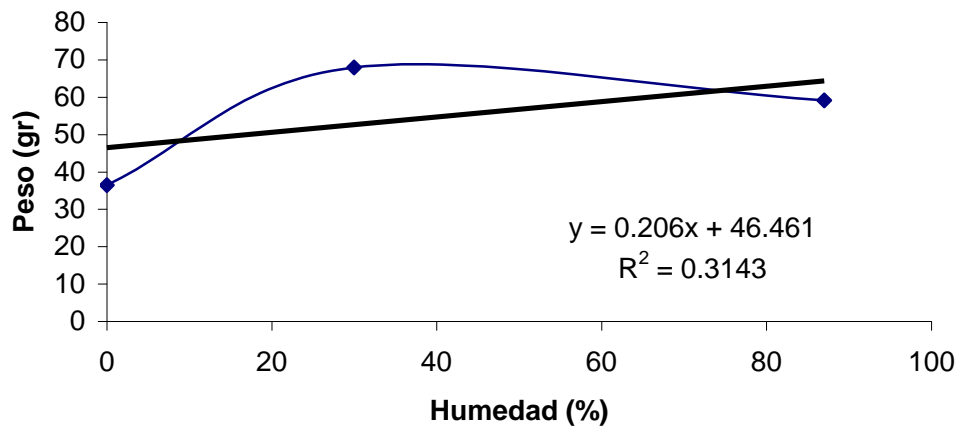
Relación humedad - volumen y humedad - peso de las especies, la regresión fue utilizada para interpolar los valores de peso y volumen al 12% de humedad.

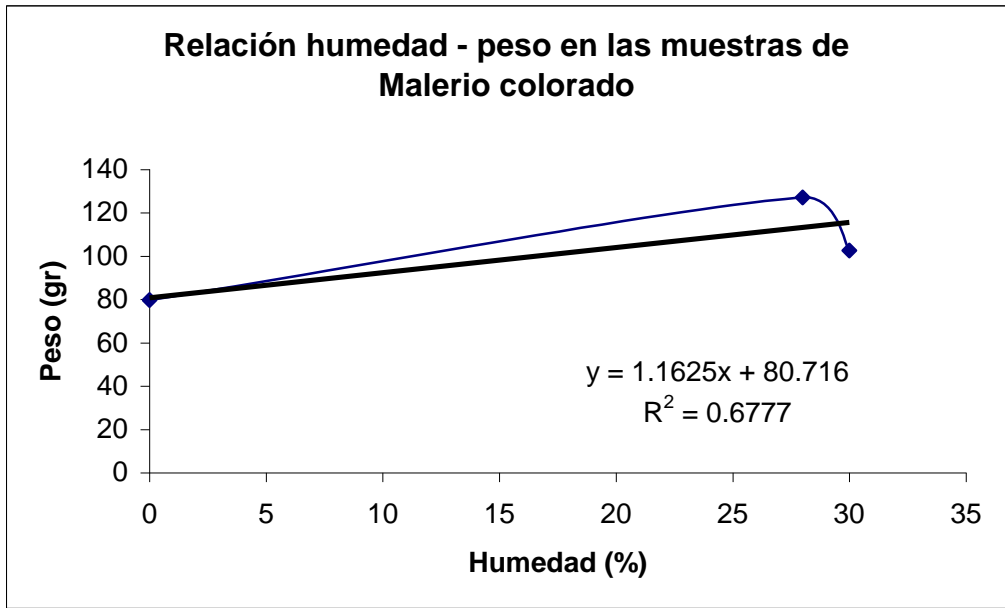
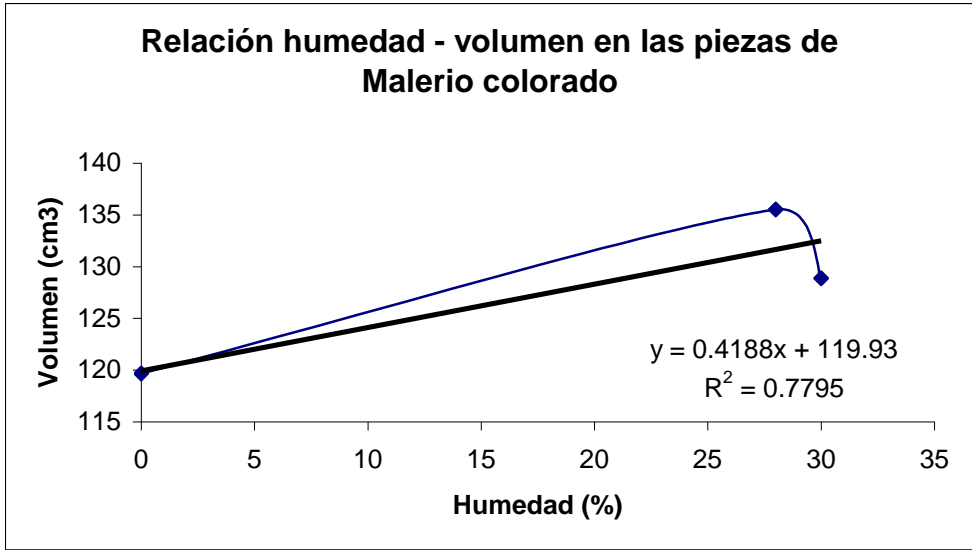


Relación humedad - volumen de las muestras de Amapola

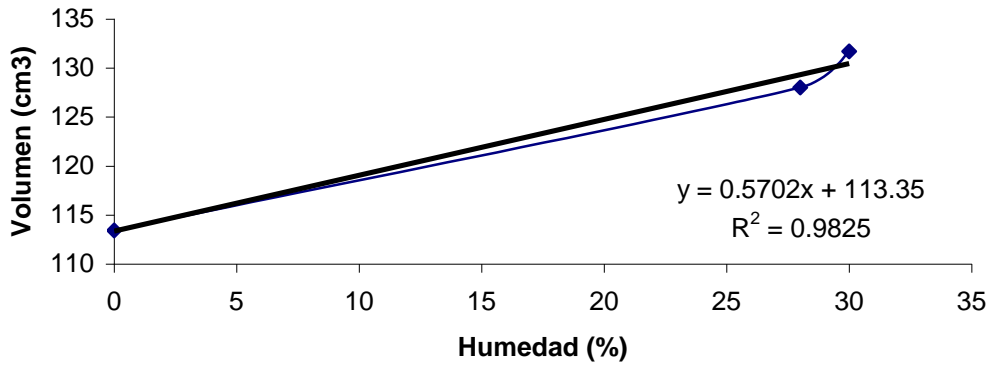


Relación humedad - peso de las muestras de Amapola

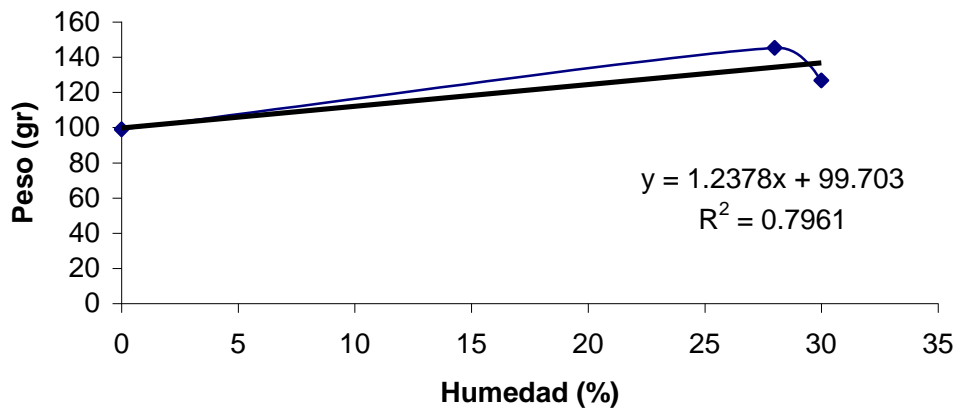


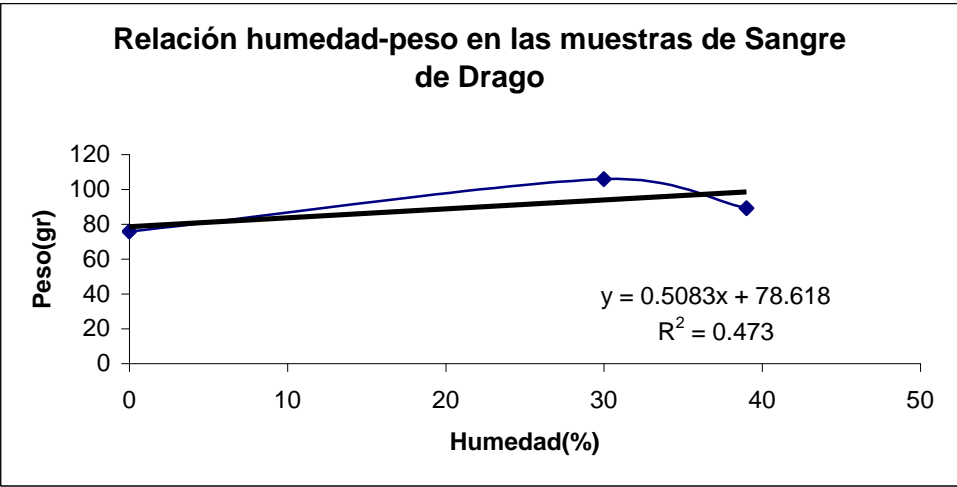
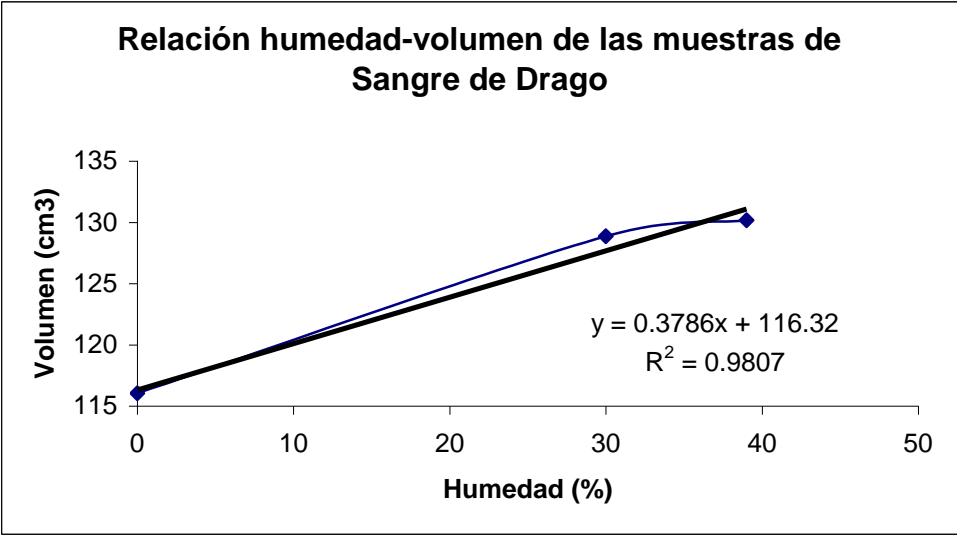


Relación humedad - volumen de las muestras de Cola coche



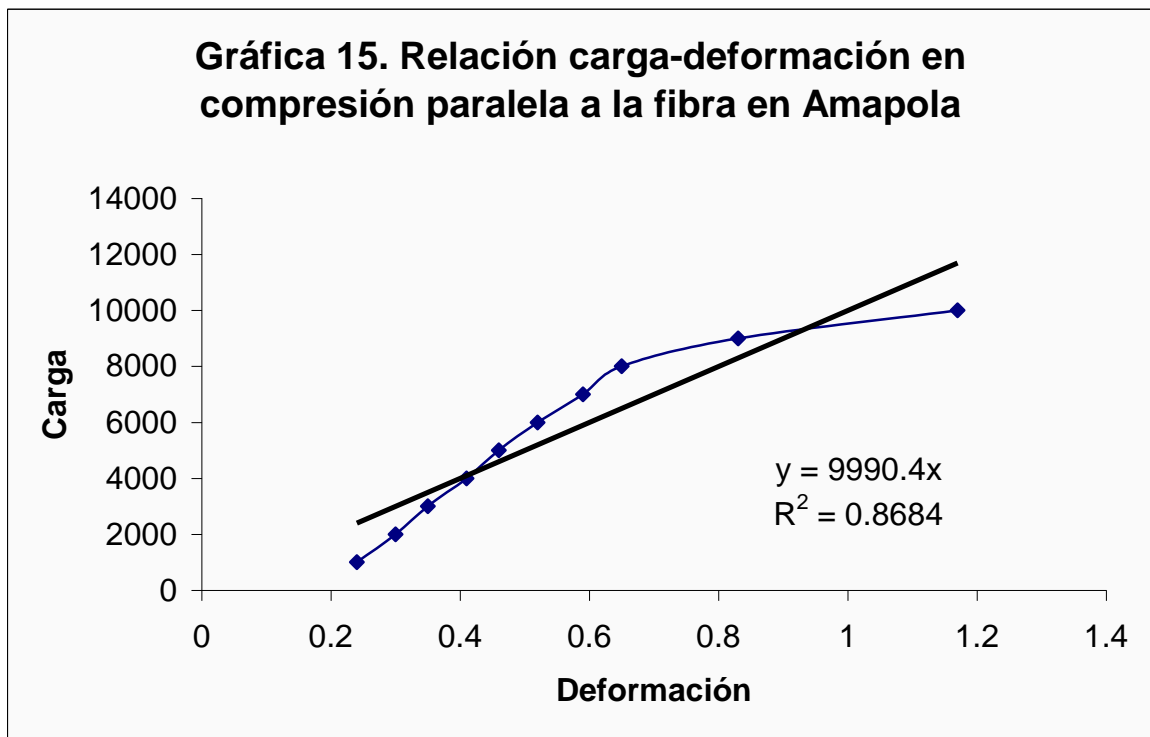
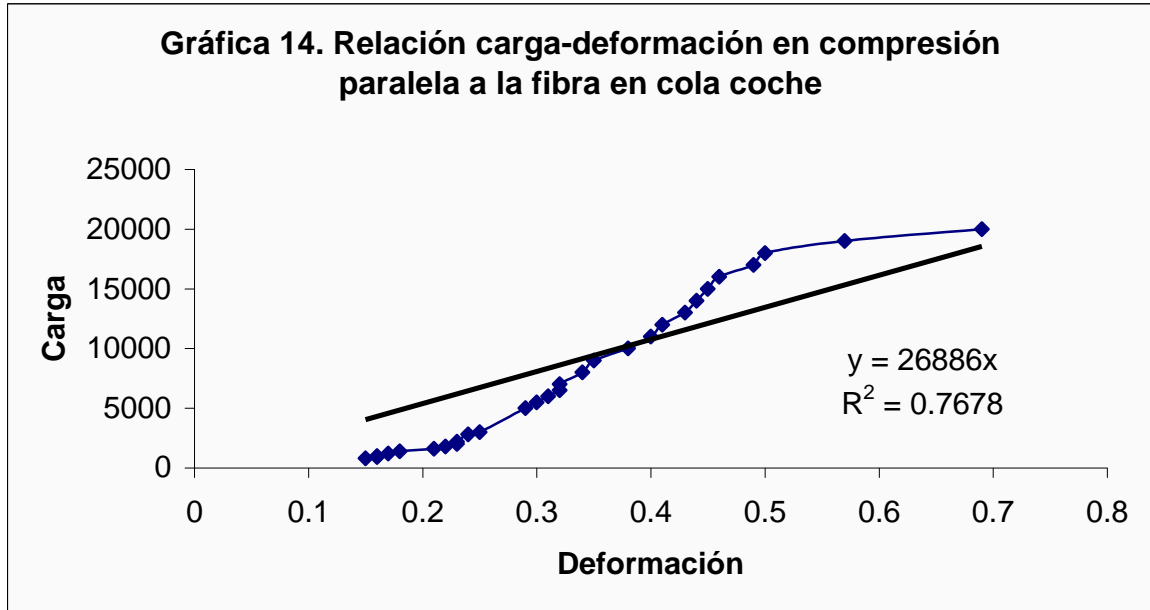
Relación humedad - peso de las muestras de Cola coche



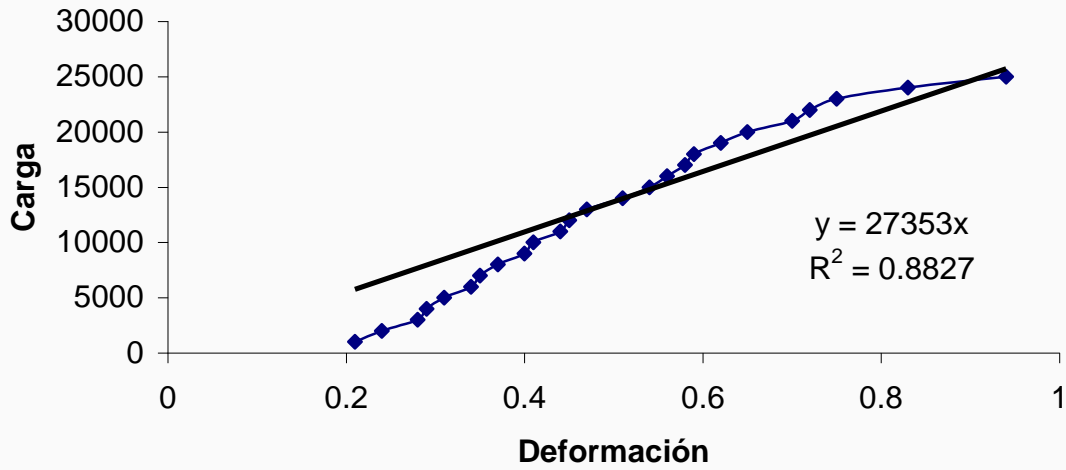


Anexo 2.

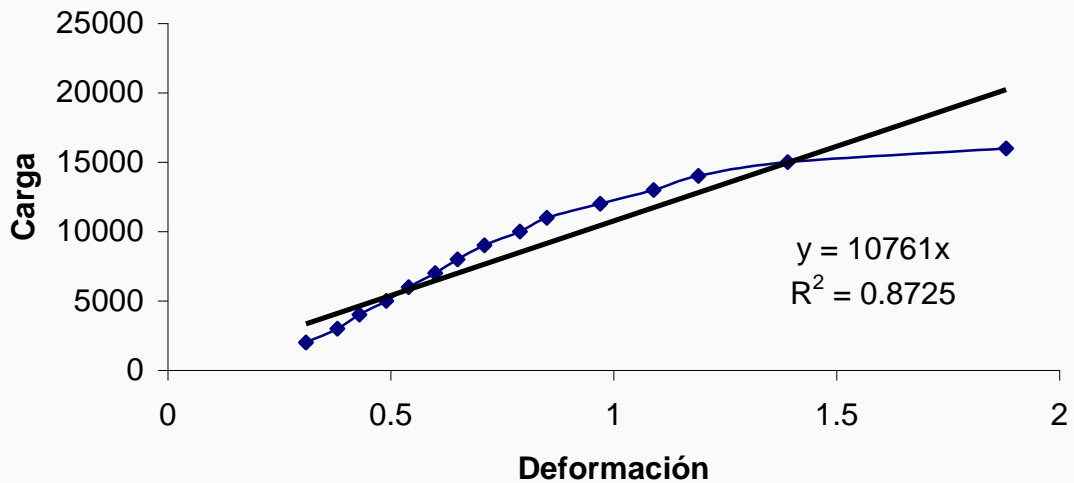
Relación de carga - deformación por especie. El módulo de elasticidad está definido por la pendiente de la gráfica.



Gráfica 16. Relación carga-deformación en compresión paralela a la fibra para Malerio colorado



Gráfica 17. Relación carga-deformación en compresión paralela a la fibra para Chechén negro



Gráfica 5.6 Relación carga-deformación en compresión paralela a la fibra en Sangre de Drago

