



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

DIVISIÓN DE CIENCIAS FORESTALES

**CARACTERÍSTICAS ANATÓMICAS Y PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS
DE LA MADERA DE *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. PROVENIENTE DE
LA PLANTACIÓN "ING. MARIO ÁVILA" EN TEXCOCO, ESTADO DE
MÉXICO**

TESIS

**QUE COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:**

MAESTRO EN CIENCIAS EN CIENCIAS FORESTALES

PRESENTA

IVÓN LÓPEZ PÉREZ

**Junio de 2003
Chapingo, Texcoco, Edo. de México**



DIRECCIÓN ACADÉMICA
DEPTO. DE SERVICIOS ESCOLARES
OFICINA DE EXÁMENES PROFESIONALES



**CARACTERÍSTICAS ANATÓMICAS Y PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS
DE LA MADERA DE *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. PROVENIENTE DE
LA PLANTACIÓN “ING. MARIO ÁVILA” EN TEXCOCO, ESTADO DE
MÉXICO**

Tesis realizada por **Ivón López Pérez**, bajo la dirección del Comité Asesor
indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener
el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN CIENCIAS FORESTALES

DIRECTOR:



M. C. MARIO FUENTES SALINAS

ASESOR:



DRA. AMPARO BORJA DE LA ROSA

ASESOR:



DR. JOSÉ AMADOR HONORATO SALAZAR

AGRADECIMIENTOS

- A Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por el financiamiento otorgado durante mis estudios de Maestría.
- A la División de Ciencias Forestales de la Universidad Autónoma Chapingo por facilitarme las instalaciones del Laboratorio de Tecnología de la Madera y proporcionarme los conocimientos para seguir con mi desarrollo profesional
- Al Campo Experimental del INIFAP San Martinito por las facilidades otorgadas para la realización de las pruebas mecánicas.
- Al M. C. Mario Fuentes Salinas por su asesoría, apoyo y por cada una de sus valiosas sugerencias y observaciones y en la realización de esta investigación.
- A la Dra. Amparo Borja de la Rosa, por su apoyo, asesoría para la caracterización de las propiedades anatómicas y por cada una de sus valiosas sugerencias y observaciones.
- Al Dr. José Amador Honorato Salazar por su apoyo en la realización de las propiedades mecánicas y por sus valiosas sugerencias y observaciones.
- Al señor Francisco por su apoyo brindado en la obtención y preparación del material de estudio.

- Al Dr. David Cibrián Tovar por haberme dado la oportunidad de participar en su equipo de trabajo, además de apoyarme en la reproducción de este trabajo y por ser una gran persona.

DEDICATORIA

Al Ser Supremo por darme la oportunidad de llegar hasta esta parte del camino

A Abel por todo lo que significa para mi y por el apoyo y comprensión que me ha brindado en todos los momentos de mi vida

A Joan por llegar a mi vida y llenarla de alegría

A mis padres Margarita Pérez Hernández y Serafin López Díaz, por todo su infinito cariño, a los que les debo la vida y todo lo que soy.

A mis hermanos Elvia, Rafa, Elena, Lilia, Alma Delia y Edith por todo su cariño y apoyo. En especial a Lilia por todo su apoyo y cuidados brindados hacia mí y mi niño.

A Javier Arcos Roa por su amistad, apoyo y tiempo compartido.

A mis amigos Rey, Victor Bony y Silvia por todos los momentos compartidos.

DATOS BIOGRÁFICOS

Nació el 9 de septiembre de 1976 en San Martín Texmelucan, Puebla. En el período 1982-1988 curso la primaria en la Escuela Ignacio Zaragoza y de 1988 a 1991 estudió la secundaria en la Escuela Telesecundaria Venustiano Carranza en Jilotepec, Ixtacuixtla, Tlaxcala. En el año de 1991 ingresa a la Universidad Autónoma Chapingo donde cursa sus estudios de nivel medio superior y superior, egresando en el año 1998 con el título de Ingeniero Forestal con Orientación en Industrias y presentando el tema de tesis titulado Ecofisiografía y productividad de *Pinus cembroides* Zucc. En "Sierra de Órganos" Municipio de Sombrerete, Zacatecas. En agosto de 2000 inicia sus estudios de Postgrado en la Universidad Autónoma Chapingo en el programa de Ciencias Forestales y en Junio de 2002 a Junio de 2003 participó en el programa de control biológico de la plaga del eucalipto *Glycaspis brimblecombei* mediante el parasitoide *Psyllaephagus bliteus*.

**CARACTERÍSTICAS ANATÓMICAS Y FÍSICO-MECÁNICAS DE LA MADERA
DE *Eucalyptus camaldulensis* DHNH PROVENIENTE DE LA PLANTACIÓN
“ING. MARIO ÁVILA” EN TEXCOCO, ESTADO DE MÉXICO**

RESUMEN

Se evaluaron las características anatómicas macro y microscópicas de la madera de *Eucalyptus camaldulensis* y la variación que existe en la longitud de las fibras respecto al sentido transversal del fuste a la altura de 1.65 m. Se evaluaron propiedades físicas tales como las diferentes densidades, la variación de la densidad básica en sentido transversal del fuste a la altura de 1.65 m, las contracciones parciales y totales, el punto de saturación de la fibra, coeficiente de contracción y la relación de anisotropía. En lo que respecta a las propiedades mecánicas, se evaluó la resistencia a los esfuerzos de flexión estática, compresión paralela y perpendicular a las fibras, cortante, rajado, tensión perpendicular, así como la dureza lateral y transversal. La madera de *E. camaldulensis* presenta porosidad difusa con poros dispuestos en forma oblicua, parénquima difuso, rayos mono y biseriados heterogéneos, las fibras son cortas y sus dimensiones aumentan de la médula a la corteza. El duramen es de color castaño, sin olor característico, sabor amargo y astringente, textura fina e hilo entrecruzado. Es una madera con alta densidad, la cual varía en el sentido transversal del fuste; presenta contracciones altas, además se clasifica como muy dura, poco flexible, muy compresible y poco fisible.

ANATOMICAL, PHYSICAL AND MECHANICAL CHARACTERISTICS OF *Eucalyptus camaldulensis* DEHNH WOOD FROM “ING. MARIO AVILA” PLANTATION IN TEXCOCO, MEX.

SUMMARY

This work was carried out to evaluate the macroscopic and microscopic anatomical characteristics of *Eucalyptus camaldulensis* wood as well as variations in fiber length and basic density with respect to cross-sectional direction of the stem at 1.65 m of height. Partial and total shrinkage, fiber saturation point, shrinkage coefficient and anisotropy relationship were also evaluated. With regard to the mechanical properties, strength tests were performed for static bending, compression parallel and perpendicular to grain, cleavage perpendicular to grain, shear parallel to grain, tension perpendicular to grain, side and end hardness. The wood of *E. camaldulensis* displays diffuse porosity with pores arranged in oblique form diffuse parenchyma, mono-seriate and bi-seriate heterogeneous rays. The fibers of this wood are short and their dimensions increase from pith to bark. The heartwood of *E. camaldulensis* is brown, with a bitter and astringent flavor, fine texture, and interlocked grain. However, it does not have a characteristic scent. This wood has high density, which also varies from pith to bark, displaying high shrinkage values. In addition, it is very hard, inflexible, and fisible with high crushing strength.

ÍNDICE GENERAL

CONTENIDO	Pág.
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. OBJETIVOS.....	2
3. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	3
4. DESCRIPCIÓN DE LA ESPECIE.....	14
5. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	16
5.1. Ubicación.....	16
5.2. Altitud.....	17
5.3. Orografía.....	18
5.4. Hidrografía.....	18
5.5. Suelos.....	18
5.6. Clima.....	19
5.7. Características de la plantación.....	20
6. MATERIALES Y MÉTODOS.....	21
6.1. MATERIALES.....	21
6.1.1. Material de estudio.....	21
6.1.2. Material de laboratorio.....	21
6.2. MÉTODOS.....	22
6.2.1. Metodología de campo.....	22

6.2.2. Metodología de laboratorio.....	26
6.2.2.1. Estudio anatómico microscópico.....	26
6.2.2.2. Estudio anatómico macroscópico.....	27
6.2.2.3. Obtención de los cortes anatómicos.....	27
6.2.2.4. Evaluación de propiedades físicas.....	31
6.2.2.4.1. Contenido de humedad verde.....	32
6.2.2.4.2. Evaluación de las densidades.....	33
6.2.2.4.3. Variación de la densidad en sentido transversal del fuste.....	35
6.2.2.4.4. Contracciones de la madera.....	36
6.2.2.4.5. Punto de saturación de la fibra.....	37
6.2.2.4.6. Coeficiente de contracción volumétrica.....	38
6.2.2.4.7. Relación de anisotropía en las contracciones.....	39
6.2.2.5. Determinación de las propiedades mecánicas.....	40
7. RESULTADOS Y ANÁLISIS.....	50
7.1. CARACTERÍSTICAS ANATÓMICAS.....	50
7.1.1. Características anatómicas microscópicas.....	50
7.1.2. Variación de las dimensiones de las fibras en el sentido transversal del fuste.....	53
7.1.3. Características anatómicas macroscópicas.....	56

7.2. PROPIEDADES FÍSICAS.....	59
7.2.1. Contenido de humedad verde.....	59
7.2.2. Densidad.....	59
7.2.3. Variación de la densidad básica.....	61
7.2.4. Contracciones.....	63
7.2.5. Relación de anisotropía.....	64
7.2.6. Punto de saturación de la fibra.....	64
7.2.7. Coeficiente de contracción volumétrica.....	65
7.3. PROPIEDADES MECÁNICAS.....	66
7.3.1. Flexión estática.....	66
7.3.2. Compresión paralela a las fibras.....	73
7.3.3. Compresión perpendicular a las fibras.....	77
7.3.4. Cortante.....	81
7.3.5. Rajado.....	83
7.3.6. Tensión perpendicular a las fibras.....	84
7.3.7. Dureza Janka.....	85
8. CONCLUSIONES.....	87
9. LITERATURA CITADA	89
10. ANEXOS.....	95

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla No.	Pág.
1. Características anatómicas microscópicas.....	50
2. Características anatómicas macroscópicas.....	56
3. Valores de densidad de <i>Eucalyptus camaldulensis</i>	59
4. Valores de contracción de <i>E. camaldulensis</i>	63
5. Resultados del ensayo de flexión estática realizado para la madera de <i>E. camaldulensis</i> en estado seco.....	66
6. Resultados del ensayo de flexión estática realizado para la madera de <i>E. camaldulensis</i> en condición saturada.....	67
7. Resultados del ensayo de compresión paralela a las fibras realizado para la madera de <i>E. camaldulensis</i> en condición seca.....	73
8. Resultados del ensayo de compresión paralela a las fibras realizado para la madera de <i>E. camaldulensis</i> en condición saturada.....	74
9. Resultados del ensayo de compresión perpendicular a las fibras realizado para la madera de <i>E. camaldulensis</i> en condición seca.....	77

10. Resultados del ensayo de compresión perpendicular a las fibras realizado para la madera de <i>E. camaldulensis</i> en condición saturada.....	78
11. Resultados del ensayo de cortante realizado para la madera de <i>E. camaldulensis</i> en condición seca y saturada.....	81
12. Resultados del ensayo de rajado realizado para la madera de <i>E. camaldulensis</i> en condición seca y saturada.....	83
13. Resultados del ensayo de tensión perpendicular a las fibras realizado para la madera de <i>E. camaldulensis</i> en condición seca y saturada.....	84
14. Resultados del ensayo de dureza Janka realizado para la madera de <i>E. camaldulensis</i> en condición seca y saturada.....	85

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura No.	Pág.
1 Árbol de <i>E. camaldulensis</i>	14
2 Muestra botánica de <i>E. camaldulensis</i>	16
3 Ubicación de la plantación “Mario Ávila”.....	17
4 Plantación “Ing. Mario Ávila”	20
5 Derribo del arbolado.....	23
6 Troceado del arbolado.....	23
7 Aserrado de las trozas.....	24
8 Corte del tablón para obtención de probetas para pruebas mecánicas.....	25
9 Tablones para la elaboración de probetas para ensayos mecánicos en condición seca.....	25
10 Seccionado de la pieza para la obtención de probetas para estudio anatómico y físico	26
11 Ubicación de la toma de muestras para obtención de preparaciones fijas y material dissociado	27
12 Obtención de cortes.....	28
13 Preparación fija de <i>E. camaldulensis</i>	29
14 Material dissociado.....	30

15 Cubos para evaluar la densidad.....	33
16 Volumetreo de probetas.....	34
17 Probeta para el ensayo de flexión.....	40
18 Probeta para el ensayo de compresión paralela a las fibras.....	42
19 Probeta para el ensayo de compresión perpendicular a las fibras..	44
20 Probetas para el ensayo de cortante.....	45
21 Probetas para el ensayo de rajado.....	46
22 Probetas para el ensayo de tensión perpendicular a las fibras.....	47
23 Esfera utilizada en el ensayo de dureza Janka.....	48
24 Dirección de aplicación y planos para la evaluación de dureza Janka.....	49
25 Cortes anatómicos microscópicos de <i>E. camaldulensis</i>	52
26 Variación de la longitud de las fibras en el sentido transversal del fuste.....	53
27 Variación del diámetro de las fibras en el sentido transversal del fuste.....	54
28 Variación del grosor de pared de las fibras en el sentido transversal del fuste.....	55
29 Cortes anatómicos macroscópicos de <i>E. camaldulensis</i>	58
30. Densidad básica de diferentes especies de <i>Eucalyptus</i>	60

31. Variación de la densidad básica en el sentido transversal del fuste.....	61
32. Gráfico carga-deformación para el ensayo de flexión estática en condición seca.....	67
33. Gráfico carga-deformación para el ensayo de flexión estática en estado verde.....	68
34. Flexión estática (MOE) en condición seca.....	69
35. Flexión estática (MOE) en condición verde.....	70
36. Flexión (<i>ELP</i>) en condición seca.....	70
37. Flexión (<i>ELP</i>) en condición saturada.....	71
38. Ensayo de flexión (<i>MOR</i>) en condición seca de diferentes especies de eucaliptos.....	71
39. Ensayo de flexión (<i>MOR</i>) en condición saturada de diferentes especies de eucaliptos.....	72
40. Gráfico carga-deformación para el ensayo de compresión paralela a las fibras en estado seco.....	74
41. Gráfico carga-deformación para el ensayo de compresión paralela a las fibras en condición saturada.....	75
42. Ensayo de compresión paralela (<i>MOR</i>) en condición seca de diferentes especies de eucaliptos.....	76

43. Ensayo de compresión paralela (<i>MOR</i>) en condición saturada de diferentes especies de eucaliptos.....	76
44. Gráfico carga-deformación para el ensayo de compresión perpendicular a las fibras en estado seco.....	78
45. Gráfico carga-deformación para el ensayo de compresión perpendicular a las fibras en estado verde.....	79
46. Ensayo de compresión perpendicular (ELP) en condición seca.....	80
47. Ensayo de compresión perpendicular (ELP) en condición saturada	80
48. Ensayo de cortante (resistencia máxima) en condición seca de diferentes especies de eucaliptos.....	82
49. Ensayo de dureza (lateral) en condición seca de diferentes especies de eucaliptos.....	86

1. INTRODUCCIÓN

En México como en varios otros países, cuando se han establecido plantaciones forestales, tanto de carácter protectorio para evitar la erosión y protección de cuencas así como de carácter comercial para la producción de material celulósico o maderable, generalmente se han utilizado especies de árboles que manifiestan una buena adaptación, resistencia y rápidos crecimientos; en este sentido, las especies del género *Eucalyptus* han manifestado generalmente buenos resultados. Sin embargo, cuando ese arbolado ha llegado a la edad madura o ha alcanzado un porte adecuado para su cosecha, un aspecto importante a considerar respecto a esas especies es la calidad, características y comportamiento a procesos de transformación de la madera para su posible aprovechamiento, para esto es necesario realizar un estudio de las propiedades anatómicas y físico-mecánicas, entre otros, de la especie de interés.

En lo que se refiere al género *Eucalyptus*, una de las especies más distribuidas en México es el *Eucalyptus camaldulensis*, la cual se ha establecido en plantaciones comerciales, protectorias y ornamentales; en este sentido, en 1960 en los terrenos de la entonces Escuela Nacional de Agricultura, ahora Universidad Autónoma Chapingo, ubicados en la zona suroeste del municipio de Texcoco, Edo. de México se estableció la plantación protectoria denominada "Ing. Mario Ávila" con especies de *Eucalyptus camaldulensis*, *E. resinifera*, *Pinus michoacana* y *P. montezumae* con el propósito de detener la erosión y permitir la recarga del manto freático de la zona. Actualmente por los problemas

suscitados por la plaga conocida como la conchuela del eucalipto está presentándose una significativa disponibilidad de madera a la que darle el mejor aprovechamiento y uso, es por eso que se consideró conveniente hacer el estudio tecnológico de la madera de esta especie, el cual permitió conocer tanto las características anatómicas así como las propiedades físico-mecánicas de esa madera, y así contar con la información básica para su posible utilización.

2. OBJETIVOS

- Determinar las características anatómicas y propiedades físico-mecánicas de la madera de *Eucalyptus camaldulensis* proveniente de plantaciones forestales protectivas.
- Determinar la posible variación de las dimensiones de las fibras y densidad básica en el sentido transversal del fuste.
- Generar la información básica para la posible transformación y utilización de la madera de esta especie.

3. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

Gondelles (1954) realizó un viaje a Australia con el fin de recaudar información sobre el género *Eucalyptus* y en su informe indicó que en Australia el *Eucalyptus camaldulensis* era la especie más extensamente distribuida, pues aparece en casi todos los estados aunque su ubicación principal es a lo largo del río Murray y en sus tributarios y en las tierras bajas del Suroeste de Victoria; menciona que los eucaliptos son aserrados predominantemente para fines de construcción ya que la densidad y dureza de muchos de ellos constituyen una desventaja para las manufacturas; sin embargo, la madera de los eucaliptos más pesados son usados para revestimiento de pisos como un subproducto. Indica que las especies utilizadas para pulpa son todas de color claro, de densidad básica de baja a mediana y libres relativamente de las llamadas “venas gomosas”, las que junto con los kinos (gomas) son responsables de los resultados insatisfactorios obtenidos en la preparación de la pulpa con bisulfito de calcio; particularmente, estos últimos no se disuelven en el reactivo y permanecen en la pulpa como manchas negras. Menciona que la madera de baja densidad produce fibras de paredes celulares delgadas las cuales se desprenden fácilmente al aislarse y presentan una buena apariencia, en tanto que aquéllas paredes celulares gruesas mantienen su estructura tubular; las fibras tubulares producen papel de gran volumen y baja resistencia.

Reporta que la densidad verde de la madera es de 1.2 g/cm^3 y de 0.89 g/cm^3 a 12 % de contenido de humedad, también que esta madera es muy poco resistente y medianamente dura.

El autor comenta que la madera de reacción, es el nombre con que se distingue una de las anormalidades más comunes en las maderas de eucaliptos que ocurre en el lado superior de los troncos y ramas; y que la presencia de esta condición es sin duda una de las causas principales que dificultan la transformación y utilización adecuada de estas maderas y se caracteriza por poseer mayor contracción longitudinal y ser más densa que la madera corriente y también más quebradiza. Indica que anatómicamente se caracteriza por la presencia de fibras gelatinosas y aparte de las desventajas relativas a la mayor contracción longitudinal y baja resistencia mecánica, la madera con la condición anterior sufre al secarse el fenómeno de colapso y es también muy quebradiza.

Continúa mencionando que en los eucaliptos al igual que en otras especies, se producen cambios en las dimensiones de las células durante los primeros 15 años y que mediante trabajos de laboratorio, se han determinado los resultados de tales cambios en *Eucalyptus gigantea* y *E. regnans* y también se han establecido correlaciones de interés entre la longitud de la fibra y las propiedades de la madera.

En general dice que los cambios en la longitud de las fibras dan lugar a modificaciones de las propiedades y que los cambios en las dimensiones de la

célula ocurren no sólo en las primeras etapas de la vida del árbol, sino también en años subsiguientes, a consecuencia del aumento en el crecimiento radial, originado por las variaciones en las condiciones de crecimiento. También menciona que el aumento del crecimiento en diámetro va acompañado por una disminución en la longitud de la fibra, y ello da lugar a variaciones en las propiedades físico – mecánicas, lo que a su vez puede dar origen a problemas en la utilización de la madera.

Maingieri et al. (1961) mencionan varios aspectos de los eucaliptos de Argentina y reportan al *E. camaldulensis* como madera de color rojizo, que se oscurece a medida que permanece a la intemperie, dura y pesada, que presenta un buen veteado con fibras entrelazadas y de textura compacta. Indica que es de relativa resistencia al contacto con el suelo y que está incluida en la segunda clase de maderas australianas por su durabilidad.

Mencionan que los eucaliptos producen excelente postes para instalación de líneas aéreas de teléfono, telégrafo, alta tensión, alambrados, etc, y que de acuerdo a la durabilidad los australianos han clasificado a las especies de eucaliptos utilizados en la elaboración de postes en categorías desde muy durables a menos durables.

Índican que el grado de durabilidad de las especies esta relacionada con la resistencia del duramen y a la acción de los hongos y al ataque de insectos, siendo la primera en un 80% la causa principal de la destrucción de los postes,

correspondiendo el porcentaje restante a insectos, humedad, aire, propiedades mecánicas. Comentan que en la actualidad se utilizan postes tratados previamente con sustancias preservadoras y que en *E. camaldulensis* la albura es fácil de impregnarse, no así el duramen. También mencionan que los muebles de tipo rústico fabricados con esta madera tienen buen acabado y presentación, recordando mucho al cedro (*Cedrella sp.*)

Continúan indicando que en Brasil se fabrica carbón con destino a las plantas siderúrgicas, utilizando las especies que poseen mayor densidad como *E. camaldulensis*, *E. tereticornis*, y *E. robusta*, y que la carbonización realizada en recipientes adecuados, da lugar además, a la obtención de ácido piroleñoso, del cual puede extraerse alcohol metílico, ácido acético y alquitrán.

Reportan la densidad verde de la madera de 1.19 g/cm^3 y que al secarse es propensa a sufrir colapso lo cual puede eliminarse por medio de vapor. Generalmente tiene cierta tendencia a torcerse debido a su grano oblicuo, originando alabeos en las tablas, para evitar este inconveniente, se colocan separadores a menores distancias. El uso que se le da es principalmente para durmientes, puentes, postes telegráficos, pilotes y adoquines.

Flores (1962), reporta al *E. camaldulensis* Dehnh como sinónimo de *E. rostrata* Schlecht, originario de Australia Occidental, Victoria y Queensland y lo describe como un árbol de 20 a 50 m de altura, con corteza lisa a placas. En lo que se refiere a su madera, la describe de color rojo, con grano entrelazado, muy

durable y resistente a las termitas pero también tiende a torcerse durante el proceso de secado. La albura es blanco-rojiza o pardusca, el duramen es rojizo y los anillos anuales son poco perceptibles. Indica que los vasos son individuales y a menudo dispuestos en líneas diagonales con distribución uniforme, rayos heterogéneos, mono o biseriados, parénquima longitudinal abundante, paratraqueal difuso; una longitud media de las fibras de 0.81 mm. Reporta un contenido de humedad verde de 108% y una densidad verde de 1.05 g/cm³, una densidad básica de 0.50 g/cm³ y una densidad al 15% de contenido de humedad de 0.76 g/cm³ y una resistencia a la compresión axial de 522 kg/cm².

Fierros (1978) reporta que el género *Eucalyptus* fue introducido a México a fines del siglo XIX, cuando los agricultores europeos trajeron las primeras semillas a Córdoba, Ver., extendiéndose rápidamente en todo el país, debido a su gran adaptabilidad y rápido crecimiento. El mismo autor indica que a principios del siglo pasado, el naturalista Miguel Ángel de Quevedo realizó las primeras reforestaciones en los bordes del Gran Canal y Río Churubusco, utilizando *Eucalyptus resinifera*

Bustamante et al. (1983). Realizaron una investigación sobre aptitudes de varias especies de eucalipto como materia prima celulósica. De la revisión bibliográfica, llegaron a la conclusión de que existe una manifiesta heterogeneidad entre los diferentes valores encontrados para diferentes muestras de una misma especie pero de distinta procedencia. Estas

discrepancias las atribuyen en parte al comportamiento de las muestras ante las variables edafológicas y climáticas en las que se desarrollan los árboles y a la diferencia de las edades de éstos. Por ejemplo, indican que para *E. globulus* pueden apreciarse valores de densidad comprendidos entre 470 kg/m³ para muestras de árboles de 8 años y de 630 kg/m³ para los de 26 años; el mismo *E. globulus* alcanza en algunas zonas de Australia densidades de 737 kg/m³. En el *E. camaldulensis* en árboles de la misma edad, crecidos en la Península Ibérica se han encontrado densidades que oscilan entre 550 y 650 kg/m³ y menciona que en la bibliografía se citan valores de 530 kg/m³ en la Florida y 724 kg/m³ en Transval, para árboles de 10 años de edad en ambos casos.

Estos autores reportan algunas características para maderas de Eucaliptos, en este caso solo se mencionan las de *E. camaldulensis* y *E. globulus* que son las especies más plantadas y distribuidas en el mundo (Cuadro 1).

Cuadro 1. Características de dos especies de eucalipto, reportadas por Bustamante et al. (1983)

Especie	Densidad básica (kg/m ³)	Fibras		
		Longitud media (μ)	Anchura media (μ)	Espesor de pared (μ)
<i>E. camaldulensis</i>	550	810	16	4.20
<i>E. globulus</i>	550	1050	19	4.20

Montoya (1995) realizó una revisión sobre los eucaliptos en España y reporta que la madera de *E. camaldulensis* es dura y semipesada, de color pardo rojizo moderado, con vetas de color más intenso, muy homogénea, textura fina y grano fino, poros pequeños no visibles a simple vista. Se agrieta al secarse, lo cual es un inconveniente para su uso en la sierra. Se usa para pilotes, estacas y postes. Madera muy duradera para elaborar un parquet de alta duración y calidad. Por su homogeneidad y grano fino admite un buen pulido. La longitud media de las fibras es de 85 mm y 16 micras de anchura. Se obtiene chapa desenrollada plana.

Gonzalo (2001) evaluó las características físico-mecánicas en madera juvenil y madura de tres especies de *Eucalyptus*.; utilizó árboles de madera adulta y juvenil de las especies *E. nitens*, *E. regnans* y *E. globulus*. La madera fue sometida al procedimiento establecido por la norma ASTM D-143 con el fin de evaluar el comportamiento físico mecánico a cuatro distintos niveles de altura (0, 25, 50 y 75%). Evaluó las propiedades de flexión estática, dureza Janka, compresión paralela y perpendicular a las fibras; además el contenido de humedad al momento del ensayo y la densidad básica. En todos los ensayos y para todas las especies, se obtuvieron mayores densidades y un mejor comportamiento mecánico de la madera madura respecto a la juvenil.

En general, en todas las especies, el comportamiento frente a los distintos esfuerzos fue mayor en madera madura que en juvenil. Lo anterior se repitió en términos de la densidad básica; los valores más altos fueron para *E. globulus*

(525 a 554 kg/m³ en madera madura y 447 a 461 kg/m³ en juvenil), seguido de *E. nitens* (461 a 492 kg/m³ en madera adulta y 409 a 466 en juvenil) y por último *E. regnans* (401 a 463 kg/m³ en madera madura y 384 a 427 kg/m³ en juvenil); sin embargo, los resultados de los distintos ensayos arrojaron los mejores resultados en flexión para *E. regnans*, en compresión paralela y perpendicular el *E. nitens* y en dureza el *E. globulus*. Encontró que a medida que aumenta la altura, las propiedades tienden a mejorar; sin embargo, *E. globulus* presentó en el último estrato una disminución de la densidad y por ende de las propiedades, tanto en juvenil como en madura.

Miller et al. (2001) recopilaron información de las características, propiedades y usos de cientos de maderas del mundo, entre las cuales se encuentran 22 especies del género *Eucalyptus* sp. En el apartado de resultados se hace una comparación de la información de los eucaliptos reportada por de estos autores y la generada en la presente investigación.

Ona, et al. (2001) estudiaron la relación que existe entre las células que constituyen la madera y las propiedades de la pulpa para papel en *Eucalyptus camaldulensis* y *E. globulus*. Las células consideradas fueron rayos, parénquima axial, grosor de pared celular y porcentaje de las paredes celulares. Estos autores encontraron que los rayos y el parénquima axial (proporciones y grosor de pared celular) tuvieron una influencia significativa sobre las propiedades de la pulpa, incluyendo las propiedades de resistencia del papel. Ellos concluyen que los tipos de células son importantes para predecir las

propiedades de la pulpa y recomiendan que en los estudios de eucaliptos se realice la medición de todos los tipos de células.

Aldea Forestal (2002) en esta fuente se indica que *E. camaldulensis* se considera una especie multipropósito debido a la amplia gama de usos y productos que se pueden obtener a partir de su aprovechamiento y reporta que se utiliza en la formación de cortinas rompevientos en las zonas con ocurrencia de fuertes vientos, sirve para el control de la erosión eólica, generalmente se encuentra asociado con otras especies de menor tamaño. También se utiliza en la estabilización de riveras, especialmente para la protección de áreas agrícolas. Menciona que sus usos medicinales son amplios y variados, que posee amplias propiedades antisépticas, balsámicas, astringentes, anestésicas, entre otras. Los aceites esenciales contenidos en su follaje son demandados para perfumería. Sus hojas también son utilizadas como pesticidas orgánicos. De las flores se obtiene miel de excelente calidad, de color pálido, con sabor suave y agradable.

La corteza y la madera contienen entre un 10-13% de taninos y gomas llamados "Kino" con alto contenido de taninos, alrededor de 50-75%. El "Kino" es utilizado con fines medicinales e industriales. Reporta que esta madera tiene gran potencial como leña, su poder calorífico es de aproximadamente 20 KJ/kg (4.800 kcal/kg); la madera es de color rojizo, muy dura y densa, y menciona que es adecuada para la fabricación de durmientes, postes, vigas, pilares, tablonés de puentes y en la construcción de embarcaciones debido a su dureza

y durabilidad. Se menciona que no es una especie muy recomendada para la producción de pulpa debido al color oscuro de la madera, por lo que requiere de un proceso de blanqueo muy intenso y costoso y que en Chile esta especie no es muy demandada para estos productos, dado que por lo general no presenta una forma adecuada para esos usos, sin embargo, con los avances técnicos referentes a la selección de procedencia y progenies de individuos que presentan fustes rectos e interesantes crecimientos, este problema se ha subsanado.

Aeroparquet (2003) esta cita reporta la madera de *E. camaldulensis* con color rojizo e indica que no existe mucha diferencia entre albura y duramen y que sin embargo, el duramen se torna más oscuro al envejecer. También menciona que esta especie se clasifica dentro de las maderas semipesados a pesadas porque tiene una densidad básica de 0.74 g/cm^3 , es una madera difícil de mecanizar y trabajar en casi todas las operaciones (aserrado, clavado, atornillado, encolado); posee un grano fino y se utiliza en la fabricación de tablilla de lamparquet y en menor medida en la fabricación de tarima.

De acuerdo a la revisión de bibliográfica *E. camaldulensis* es una especie que presenta una gran variabilidad en sus propiedades, ya que por ejemplo, la densidad básica varía desde 0.5 g/cm^3 (Flores, 1962) hasta 0.724 g/cm^3 (Bustamante, 1983); esta variación es ocasionada por cambios en la estructura anatómica de la madera, lo cual da como resultado que las demás propiedades también cambien. Las dimensiones de longitud, anchura y espesor de pared de las fibras según Bustamante *et al.* (1983) son 810, 16 y 4.2μ respectivamente. Gondelles (1954) reporta que las fibras de *E. camaldulensis* son gruesas y presentan gomas, lo que ocasiona problemas en la calidad del papel. En esta revisión se encontraron también los usos que se le da a la madera de esta especie y Gondelles (1954) menciona que la alta densidad y dureza de la madera ocasionan una desventaja en la manufactura de la misma, sin embargo, más que una desventaja puede considerarse como una ventaja, ya que su alta densidad ocasiona también que tenga una mayor resistencia mecánica lo cual permite que pueda ser utilizada en postes, pilotes, muebles, parquet de alta duración (Montoya, 1995). Miller *et al.* (2001) reportan valores las propiedades mecánicas de la madera de los cuales aquí solo se hace mención de algunos como el MOE en el ensayo de flexión estática en condición seca que es de 114 kg/cm^2 (1000); el valor del ensayo de compresión paralela (MOR) en condición seca es de 557 kg/cm^2 , el de compresión perpendicular (ELP) es de 117 kg/cm^2 , la resistencia máxima al esfuerzo de cortante es de 156 kg/cm^2 y la dureza lateral en condición seca es de 982 kg/cm^2 .

4 DESCRIPCIÓN DE LA ESPECIE

Eucalyptus camaldulensis Dehnh es sinónimo de *Eucalyptus rostrata* Schlecht (Eucalipto rojo); pertenece a la familia Mirtáceas. Es un árbol de 20 a 50 m de altura, originario de Australia Occidental, Victoria y Queensland. Tiene un tronco liso y de color gris o marrón claro, que muestra un aspecto manchado ocasionado por los muchos fragmentos de corteza que se le caen (Figura 1) (Mangieri *et al.* 1961).



Figura 1. Árbol de *E. camaldulensis*
(Foto tomada de 1 árbol seleccionado)

Las hojas juveniles son más anchas que las adultas, opuestas y más generalmente alternas, pecioladas. Las adultas son alternas (Figura 2), péndulas, generalmente falcadas, largamente acuminadas o bien oblongo-lanceoladas, verdes, poco perfumadas; miden 10 a 23 cm de largo; la

nervadura media es bien notable en ambas caras de la hoja, mientras que las laterales son poco prominentes, divergiendo en 45° con respecto a la central; las nervaduras terciarias están anastomosadas, la submarginal es perfectamente visible; los pecíolos son cilíndricos amarillos, de 1 a 2 cm de largo. Las flores son blanquecinas, pequeñas, dispuestas en umbelas axilares de 3 a 25 flores, generalmente más de 8, con pedicelos largos y cilíndricos y el raquis o eje de la umbela no aplanado, de 1 a 3 cm de largo. Los estambres, todos fértiles, tienen los filamentos doblados en el botón floral; las antenas ovoides, tienen las tecas paralelas, de dehiscencia longitudinal, con el conectivo provisto de una glándula subapical. Los frutos son hemisféricos, de 5 a 7 mm de diámetro, con el reborde convexo y bien notable, con 3 a 5 valvas triangulares exsertas. Las semillas son pequeñas, angulosas, de color amarillo dorado, lisas, brillantes, las estériles más oscuras y angostas (Mangieri *et al.* 1961).

Sus raíces llegan a alcanzar los 25 m de profundidad, extendiéndose también en un ancho espacio alrededor del árbol, por lo que se benefician tanto del agua de las capas más profundas de la tierra como de la llovizna superficial. Sus raíces acumulan mucha agua, para así poder aguantar períodos de sequía. (Mangieri *et al.* 1961).



Figura 2. Muestra botánica de *E. camaldulensis*. A. Foto tomada de una de las muestras boánicas colectadas. B. Imagen tomada de Mangieri (1961)

5 DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO (Tomada de Ramírez, 1977)

5.1 UBICACIÓN

La plantación de donde se tomo el material para el presente trabajo se conocía antiguamente como Tenochtepec y actualmente se conoce como Plantación “Ing. Mariano Ávila”; esta plantación pertenece a la Universidad Autónoma Chapingo, su superficie es aproximadamente de 44 has y fue establecida en los años 1960, 1961 y 1962; las especies utilizadas fueron *Eucalyptus camaldulensis*, *E. resinifera*, *Pinus michoacana* y *P. montezumae*.

Se localiza en el municipio de Texcoco, estado de México, al oriente del poblado de San Luis Huexotla. El camino principal de acceso a Huexotla parte del km 37.5 de la carretera México- Texcoco. La plantación se localiza geográficamente entre los paralelos $19^{\circ} 27' 58''$ y $19^{\circ} 28' 27''$ Latitud Norte y $98^{\circ} 51' 14''$ y $98^{\circ} 51' 45''$ de Longitud Oeste (Fig. 3)



Figura 3. Ubicación de la plantación “Mario Ávila”

5.2 ALTITUD

La altitud varía de 2300 a 2340 m con un promedio de 2320 m y una pendiente media de 6 %. La exposición predominante es la zenital y levemente Norte y Noroeste.

5.3 OROGRAFÍA

El predio está enclavado en las estribaciones occidentales de la Sierra Nevada o Sierra del Río Frío, en el límite oriental de la Cuenca del Valle de México. Las elevaciones importantes de este sistema orográfico son los cerros llamados Telapón, Tlalóc, Tecorral, Carda del Diablo, El Huxto, La Mesa y Cocotl. La Sierra Nevada a su vez forma parte del eje Neovolcánico.

5.4 HIDROGRAFÍA

El escurrimiento natural de la zona es hacia el Norte y Oeste. Las corrientes fluviales principales son al Sur el Río San Bernardino, al Norte el Arroyo Olipatlán. Este último es un afluente del primero al que se une a 1.5 km al Oeste de la plantación. El Río San Bernardino al igual que todos los de la región desaguan en el lecho del Lago de Texcoco.

5.5 SUELOS

El material de los suelos está formado por material cinerítico procedente de las cenizas del antiquísimo volcán Tlalóc, que descansan sobre rocas metamórficas. Según la descripción general, los suelos de la zona pertenecen a la Serie Coatlinchán, arena migajosa, somera. Son suelos con un estrato superficial que varía de 10 a 30 cm, son de color gris muy oscuro, textura arena migajosa; por debajo del cual se encuentra un estrato sementado de color pálido, con costras blancas de 2 mm de espesor, las cuales reaccionan fuertemente al ácido clorhídrico. Son suelos con baja capacidad de retención de

humedad, medianamente ricos en materia orgánica, con grave peligro de erosión.

5.6 CLIMA

Según la clasificación de Koppen, modificada por García el clima es C(w₀) (w) b (i). El tipo de clima establecido por Cachón es el que se acepta y corresponde a un clima subhúmedo, con precipitación media anual de 700 mm, régimen de lluvias en verano, temperatura media anual entre 12° y 18°C y con una oscilación de las temperaturas medias mensuales menor de 5°C. (Ramírez, 1977)

En la zona se presentan vientos dominantes del Noreste y Sureste alternándose durante el año. Los vientos alcanzan velocidades de 3.6 y 5.3 m/seg presentándose con velocidad máxima de 9.4 m/seg en los meses de febrero y marzo. La ocurrencia de heladas es de octubre a febrero, aunque es variable. Ocasionalmente se presentan granizadas de mayo a septiembre.

5.7 CARACTERÍSTICAS DE LA PLANTACIÓN

En 1975, Ramírez realizó un estudio dasométrico de la plantación (Figura 4), determino la supervivencia, diámetro, altura y volumen a espaciamientos de 2.0, 2.5 y 3.0 m de las especies utilizadas. De este estudio resulto que los eucaliptos presentaron una supervivencia y altura muy superior a la de los pinos; y los pinos, tuvieron un mayor desarrollo en diámetro, sin embargo, en lo que se refiere al volumen, el *E. camaldulensis* mostró un mayor valor en el espaciamiento de 3.0 m. De las especies probadas, las que mejor se adaptaron fueron los eucaliptos ya que tuvieron mayor supervivencia y mayor altura y algunas de sus intersecciones el mayor volumen.



Figura 4. Plantación “Ing. Mario Ávila”

6. MATERIALES Y MÉTODOS

6.1. MATERIALES

6.1.1. Material de estudio

En la plantación “Ing. Mario Ávila” en Texcoco, Estado de México, se seleccionaron 3 árboles sanos, no bifurcados, con un diámetro de 39, 41 y 41 cm, altura de fuste limpio de 9, 10.95 y 7.45 m y altura total de 19, 22.35 y 19.45 m respectivamente.

6.1.2. Material de Laboratorio

Para determinar las características anatómicas se utilizó microscopio, xilotomo, lupa de 10x, reactivo. Para montar los cortes se utilizó: alcohol al 96%, alcohol al 99%, xilol, resina Entellan, pinzas, aguja de disección, portaobjetos, cubreobjetos, tijeras y cajitas de cristal.

Para evaluar las propiedades físicas se utilizó una balanza analítica, vasos de precipitado, agujas de disección, vernier y estufas de laboratorio. Este material pertenece al Laboratorio de Anatomía de la Madera de la División de Ciencias Forestales.

Los ensayos mecánicos se realizaron en el Campo Forestal Experimental San Martinito, del INIFAP, ubicado en San Martinito, Tlahuapan, Puebla. Se utilizó una máquina universal Thinius-Olsen con capacidad de 27.2 Ton. y sus diversos aditamentos.

6.2. MÉTODOS

6.2.1. Metodología de campo

Antes del derribar los árboles, se marcaron y se tomaron muestras botánicas de 12 árboles con el fin de tener la seguridad de que era la especie de interés. Cabe aclarar que la superficie plantada de *Eucalyptus camaldulensis* solo fue de 5 ha. Una vez identificados los árboles de *Eucalyptus camaldulensis*, se procedió a seleccionar a 3 de ellos, es decir que se realizó un muestreo selectivo ó dirigido y lo que se tomo en cuenta fue su conformación de fuste recto, sanos, sin defectos, sin bifurcaciones ni deformes con la finalidad de poder obtener la mayor cantidad de material de estudio (mayor número de probetas); los árboles seleccionados tenían diámetros de 39, 41 y 41 cm y un fuste limpio de 9, 10.95 y 7.45 m respectivamente. No se presenta una distribución de diámetros debido a que no se realizó un muestreo aleatorio. Se registraron todas las características de cada árbol, tales como altura total, diámetro, conformación y características de la copa. Así mismo se levantaron datos de las características principales del terreno en donde se encontraba el árbol. De cada uno de los árboles derribados se colectaron 5 muestras botánicas, las cuales fueron enviadas al Herbario de la División de Ciencias Forestales de la Universidad Autónoma Chapingo, para su identificación y su registro

Seleccionados los árboles, se procedió a derribarlos, desramarlos y trocearlos; las trozas se cortaron a partir de los 30 cm de la base con una longitud de 1.65 m (Fig. 5 y 6), después de cada troza se cortó una rodaja de 5 cm de grosor. De cada árbol resultaron diferente número de trozas, esto fue en función de su altura y de su conformación; del árbol 1 se cortaron 8 trozas, del árbol 2, 6 trozas y del árbol 3, 4 trozas; en total resultaron 15 trozas de 1.65 m de longitud. Posteriormente cada troza fue aserrada como se ilustra en la figura 7.



Figura 5. Derribo del arbolado



Figura 6. Troceado del arbolado

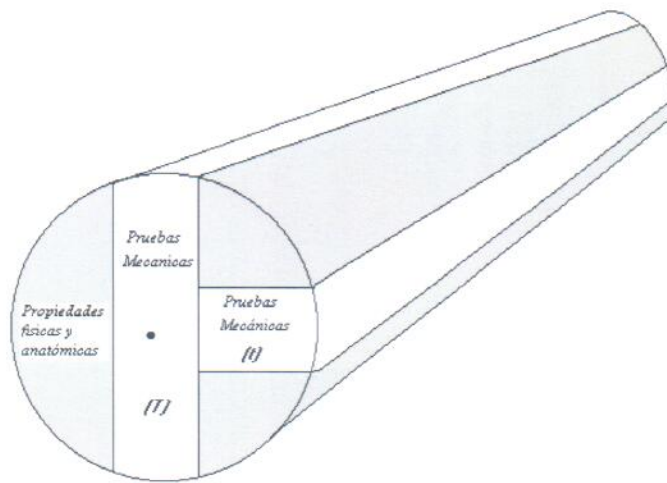


Figura 7. Aserrado de las trozas

Para la obtención de probetas con cortes típicos, del centro de la troza se obtuvo un tablón (T) de 7 cm de ancho; de una mitad se obtuvo una tabla (t) de 7 cm de ancho, y la otra mitad restante se seccionó como se ilustra en la figura 10.

El tablón (T) se cortó a la mitad pasando por la médula como se ilustra en la figura 7 y posteriormente se cortó a la mitad de su longitud, quedando piezas de 82.5 cm de longitud. La mitad de esas piezas fueron destinadas para realizar las pruebas mecánicas en verde y la otra mitad para pruebas mecánicas en seco (Figura 8 y 9).

Cabe aclarar que en general, se tuvo una mayor cantidad de duramen, la albura representó aproximadamente sólo un 25% del total (Ver figura 5 y 6).

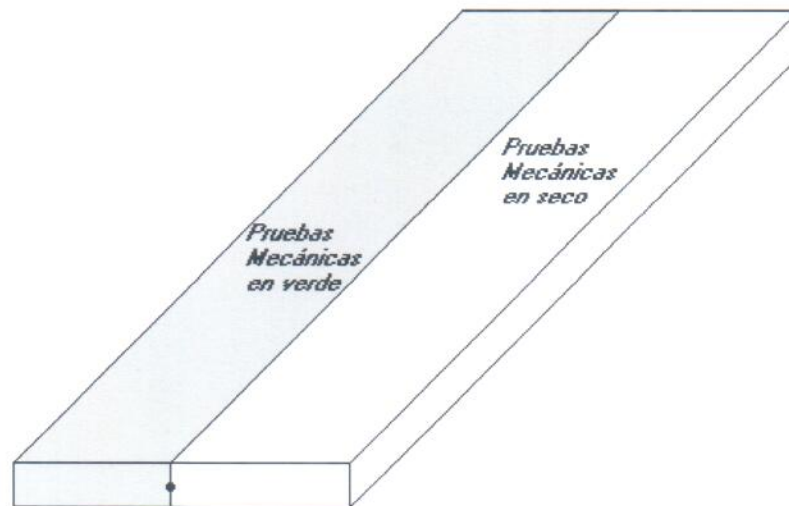


Figura 8. Corte del tablón para obtención de probetas para pruebas mecánicas



Figura 9. Tablones para la elaboración de probetas para ensayos mecánicos en condición seca

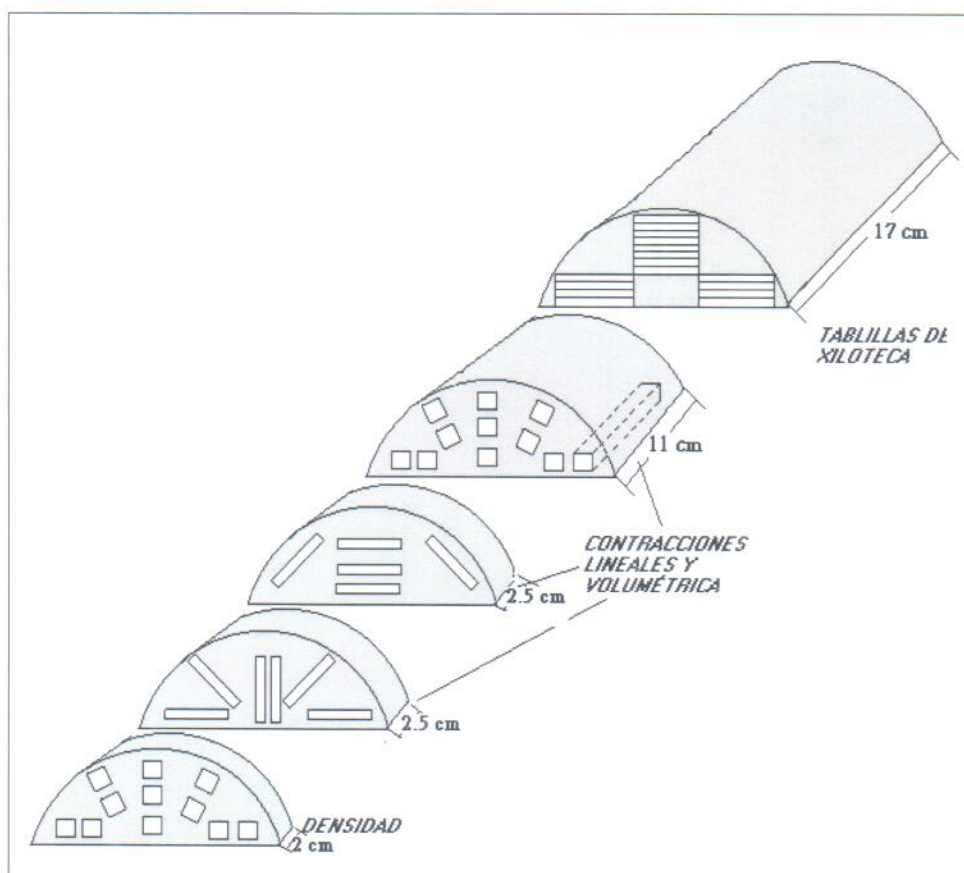


Figura 10 Seccionado de la pieza para la obtención de probetas para estudio anatómico y físico

6.2.2. Metodología de Laboratorio

6.2.2.1. Estudio Anatómico Macroscópico. Se utilizaron tablillas de dimensiones 1 * 7 * 15 cm de los tres cortes típicos (longitudinal radial, longitudinal tangencial y transversal), en las cuales se realizaron observaciones a simple vista y además con la ayuda de una lupa de 10X. Las características a observar y determinar fueron: color, olor, brillo, hilo, textura, veteado y

porosidad. Para la determinación del color se utilizaron como referencia la tabla de Munsell.

6.2.2.2. Estudio Anatómico Microscópico. Para evaluar estas propiedades, el material a utilizar se obtuvo de la rodaja de 5 cm de espesor que se seccionó después de la primera troza. Para la caracterización anatómica microscópica se utilizaron preparaciones fijas y material disociado, se elaboraron 45 preparaciones fijas de cortes típicos provenientes de varios cubos de 2.0 cm de arista, tomados de cada uno de los tres árboles de las partes central, media y periférica de una rodaja extraída a la altura de 1.65 m (Fig.11).

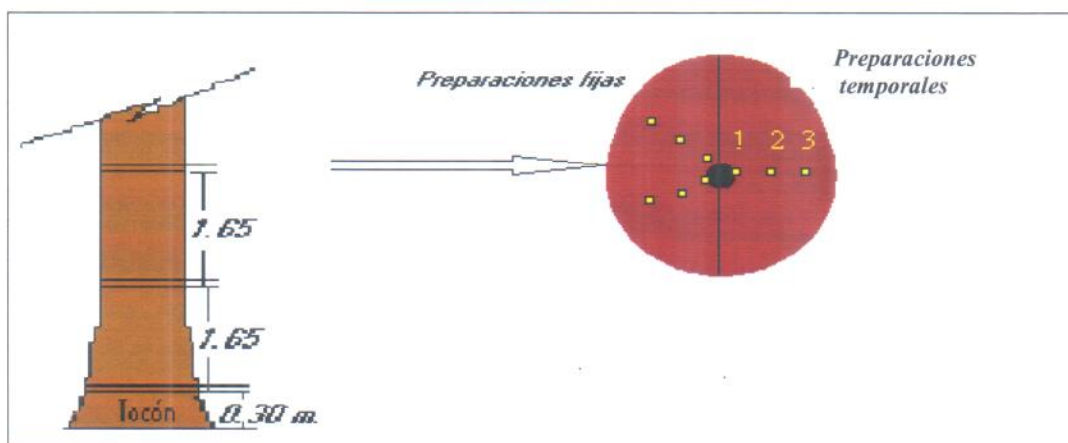


Figura 11. Ubicación de la toma de muestras para obtención de preparaciones fijas y material disociado

6.2.2.3. Obtención de los cortes anatómicos. Los cubos de 8 cm³ se sometieron a un proceso de ablandamiento (ebullición) en agua destilada durante una semana, posteriormente se colocaron en una autoclave y se

sometieron a una presión de 40 lb/in² libras durante 30 minutos. Una vez ablandados se obtuvieron en un xilotomo cortes típicos (transversal, longitudinal tangencial y longitudinal radial) con un espesor de 20 μ (Figura 12)

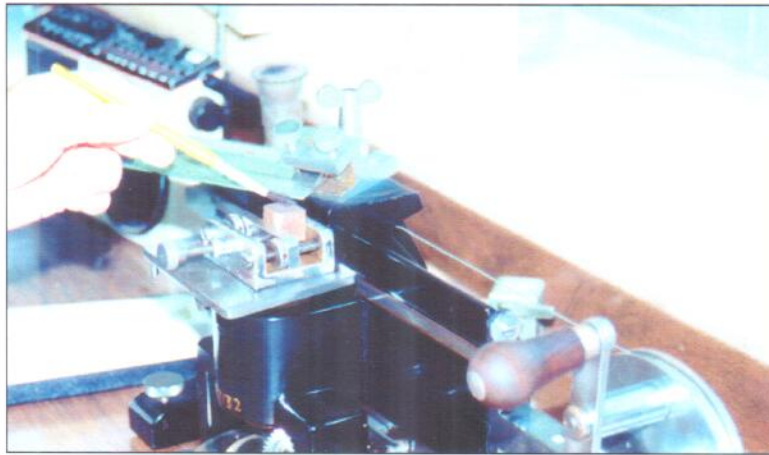


Figura 12. Obtención de cortes

Debido a que los cortes se enrollaban, se colocaron entre 2 portaobjetos y con un clip grande se sujetaron, identificándose cada uno de ellos y se pusieron a hervir durante 2 horas, con la finalidad de que al momento de la elaboración de la preparación no se enrollaran. Se depositaron en un recipiente con agua destilada para enseguida proceder a realizar la tinción.

Una vez que los cortes se encontraban en su frasco correspondiente con agua destilada, esta se les decanto y se agrego colorante. El colorante utilizado fue Zafrañina en una solución de 90% de agua y 10% de alcohol. Algunos cortes se tiñeron con Pardo de Bismarck en una solución de 50% de alcohol, 50% de agua y 1 g de Pardo de Bismarck por cada 100 ml de agua. Se agregó colorante a los cortes hasta cubrirlos y se dejaron reposar durante 5 minutos. Una vez que los cortes estuvieron teñidos, se procedió a prepararlos para elaborar la preparación.

Después de la tinción se efectuó la deshidratación, para esto, los cortes se pasaron por alcohol del 96 y 100% y para su lubricación se utilizó xilol y se montaron con resina Entellan. En recipientes de cristal se colocó alcohol a concentraciones de 96 y 99% y xilol. Se escogieron los mejores cortes y se colocaron primero en el recipiente que contenía alcohol del 96% y posteriormente en el de 99% para finalmente pasarlos al que contenía xilol, se escogió un corte de cada tipo y se colocaron en el portaobjetos ya etiquetado como se muestra en la Figura 13. Los cortes que estaban muy grandes se recortaron con las tijeras, se agregó 1 gota de resina Entellan a cada corte y se colocó el cubreobjetos, finalmente se dejaron secar las preparaciones para poder observar los elementos celulares que constituyen la madera de *Eucalyptus camaldulensis*.

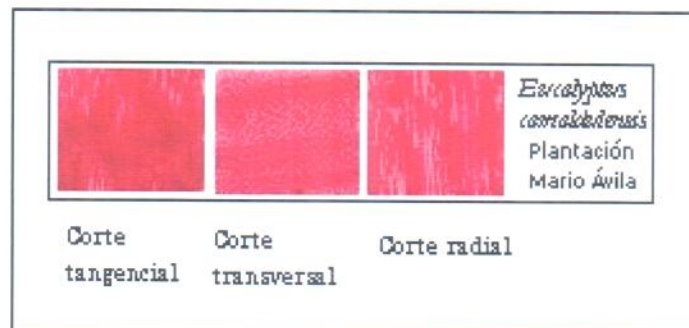


Figura 13. Preparación fija de *E. camaldulensis*

En las preparaciones se observaron y midieron las siguientes características:

- ◆ Porosidad
- ◆ Parénquima: tipo y distribución
- ◆ Rayos: tipo, altura, ancho y distribución
- ◆ Contenidos celulares, puntuaciones de vasos y modificación de pared.

Medición o determinación de las dimensiones de elementos. Para las preparaciones de material disociado también se tomaron muestras de la misma rodaja, de la parte central, media y periférica. Se obtuvieron pequeñas astillas, las cuales se colocaron en frascos junto con una solución disociadora formada por 50% de ácido acético glacial al 20% y 50% de peróxido de hidrógeno al 30%. Los frascos se sellaron (Figura 14) y se introdujeron a una estufa de laboratorio a una temperatura de $60\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante 24 horas, posteriormente se eliminó la solución, las astillas se lavaron con agua destilada hasta eliminar los residuos de solución. Para separar las fibras, se agitaron las astillas con agua hasta su disociación total. Se agregaron 5 gotas de Pardo de Bismark para teñir y finalmente se elaboraron preparaciones de material disociado con el fin de medir la longitud, grosor de pared y ancho de lumen en las fibras y longitud tipo de puntuaciones y de placa perforada en los elementos de vaso.



Figura 14. Material disociado

Para la medición de las dimensiones de las fibras se realizó un premuestreo y con estos datos se calculó el tamaño de la muestra mediante la siguiente expresión:

$$n = \frac{t_{\alpha/2}^2}{E^2} S^2n$$

donde:

n : tamaño de la muestra

t : t de tablas de student

E : error

S^2n : varianza

6.2.2.4. Evaluación de las propiedades físicas. Para la determinación de las propiedades físicas se utilizaron piezas de diferentes tamaños, según las normas mexicanas NOM-EE-167-1981 y NOM-EE-117-1983. Se utilizaron 300 cubos de 2*2*2 cm para la determinación de las densidades. Cabe mencionar que se utilizaron 100 cubos por árbol dando un total de 300 cubos, esto fue debido a que se sacó un premuestreo para así determinar el tamaño de muestra adecuado con un 95% de confiabilidad, el tamaño de muestra para cada árbol fue diferente, sin embargo, el valor mayor que se obtuvo fue de 81 pero se decidió tomar 100 muestras para una mayor precisión. Aparte se obtuvieron 240 probetas de 2.5*2.5*10 cm para determinar contracciones radial y tangencial, hinchamiento radial y tangencial, siendo la dimensión mayor en el sentido de la contracción a evaluar en cada caso (radial y/o tangencial), como se indica en la norma mexicana NOM-EE-167-1981 (DGN, 1981).

6.2.2.4.1. Contenido de humedad verde (CHv). El contenido de humedad de la madera es la cantidad de agua que contiene una pieza de madera, expresada en porcentaje relacionado a su peso en estado anhidro, y se determinó con la siguiente expresión:

$$CH = \frac{Ph - Po}{Po} * 100$$

donde:

CH: contenido de humedad (%)

Ph: peso inicial de la pieza húmeda (g)

Po: peso de la pieza en estado anhidro (g)

Para determinar el contenido de humedad verde se utilizaron muestras pequeñas cortadas de las rodajas obtenidas después de cada troza del árbol recién derribado. Esas muestras fueron tomadas a diferentes alturas del árbol y desde la médula hasta la corteza.

Inmediatamente que se obtuvieron las muestras, se pesaron ahí mismo en campo obteniéndose así el peso inicial, después se metieron en una estufa a 103 ± 2 °C hasta que alcanzaron un peso constante, para saber que se había llegado a este punto, se sacaron muestras de la estufa cada 24 horas y se pesaron. Cuando ya no hubo diferencia entre dos pesadas se considero que se había llegado al peso constante, el cual correspondió al peso anhidro. Se consideró como humedad verde de la madera la media aritmética de los resultados obtenidos con todas las probetas.

6.2.2.4.2. Evaluación de las densidades. La densidad es la cantidad de materia que existe en una pieza por unidad de volumen. En el caso de la madera, esta propiedad está influenciada por el contenido de humedad (CH) de la misma debido a que es un material higroscópico, por esta razón se determinaron cuatro densidades, las cuales fueron: densidad básica, densidad anhidra, densidad normal y densidad verde. Las densidades se evaluaron siguiendo la norma mexicana NOM-EE-167-1981 (DGN, 1981), la cual indica que para determinar la densidad, las probetas deben medir $2 \times 2 \times 2$ cm (Figura 15).

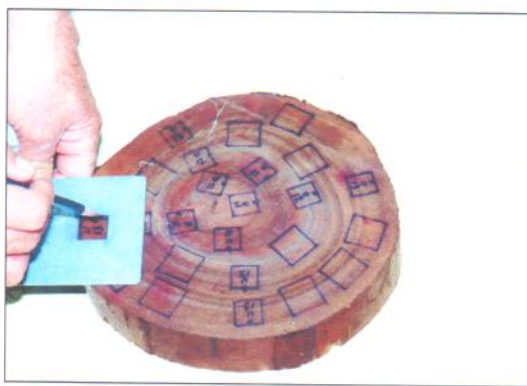


Figura 15. Cubos para evaluar la densidad

Las probetas recién cortadas se pesaron (P_v) en una balanza en estado verde y se determinó su volumen (V_v) por el método de desplazamiento en agua. Posteriormente las muestras fueron expuestas al ambiente hasta que alcanzaron su contenido de humedad en equilibrio (CH_E) y se volvieron a pesar y a determinar su volumen nuevamente para obtener así el P_h y V_h . Finalmente se colocaron en una estufa a $103 \text{ } ^\circ\text{C} \pm 2 \text{ } ^\circ\text{C}$, hasta que se obtuvo un peso constante, el cual correspondió al peso anhidro (P_o) y se determinó también su volumen anhidro (V_o) (Figura 16). Con todo esto se obtuvieron los datos básicos para calcular las tres densidades:

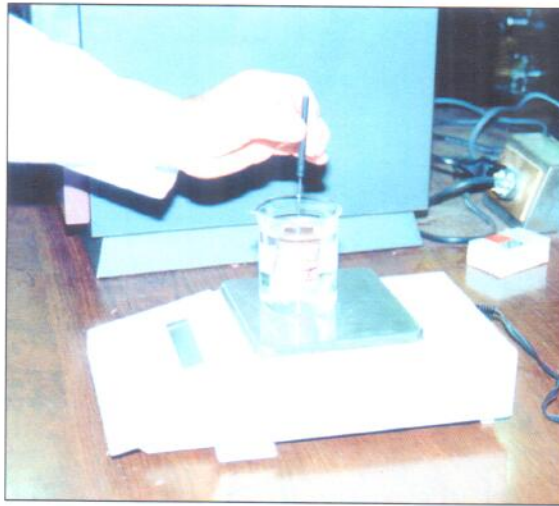


Figura 16. Volumetreo de probetas

Densidad verde (Dv). Relaciona el peso verde de la probeta de la madera por unidad de volumen en estado verde. Se calcula con la siguiente expresión.

$$Dv = \frac{Pv}{Vv}$$

donde:

Dv: densidad verde (g/cm³)

Pv: peso verde (g)

Vv: volumen verde (cm³)

Densidad básica (Db). Relaciona el peso anhidro de la probeta de la madera por unidad de volumen en estado verde. Se calcula con la siguiente expresión:

$$Db = \frac{Po}{Vv}$$

donde:

Db: densidad básica (g/cm³)

Po: peso anhidro (g)

Vv: volumen verde (cm³)

Densidad normal (Dh). Relaciona el peso normal de la madera a un contenido de humedad de equilibrio o al 12%, por unidad de volumen a ese mismo contenido de humedad. Se calcula de la siguiente forma:

$$Dh = \frac{Ph}{Vh}$$

donde:

Dh: densidad normal al h% de CH (g/cm³)

Ph: peso de la muestra al h% de CH (g)

Vh: volumen de la muestra al h% de CH (cm³)

Densidad anhidra (Do). Relaciona el peso anhidro de la madera por unidad de volumen anhidro. Se expresa de la siguiente forma:

$$Do = \frac{Po}{Vo}$$

donde:

Do: densidad normal al h% de CH (g/cm³)

Po: peso de la muestra al h% de CH (g)

Vo: volumen de la muestra al h% de CH (cm³)

6.2.2.4.3. Variación de la densidad en el sentido transversal del fuste.

Para evaluar la variación de la densidad básica en el sentido transversal del fuste se tomaron muestras de los tres árboles desde el centro, es decir cerca de la médula hasta el exterior, cerca de la corteza. Estas muestras fueron tomadas también a diferentes alturas; después de cada troza, se corto una rodaja de 5 cm de espesor y posteriormente de ahí se tomaron las muestras.

6.2.2.4.4. Contracciones de la madera.

Contracciones volumétricas. Para evaluar la contracción volumétrica parcial y total, se utilizaron probetas de 2.5 * 2.5 * 10 cm establecidas. La contracción parcial se evaluó hasta el contenido de humedad en equilibrio de las probetas para las condiciones normales del laboratorio. Así mismo, las contracciones volumétricas se evaluaron aplicando las fórmulas que a continuación se indican:

$$\% \beta V_t = \frac{V_v - V_o}{V_v} * 100$$

$$\% \beta V_h = \frac{V_v - V_h}{V_v} * 100$$

donde:

$\% \beta V_t$: contracción volumétrica total

$\% \beta V_h$: contracción volumétrica parcial al h% de contenido de humedad

V_v : volumen verde

V_h : volumen al h% de contenido de humedad

V_o : volumen anhidro

Contracciones lineales. Las contracciones radiales y tangenciales, tanto totales como parciales, se evaluaron en probetas de 2.5 * 2.5 * 10 cm de arista, siendo la dimensión mayor en dirección del tipo de contracción a evaluar en cada caso, es decir, radial o tangencial. El ensayo se realizó siguiendo la metodología indicada por la norma mexicana NOM EE-167-1983. Las ecuaciones que se aplicaron fueron las siguientes (Fuentes, s/f):

$$\% \beta R_t = \frac{R_v - R_o}{R_v} * 100$$

$$\% \beta R_h = \frac{R_v - R_h}{R_v} * 100$$

$$\% \beta T_t = \frac{T_v - T_o}{T_v} * 100$$

$$\% \beta T_h = \frac{T_v - T_h}{T_v} * 100$$

donde:

$\% \beta R_t$: contracción radial total

$\% \beta R_h$: contracción radial al h% de contenido de humedad

$\% \beta T_t$: contracción tangencial total

$\% \beta T_h$: contracción tangencial al h% de contenido de humedad

6.2.2.4.5. Punto de saturación de la fibra (PSF). El punto de saturación de la fibra corresponde al estado de humedad de la madera cuando ya no contiene nada de agua libre, pero sus paredes celulares están saturadas de agua higroscópica. Para determinar el PSF se utilizaron los valores de densidad básica y contracción volumétrica total, utilizando la ecuación presentada por Fuentes (2000) y la reportada por Kelsey (1956).

Fuentes (2000);

$$PSF(\%) = \frac{\beta V_t}{Dbr * 0.9}$$

donde:

PSF : punto de saturación de la fibra

$\% \beta V_t$: contracción volumétrica total

Dbr : densidad básica relativa

Kelsey (1956);

$$PSF(\%) = 12 + \frac{\beta V_{12}}{Db}$$

donde:

$PSF(\%)$: punto de saturación de la fibra en porciento

$\% \beta V_t$: contracción volumétrica al 12 % de contenido de humedad

Db : densidad básica

6.2.2.4.6. Coeficiente de contracción volumétrica. Es la contracción que experimenta la madera por cada 1% de humedad que ésta disminuye a partir del PSF dentro del rango del agua higroscópica, y refleja parte del grado de estabilidad dimensional que caracteriza a la madera o especie en particular. Este valor se determina con la siguiente expresión:

$$\nu\beta_v = \frac{\% \beta V_t}{PSF}$$

donde:

$\nu\beta_v$ = coeficiente de contracción

$\% \beta V_t$ = contracción volumétrica total

PSF = punto de saturación de la fibra

6.2.2.4.7. Relación de anisotropía en las contracciones. La relación de anisotropía es un valor que permite inferir el grado de estabilidad dimensional de una especie de madera y representa la relación que existe entre la magnitud de la contracción tangencial total ($\% \beta Tt$) y la magnitud de la contracción radial total ($\% \beta Rt$), de manera que la relación de anisotropía (A) se expresa por la

fórmula siguiente:
$$A = \frac{\% \beta Tt}{\% \beta Rt}$$

donde:

- A : relación de anisotropía
- $\% \beta Tt$: contracción tangencial total
- $\% \beta Rt$: contracción radial total

6.2.2.5. Determinación de las propiedades mecánicas.

Las propiedades mecánicas se evaluaron con probetas libres de defectos para cada uno de los ensayos. Cada ensayo mecánico se realizó siguiendo la metodología establecida la norma estadounidense ASTM D-143 (1992). Los ensayos mecánicos que se realizaron son los siguientes:

Flexión estática. Es el ensayo en el cual la madera se ve sometida a la aplicación de una carga concentrada en el centro de su longitud cuando está apoyada en sus extremos. Este tipo de carga se aplica en vigas, puentes, armaduras y aplicaciones equivalentes.

Las características del ensayo estuvieron determinadas por la norma ASTM D-143-83, la cual señala que las dimensiones de las probetas deben de ser de 2" * 2" * 30" (5 * 5 * 76.2 cm) y la velocidad de aplicación de la carga debe de ser de 2.5 mm/min. Los apoyos se ubicaron a una distancia de 1" de los extremos. (Fig. 17).

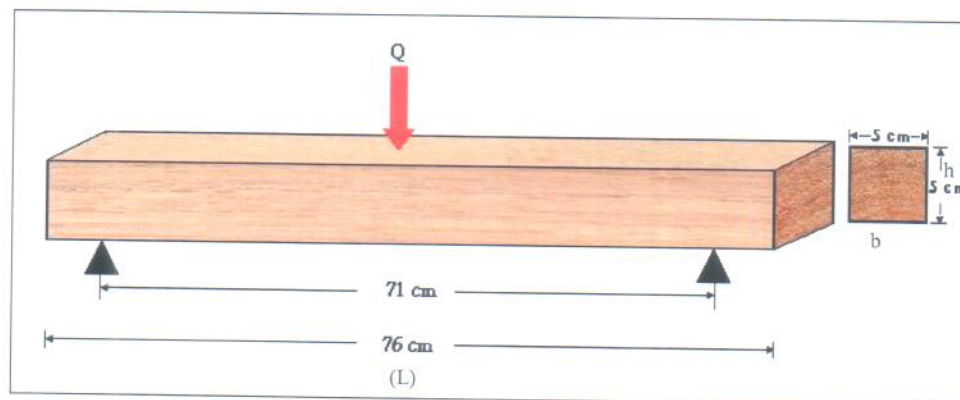


Figura 17. Probeta del ensayo de flexión

En este ensayo se determinó:

a) *Esfuerzo en el límite de proporcionalidad (E_{LP})*

$$E_{LP} = \frac{3Q_{LP} * L}{2bh^2}$$

donde:

E_{LP} : Esfuerzo en el límite de proporcionalidad (kg/cm²)

Q_{LP} : Carga en el límite de proporcionalidad (kg)

L : Claro entre los apoyos

b : Base de la probeta (cm)

h : Peralte de la probeta (cm)

b) *Módulo de ruptura (MOR)*

$$MOR = \frac{3Q_r * L}{2bh^2}$$

donde:

MOR : Módulo de ruptura (kg/cm²)

Q_r : Carga máxima o de ruptura

c) *Módulo de elasticidad (MOE)*

$$MOE = \frac{3Q_{LP} * L^3}{4\delta * 2bh^3}$$

donde:

MOE : Módulo de elasticidad (kg/cm²)

δ : Flecha de deformación en el límite de proporcionalidad (cm)

La deformación δ fué la que se leyó en el eje de las abscisas de la gráfica esfuerzo- deformación para E_{LP} .

Compresión paralela a las fibras. La compresión paralela a las fibras es la resistencia que opone una columna a una carga convergente aplicada en el mismo sentido de la dirección de sus fibras. La norma ASTM D-143-83 establece que las medidas de las probetas para este ensayo deben de ser de 2" * 2" * 8" (Fig. 18), y se debe aplicar una velocidad de carga de 0.57 mm/min $\approx$ 0.6 mm/min.

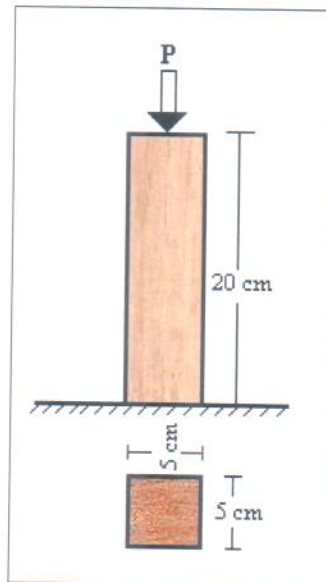


Figura 18. Probeta para el ensayo de compresión paralela a las fibras

Para este ensayo se determinaron los siguientes valores:

a) *Esfuerzo en el límite de proporcionalidad (E_{LP})*

$$E_{LP} = \frac{Q_{LP}}{A}$$

donde:

E_{LP} : esfuerzo en el límite de proporcionalidad (kg/cm²)

Q_{LP} : carga aplicada en el límite de proporcionalidad (kg)

A : área de la sección (cm²)

b) *Módulo de ruptura (MOR)*

$$MOR = \frac{Q_r}{A}$$

donde:

MOR : módulo de ruptura a compresión

Q_r : carga de ruptura (kg)

A : área de la sección (cm²)

c) *Módulo de elasticidad a compresión paralela (MOE)*

$$MOE = \frac{Q_{LP} * L}{\Delta L * A}$$

donde:

MOE : módulo de elasticidad (kg/cm²)

ΔL : deformación en el límite de proporcionalidad (cm)

L : longitud original de la probeta (cm)

Compresión perpendicular a las fibras. Es la resistencia que opone una madera a una carga aplicada en sentido perpendicular a la dirección de las fibras en una cara radial de la probeta. Para este ensayo, la norma ASTM D-143-83 establece que las dimensiones de la probeta deben de ser de 2" * 2" * 6" (5 * 5 * 15 cm) y la velocidad de aplicación de la carga debe de ser de 0.305 mm/min. En esta prueba se utilizó una placa metálica, la cual hizo contacto directo con la madera como se ilustra en la figura 19.

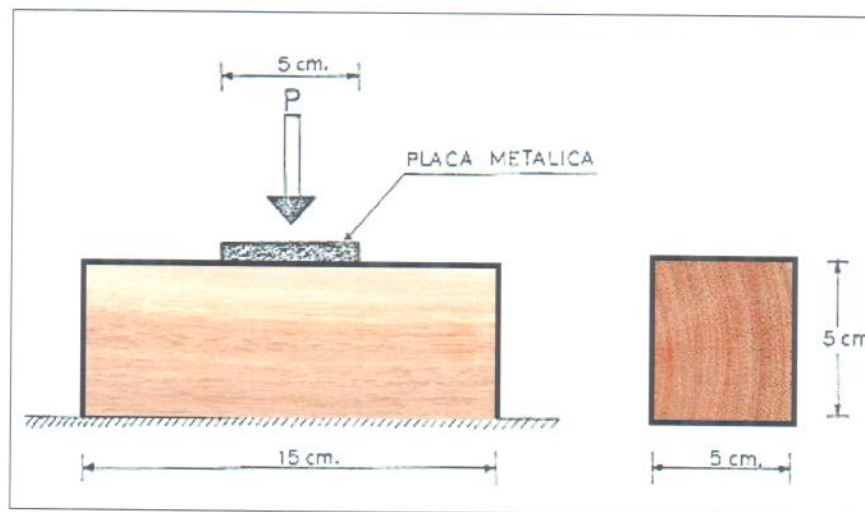


Figura 19 Probeta para el ensayo de compresión perpendicular a las fibras

Los parámetros a evaluar en esta prueba fueron:

a) *Esfuerzo en el límite de proporcionalidad (E_{LP})*

$$E_{LP} = \frac{Q_{LP}}{c * a}$$

donde:

E_{LP} : esfuerzo en el límite de proporcionalidad (kg/cm^2)

Q_{LP} : carga en el límite de proporcionalidad (kg)

c : ancho de la placa metálica (cm)

a : ancho de la probeta de madera (cm)

b) *Esfuerzo máximo a compresión perpendicular (MOR)*

$$MOR = \frac{Q_r}{c * a}$$

donde:

MOR : compresión perpendicular (kg/cm^2)

Q_r : carga de ruptura (kg)

Cortante. Es la capacidad que tiene la madera para resistir fuerzas que tienden a causar el deslizamiento de una sección sobre otra, adyacente a la anterior. Esta prueba se puede efectuar en sentido paralelo o perpendicular a las fibras. La norma ASTM D 143-83 indica que las medidas de las probetas deben de ser de 5 * 5 * 6.3 cm y se debe aplicar una velocidad de carga de 0.6 mm/min. El esfuerzo cortante se desarrollo en dos formas (Figura 20):

- a) Cortante paralelo en el plano tangencial
- b) Cortante paralelo en el plano radial

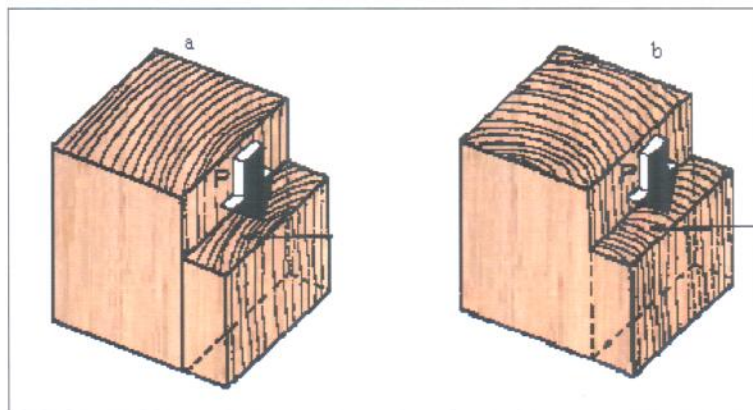


Figura 20. Probetas para el ensayo de cortante a) en plano tangencial;
b) en plano radial

Para cada caso se determinó la resistencia al cortante (R_c) con la siguiente ecuación:

$$Rc = \frac{Qr}{A}$$

donde:

Rc : esfuerzo máximo al cortante (kg/cm^2)

Qr : carga de ruptura (kg)

A : área de la sección de falla (cm^2)

Rajado. El rajado es la resistencia que ofrece la madera al rajado. La norma ASTM D-143-83 indica que las medidas de las probetas deben de ser de 2" * 2" * 3/4" (figura 21) y se debe de aplicar una velocidad de carga de 2.5 mm/min.

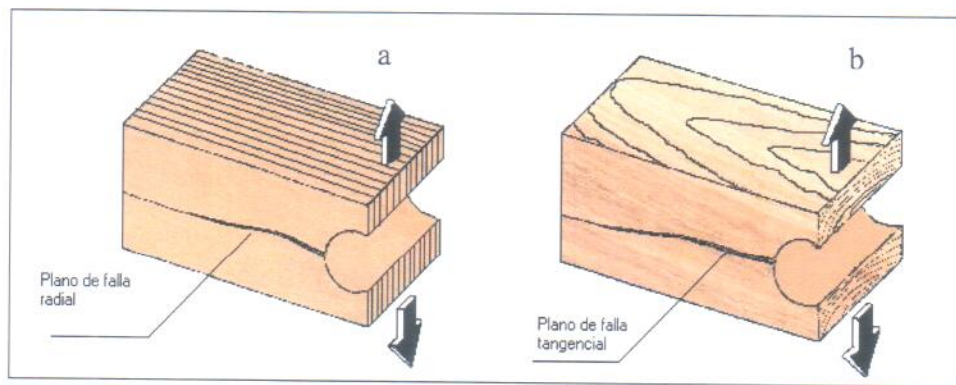


Figura 21. Probetas para el ensayo de rajado. a) Plano tangencial, b) Plano radial

Según la posición en que se encuentre el plano de falla respecto a los anillos de crecimiento, se reconocen dos valores, los cuales son:

- a) Resistencia a rajado radial (R_{cvr}). Es aquél en el que el plano de falla es perpendicular a los anillos de crecimiento.
- b) Resistencia a rajado tangencial (R_{cvt}). Aquí el plano de falla es tangente a los anillos de crecimiento

En ambos casos se determinó la resistencia al rajado con la siguiente expresión:

$$R_{cv} = \frac{Q}{\partial}$$

donde:

R_{cv} : resistencia al rajado (kg/cm)

Q : carga de ruptura (kg)

∂ : ancho de la probeta en la línea de falla (cm)

Tensión perpendicular a las fibras. Es la resistencia que opone la madera al ser sometida a cargas de efecto traccionante que provocan un efecto de estiramiento en la pieza de madera sometida a tal prueba. Esta prueba también se realizó de acuerdo a lo que indica la norma ASTM D 143-83, la cual indica que se debe aplicar la carga a una velocidad de 2.5 mm/min; la forma de la probeta se muestran en la figura 22.

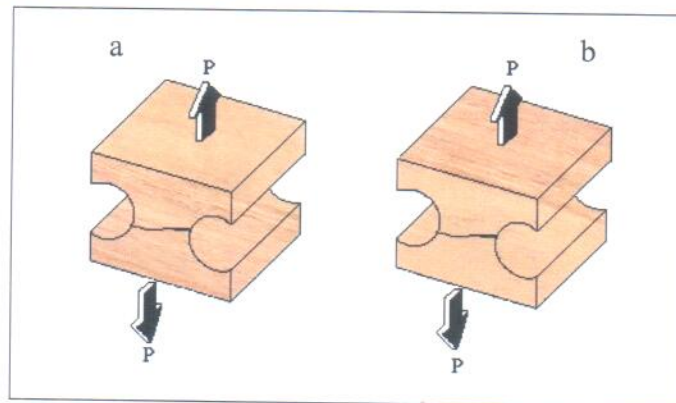


Figura 22. Probetas para el ensayo de tensión perpendicular a las fibras
a) tensión perpendicular radial, b) tensión perpendicular tangencial

Dureza Janka. Es la resistencia que ofrece la madera a la penetración de cuerpos que tengan mayor solidez y consistencia que ella, generalmente de origen metálico. La norma ASTM D143-83 que las probetas deben de ser de 5*5*20 cm y la aplicación de carga es de 6 mm/min.

Para realizar este ensayo se utilizo un esfera de metal (Figura 23), la cual se introdujo hasta la mitad de su diámetro en cada una de las seis caras de la probeta (Figura 24). Posteriormente se leyó la carga aplicada a ese momento y se registró como el valor de dureza.

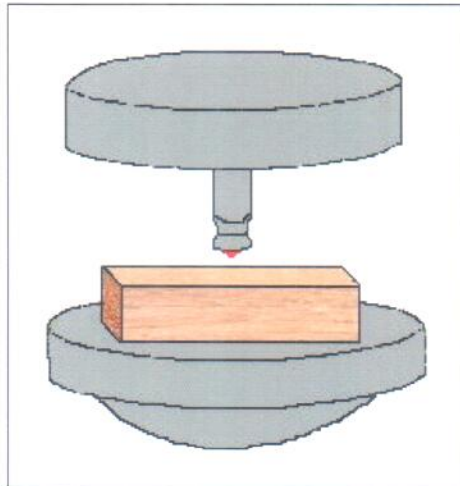


Figura 23. Esfera utilizada para el ensayo de dureza Janka

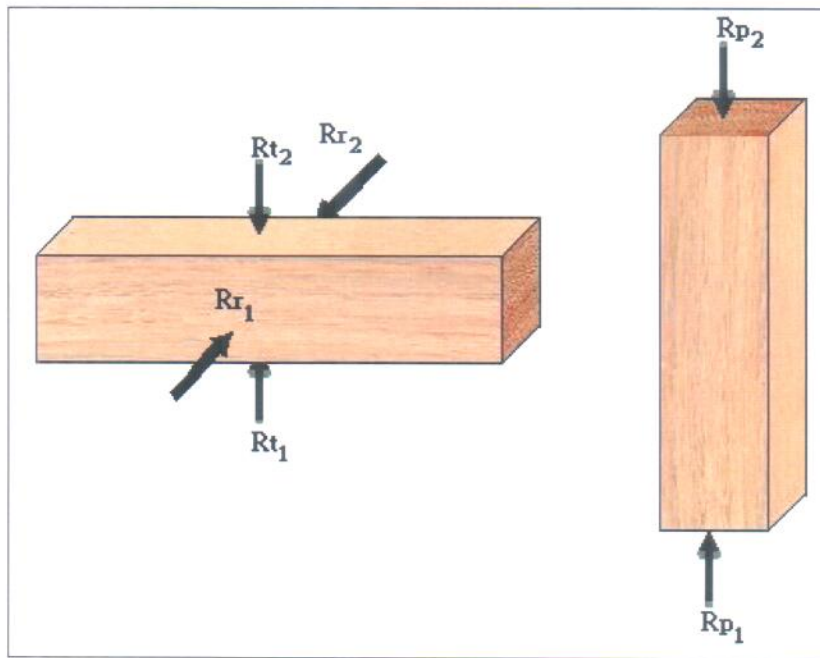


Figura 24. Dirección de aplicación y planos para la evaluación de dureza Janka.

7. RESULTADOS Y ANÁLISIS

7.1. CARACTERÍSTICAS ANATÓMICAS

7.1.1. Características anatómicas microscópicas.

En la tabla 1 se resumen las características anatómicas microscópicas.

Tabla 1. Características anatómicas microscópicas de *Eucalyptus camaldulensis*

POROS			ELEMENTOS VASCULARES								
Distribución		Agrupación	No/mm ²	Diámetro tangencial (μ)		Longitud (μ) (Terrazas, 1984)		Puntuaciones		Placa perforada	
Difusa con poros dispuestos en forma oblicua*		Solitarios	9	Máxima	140.37	Máx	144.17	Areoladas Alternas***		Simple***	
				Media	92.27	Med.	103.99				
				Mínima	50.70	Mín.	89.87				
				DS	22.85	DS	15.91				
CLASIFICACIÓN		Moderadamente escasos*		Muy pequeños *		Extremadamente corta**					
PARÉNQUIMA											
AXIAL		RADIAL									
Tipo	Clase	Tipo	No./mm ²	Uniseriados				Biseriados			
				Altura (μ)		Ancho (μ)		Altura (μ)		Ancho (μ)	
Difusa	Uniseriados y biseriados	Hetrerogeneo	11	Máx	170	Máx	12.7	Máx	162.2	Máx	22.3
				Media	98.9	Media	8.2	Media	128.7	Media	16.1
				Mín	64.9	Mín	5.7	Mín	96.8	Mín	12.1
				DS	30.3	DS	2.11	DS	20.1	DS	2.5
FIBRAS											
Tipo		Longitud (μ)		Diámetro total (μ)				Grosor de pared (μ)			
Libriformes***		Cortas***		Medianas***				Gruesa***			
Máxima		1340		63.9				16.7			
Media		834.8		34.2				9.7			
Mínima		520		12.5				4			
DS		140.8		10.6				3.1			
CONTENIDO CELULAR											
En vasos			En parénquima axial y radial					En fibras			
Tilos y gomas			Gomas					Ausente			

*Jane (1970) ** Terrazas (1984) *** Tortorelli (1956) DS= Desviación estándar

En base a la clasificación de abundancia de vasos, el que existan pocos vasos implica que la madera tenga una mayor densidad en comparación de aquellas que poseen vasos abundantes lo que a la vez repercute en otros procesos o usos de la madera. En relación a las fibras, Bustamante *et al.* (1983) reporta una longitud media de $810\ \mu$, un diámetro medio de 16μ y un espesor de pared de $4.2\ \mu$; mientras que Montoya (1995) reporta una longitud media de $850\ \mu$ y $16\ \mu$ de diámetro total, el resultado de este estudio muestra que la longitud media de las fibras es de 834.8μ , el diámetro y espesor de pared de 34.2 y $9.7\ \mu$ respectivamente; estos autores no reportan la edad del arbolado muestreado. En este sentido se puede decir que en cuanto a las fibras, la madera de esta especie y de este lugar presenta mayores dimensiones, lo que puede deberse a la procedencia, es decir a las variables edafológicas y climáticas donde se desarrollo el arbolado ya que los autores reportan valores para España u otros lugares del mundo y las condiciones son muy variables de un lugar a otro.

Comparando datos reportados de *E. globulus* con los resultados obtenidos en este estudio, se tiene Bustamante, (1983) reporta que la longitud media de las fibras es de $1050\ \mu$, una anchura y espesor de pared media de 19 y 4 respectivamente. Los resultados muestran que la especie de *E. camaldulensis* tiene fibras más cortas, más anchas y con paredes más delgadas en comparación con *E. globulus*, en este sentido.

En la figura 25 se muestran los cortes anatómicos microscópicos de la madera de *E. camaldulensis*.

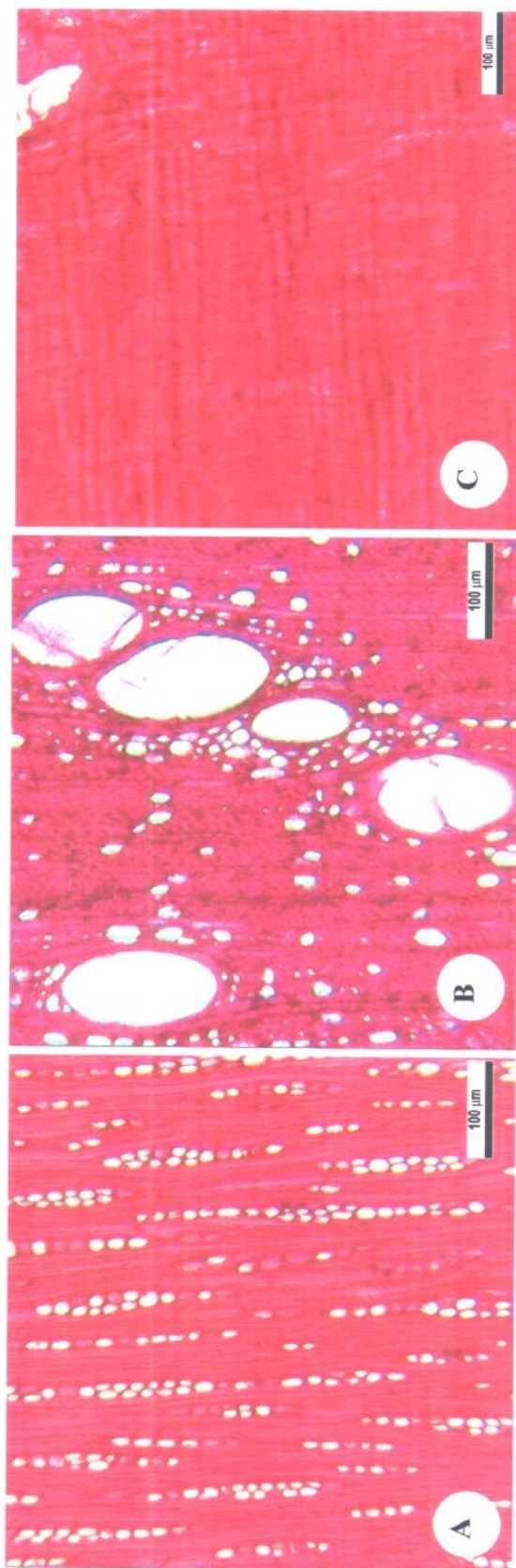


Figura 25. Cortes anatómicos microscópicos de *Eucalyptus camaldulensis*. A) Corte longitudinal tangencial, B) Corte transversal, C) Corte longitudinal radial

7.1.2. Variación de las dimensiones de las fibras en el sentido transversal del fuste.

En la figura 26 se muestra la variación media de la longitud de las fibras en el sentido transversal del fuste tomado a la altura de 1.65 m.

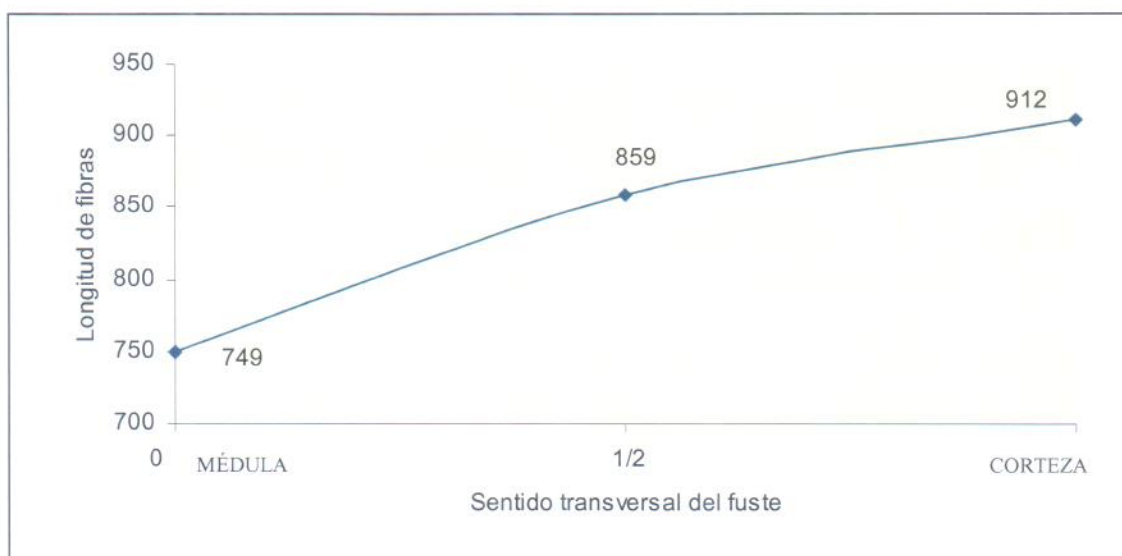


Figura 26. Variación de la longitud de las fibras en el sentido transversal del fuste

Se observa que conforme el árbol se va desarrollando, la longitud de las fibras va aumentando, esto quiere decir que si se requieren fibras largas que es lo que se busca en la elaboración de pulpa para papel para obtener un papel más resistente y de mejor calidad (Fuentes, 1987), los árboles maduros de *E. camaldulensis* pudieran satisfacer esas necesidades.

Aunque no se determinó la edad del árbol, se sabe que la plantación se estableció en los años de 1960, 1961 y 1962 (Ramírez, 1977) por lo que se puede inferir que la edad del arbolado es de más o menos 43 años.

No se encontraron antecedentes en cuanto a la variación de las fibras en sentido transversal del fuste para *E. camaldulensis*, sin embargo, refiriéndose a la clasificación de acuerdo a su longitud, Tortorelli (1956), las clasifica como cortas a medianas.

Bustamante *et al.* (1983) reporta a *E. camaldulensis* con una longitud media 834.8 μ y el resultado de esta investigación arrojó un valor de 840 μ ; sin embargo, existen eucaliptos que tienen fibras más largas como el *E. globulus*, para el cual el mismo autor reporta una longitud media de 1050 μ ; el eucalipto reportado por este mismo autor con fibras más cortas es el *E. rubido* con una longitud media de 740 μ .

La figura 27 muestra la variación del diámetro medio de las fibras; se ve que las fibras de mayor diámetro se encuentran en la parte exterior del fuste.

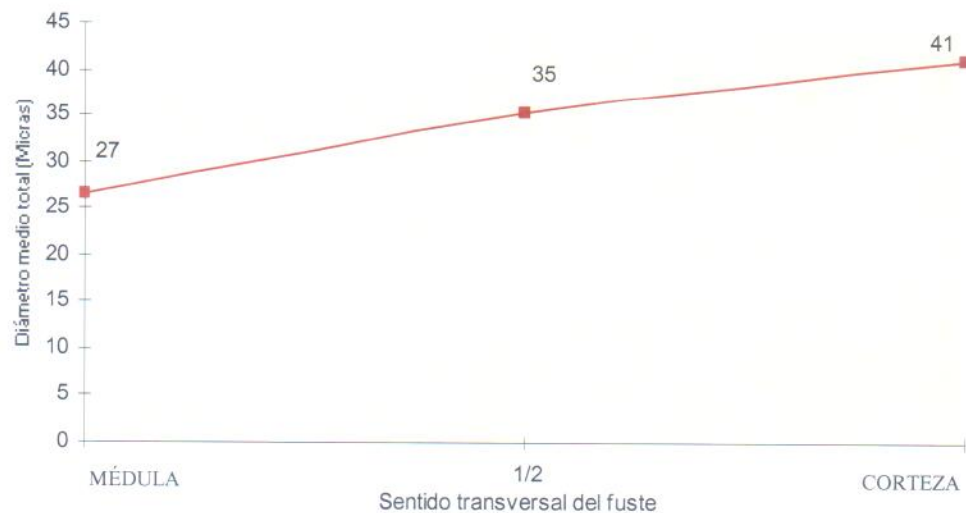


Figura 27. Variación del diámetro de las fibras en el sentido transversal del fuste

El grosor de pared también varía de acuerdo a la ubicación transversal del fuste; pasando de 7 a 11 μ de la médula a la corteza, esto puede verse en la figura 28.

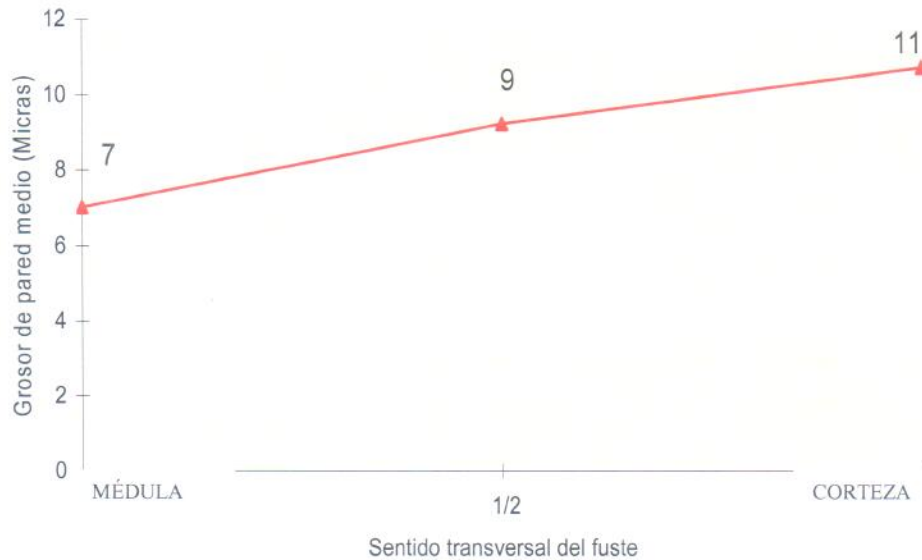


Figura 28. Variación del grosor de pared de las fibras en el sentido transversal del fuste

El grosor de pared va aumentando mientras más maduro es el árbol. De acuerdo al diámetro de las fibras, estas se clasifican según Tortorelli (1956) como fibras con diámetros medianos. Según la clasificación de las paredes de las fibras, Tortorelli (1956), estas se clasifican como gruesas; el grosor de la pared va aumentando conforme es mayor la distancia de la médula hacia la corteza.

Este comportamiento influye en las propiedades de físicas y mecánicas de la madera ya que mientras más alta es la densidad, teóricamente la madera presenta mayor resistencia mecánica. De igual forma, puede esperarse que la madera con fibras que tienen paredes más gruesas posea propiedades mecánicas con valores más altos.

7.1.3. Características anatómicas macroscópicas

En la tabla 2 se presentan las características anatómicas macroscópicas de *Eucalyptus camaldulensis*.

Tabla 2. Características anatómicas macroscópicas de *E. camaldulensis* (Según la clasificación de Tortorelli, 1956)

CARACTERÍSTICA		DESCRIPCIÓN
Color*	Albura	Blanco rosáceo 5YR 8/2
	Duramen	Castaño rojizo 10R 6/8
Olor		Sin olor característico
Sabor		Amargo (astringente)
Brillo		Medio
Veteado		Suave
Textura		Media
Hilo		Entrelazado

* Tabla de Munsell

El color castaño rojizo de la madera es por que ésta contiene una gran cantidad de extractivos, los cuales hacen que la madera tenga un sabor amargo y astringente, aunque también pueden hacer a la madera más resistente a hongos e insectos.

El color castaño del duramen de esta especie hace que la madera pueda recibir acabados transparentes sin recurrir a tintes, además que tiene tonalidad similar a la de la caoba (*Swietenia macrophylla*) y del cedro rojo (*Cedrella odorata*), en México son las dos especies de maderas más utilizadas por los ebanistas tanto por su color como por el resto de sus propiedades anatómicas y físico-mecánicas.

El hilo entrelazado que caracteriza esta madera tiene influencia en la estabilidad dimensional de la madera en su proceso de secado, ya que puede provocar torceduras y arqueaduras en las tablas; el brillo medio y veteado suave le da a la madera la posibilidad de ser empleada para molduras, muebles, pisos y la textura fina permite que se le pueda dar un buen pulido.

La madera de *E. camaldulensis* puede ser empleada para muebles, molduras y pisos con la ventaja de que no necesita pintarse ya que el color es muy atractivo, por su textura fina podría permitir un buen pulido y lijado. En la figura 29 se muestran los cortes típicos macroscópicos de la madera de *Eucalyptus camaldulensis*.

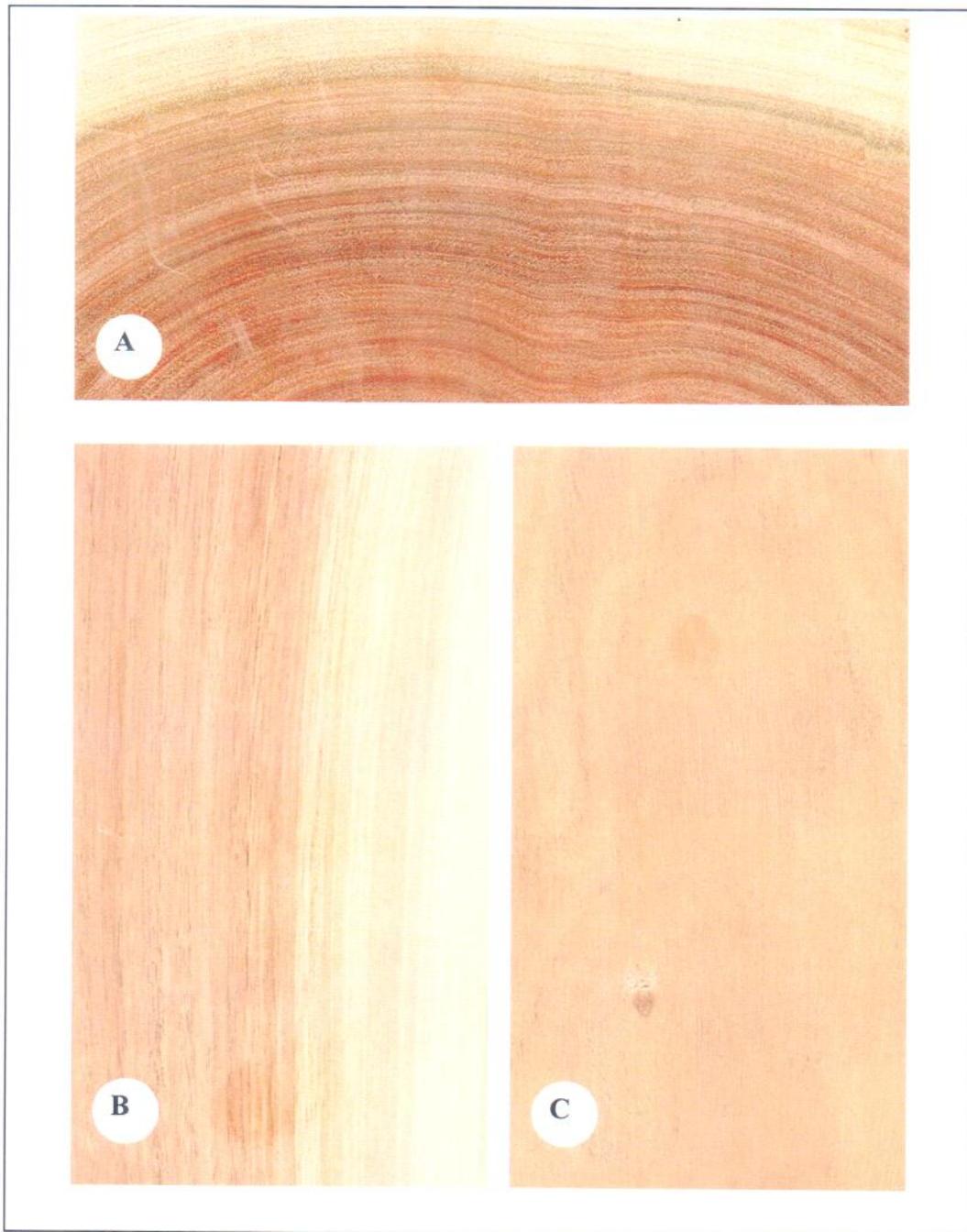


Figura 29. Cortes anatómicos macroscópicos. A) Corte transversal, B) Corte longitudinal radial, C) Corte longitudinal tangencial.

7.2. PROPIEDADES FÍSICAS

7.2.1. Contenido de humedad verde (CHv).

La madera recién cortada se encuentra en estado verde y contiene gran cantidad de agua, la cual varía de acuerdo a varios factores, uno de ellos es la especie, otros son el lugar donde se encuentre y la época del año y otro muy importante es si se trata de albura o duramen.

El contenido de humedad verde promedio que se obtuvo para *Eucalyptus camaldulensis* fue de **76.2%**; para duramen fue de **78.5%** y para albura **81%**.

7.2.2. Densidad

En la tabla 3 se muestran los valores de las diferentes densidades, se muestran los valores mínimos, máximos y promedios así como su desviación estándar.

Tabla 3. Valores de densidad de *E. camaldulensis*

Tipo de Densidad	Media (g/cm³)	Mínima (g/cm ³)	Máxima (g/cm ³)	SD	Clasificación
Densidad verde (D _v)	1.22	1.08	1.32	0.0471	
Densidad normal (D _n) [*]	0.91	0.65	1.09	0.1094	Semipesada ^{**}
Densidad básica (D _b)	0.69	0.54	0.80	0.0718	Semipesada ^{***}
Densidad anhidra (D ₀)	0.86	0.60	1.04	0.1057	

(*) Al 11.33% de CH (**) Díaz (1960) (***) Vignote y Jiménez (1996)

Una densidad alta de la madera influye en una mayor resistencia mecánica pero a la vez una dificultad en su trabajabilidad y en su estabilidad dimensional.

En la figura 30 se muestran valores de densidad básica de 17 especies de eucalipto (Miller, 2001), dentro de las cuales se encuentra *E. camaldulensis*.

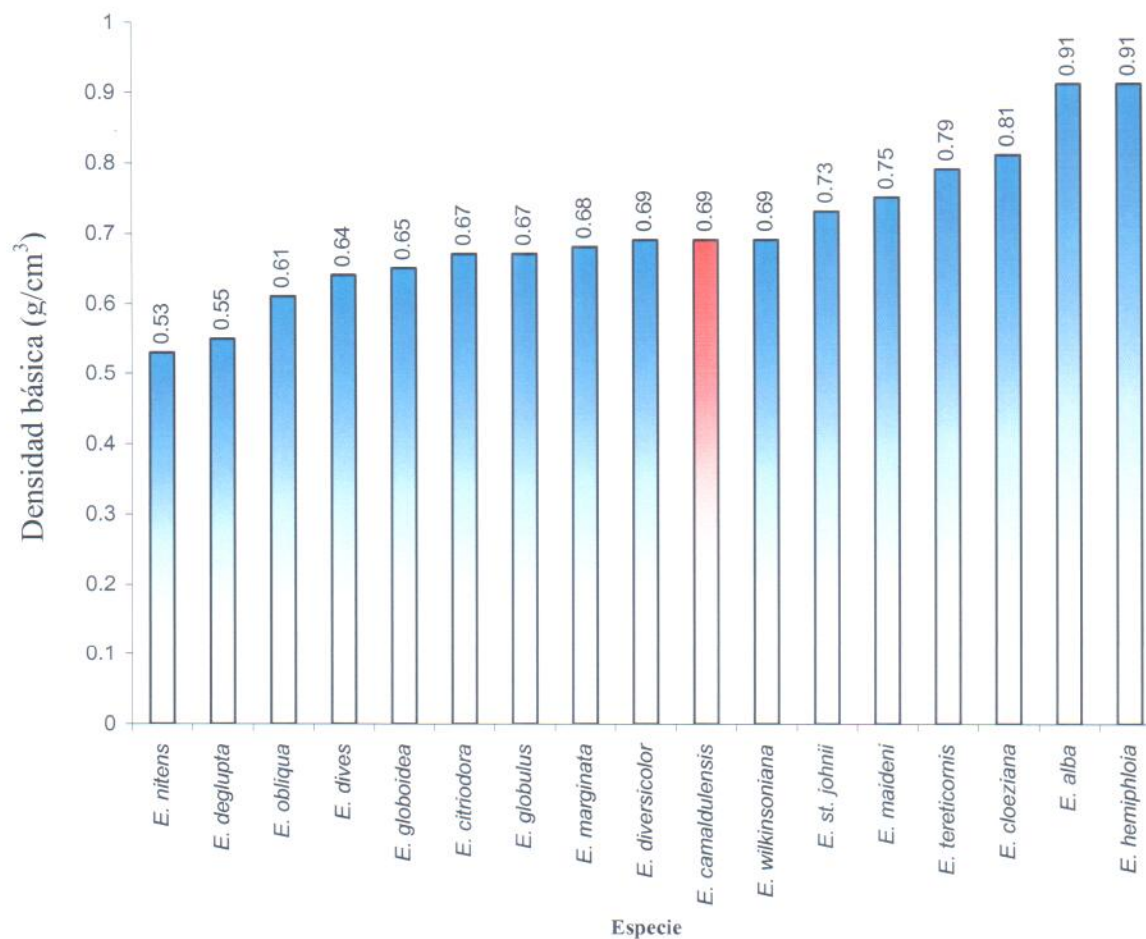


Figura 30. Densidad básica de diferentes especies de *Eucalyptus*

Se puede observar que el rango de densidad básica para estas especies está entre 0.53 a 0.91 y *E. camaldulensis* se encuentra en los valores promedio. El valor de densidad para *E. camaldulensis* reportado coincidió con el obtenido en este estudio.

7.2.3. Variación de la densidad básica

En base al diámetro de la rodaja obtenida a 1.65 m de altura del fuste se determinaron las partes central, intermedia y exterior, esto se realizó dividiendo en 3 partes la dimensión del radio de la rodaja. La figura 31 muestra la variación media de la densidad básica en el sentido transversal del fuste, de la médula hacia la corteza para la madera de *E. camaldulensis* tomada a la altura de 1.65m.

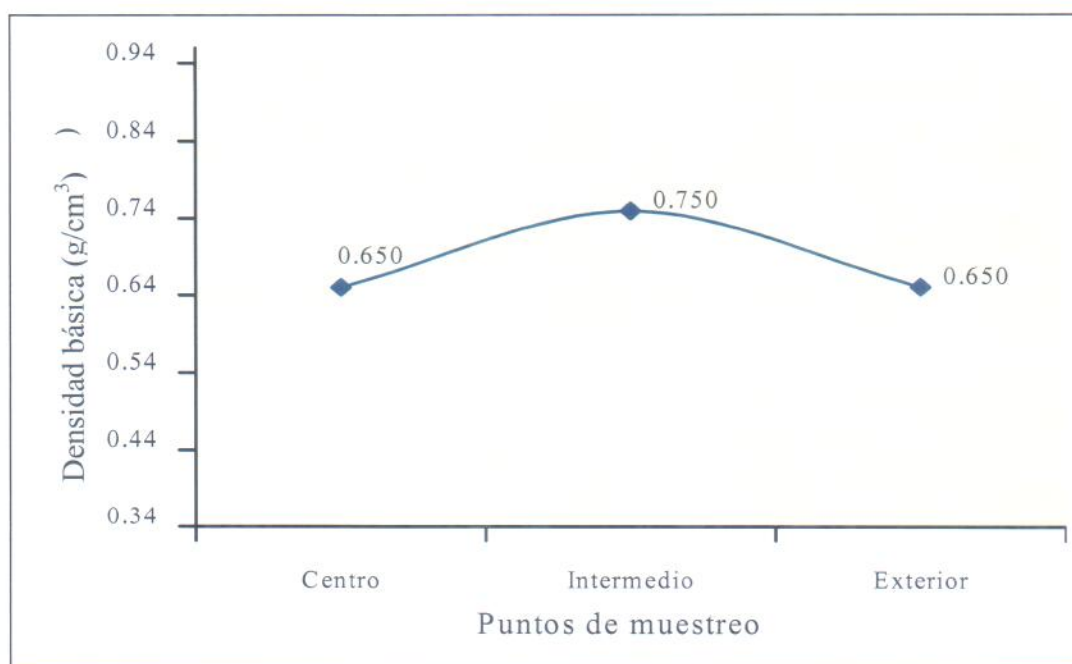


Figura 31. Variación de la densidad básica en el sentido transversal del fuste

Cabe mencionar que el arbolado muestreado tenía un diámetro entre 39 y 41 cm y una edad más o menos de 43 años. Puede verse que la densidad básica es más alta en la parte intermedia del árbol que cerca de la médula o la corteza, esto pudo deberse a la cantidad de extractivos presentes en la madera, ya que las probetas para la evaluación de la densidad en la parte exterior del arbolado fue en su mayoría de albura y la albura por lo general tiene menor cantidad de

extractivos; este comportamiento también pudo deberse a un efecto de los aclareos ya que Bonilla (comunicación personal)¹ menciona que a través de los años se han realizado una serie de aclareos; a la variación de en las condiciones de crecimiento, variación en el tamaño y proporción de los diferentes elementos celulares –vasos, parénquima, fibras y rayos. Se esperaba que conforme el árbol fuera más maduro la densidad fuera mayor, sin embargo, el comportamiento fue el mismo en los tres árboles muestreados. Así que la explicación mas adecuada para este comportamiento es la cantidad menor de extractivos presente en la albura que aunque no se determinó, se sabe que generalmente la albura contiene menos extractivos que el duramen. Aldea Forestal (2002) reporta que los extractivos presentes en la madera de *Eucalyptus camaldulensis* constituyen entre un 10 y 13%.

¹ Reyes Bonilla Beas. Profesor investigador de la Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Edo. de México.

7.2.4. Contracciones

En la tabla 4 se muestran los valores de contracción parcial y total tangencial, radial y volumétrica.

Tabla 4. Valores de contracción de la madera de *E. camaldulensis*

CONTRACCION	VALOR	PARCIAL (%)*	TOTAL (%)	CLASIFICACION**
RADIAL	Máx.	5.6	7.9	Muy alta
	Medio	4.71	6.7	
	Mín.	4.1	5.8	
	SD	0.52	0.65	
TANGENCIAL	Máx.	11.9	14.4	Muy alta
	Medio	10.01	12.50	
	Mín.	8.7	11.1	
	SD	1.18	1.19	
VOLUMÈTRICA	Máx.	24.4	29.7	De alta a muy alta
	Medio	14.49	18.81	
	Mín.	9.2	11.3	
	SD	3.22	3.08	

*Al 11.2 % de CH

** Fuentes (s/f)

La contracción tangencial es el doble de la contracción radial. Según la clasificación de Fuentes (s/f), la madera de esta especie se encuentra dentro del rango de alta a muy alta contracción.

Las trozas deben aserrarse de tal forma que se obtenga la mayor parte de cortes radiales, de esta forma, el secado sería más uniforme y con menores riesgos de grietas superficiales. El secado debe ser lento para evitar el colapso, ya que es un defecto de secado que se presenta con mucha frecuencia en la madera de esta especie debido al hundimiento de las paredes celulares por expulsión del agua libre, cuya tensión llega a ser superior a la resistencia de la madera.

Las temperaturas requeridas para un secado lento deben de ser bajas, además para evitar la deformación de las tablas deben emplearse sobrepesos y más separadores que los que comúnmente se utilizan. Con los resultados obtenidos, se hace énfasis en el secado de la madera y en el aserrado de las trozas.

7.2.5. Relación de anisotropía en las contracciones

La relación de anisotropía (A) se calculó con los valores totales de contracción tangencial y radial, obteniéndose el siguiente resultado:

$$A = \frac{12.50}{6.68} = 1.87$$

Según la clasificación de Ordóñez *et al.* (1990), la madera es estable, sin embargo, en la clasificación de Fuentes (s/f) el valor de anisotropía es alto, lo que puede conducir a que esta madera manifiesta una alta tendencia a la deformación si no se seca con cuidado, es decir, se le deben aplicar restricciones (contrapesos) a la deformación cuando se ponga a secar.

7.2.6. Punto de saturación de la fibra (PSF)

Este valor se calculó con los datos de la contracción total volumétrica y densidad básica promedio.

Kelsey (1956)

$$PSF = 12 + \frac{14.49}{0.69} = 33\%$$

Fuentes (2000)

$$PSF = \frac{18.81}{0.69 * 0.9} = 30.3\%$$

Existe un 2.7% de diferencia en los valores obtenidos con las dos ecuaciones anteriores por lo que se procedió a calcular el PSF promedio, el cual resulto de 31.6 %, así que puede decirse que la madera de esta especie empieza a experimentar cambios en sus dimensiones a partir de ese porcentaje de contenido de humedad.

7.2.7. Coeficiente de contracción volumétrica ($\nu\beta_v$)

El cálculo de este valor se realizó una vez obtenidos los datos de contracción volumétrica total y punto de saturación de la fibra y utilizando la expresión mencionada en la metodología se obtuvo lo siguiente.

$$\nu\beta_v = \frac{18.81}{30.3} = 0.62$$

Este valor representa el grado de estabilidad de la madera y quiere decir que por cada 1% de humedad que pierde la madera dentro del rango del agua higroscópica, esta experimenta un cambio de 0.62% del volumen inicial.

Según la clasificación de Fuentes (1998), este coeficiente es alto, lo cual quiere decir que la madera no es muy estable dimensionalmente.

7.3. PROPIEDADES MECÁNICAS

7.3.1. Flexión estática

En la tabla 5 se muestran los resultados del ensayo de flexión estática en estado seco.

Tabla 5. Resultados del ensayo de Flexión Estática realizado para la madera de *E. camaldulensis* en estado seco (18% CH) (8 probetas)

PARAMETRO	VALOR DEL ENSAYO (kg/cm ²)	SD	CLASIFICACIÓN
Esfuerzo en el LP	571.65	92.67	
Módulo de Ruptura (MOR)	1245.86	156.82	**Medio
Módulo de Elasticidad (MOE)	112470	23.58	**Medio

**Novelo (1964) SD= Desviación estándar

De acuerdo a Novelo (1964) el esfuerzo al límite de proporcionalidad y el módulo de ruptura se clasifican como medios, en este sentido, la poca flexibilidad de la madera hace que pueda ser empleada como viga aunque claro que en un diseño estructural siempre deben de realizarse los cálculos respectivos.

Gonzalo (2001) reporta los valores para este ensayo para tres especies de eucaliptos, dentro de ellos esta el *E. globulus*, el cual es uno de los mas difundidos y utilizados en el mundo, los valores reportados promedio de madera joven y adulta son E_{LP} : 543.34 kg/cm²; MOR : 972.37 kg/cm² y MOE : 92.36

kg/cm² (*1000); comparándolo con *E. camaldulensis*, este último tiene una mayores valores de resistencia en todos los parámetros.

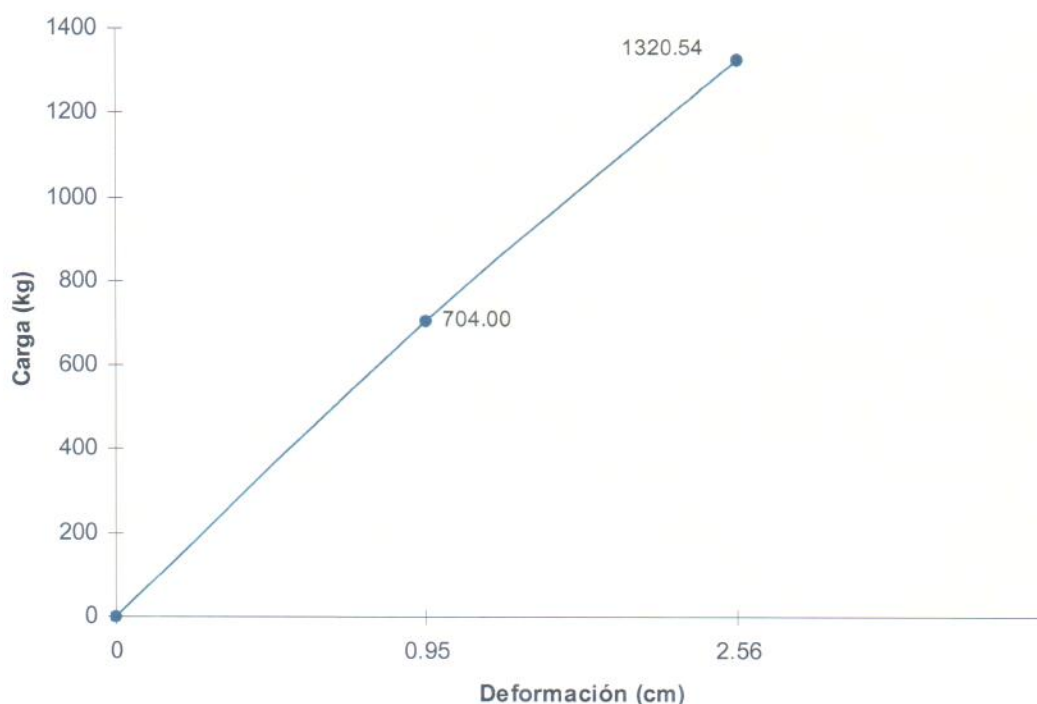


Figura 32. Gráfico carga-deformación para el ensayo de flexión estática en condición seca

La tabla 6 presenta los valores obtenidos del ensayo de flexión estática en condición verde.

Tabla 6. Resultados del ensayo de Flexión Estática realizado para la madera de *E. camaldulensis* en condición saturada (70% CH) (8 probetas)

PARÁMETRO	VALOR DEL ENSAYO (kg/cm ²)	SD	CLASIFICACIÓN
Esfuerzo en el LP	359.45	89.06	
Módulo de Ruptura (MOR)	751.43	62.81	*Bajo
Módulo de Elasticidad (MOE)	75460	15.34	*Bajo

*Novelo (1964)

SD = Desviación estándar

Los resultados muestran que la madera en condición verde (76% CH) es menos resistente en comparación con la que se encuentra en condición seca.

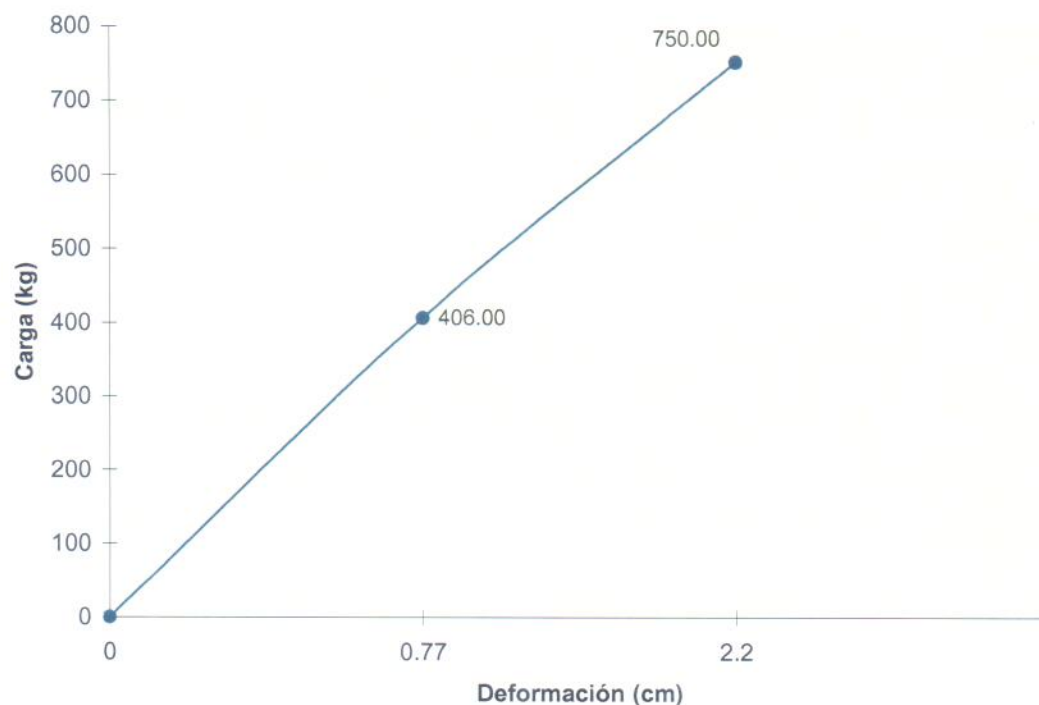


Figura 33. Gráfico de carga-deformación para el ensayo de flexión estática en estado verde

La madera generalmente se utiliza en condición seca y los valores obtenidos indican que pudiera ser utilizada en construcción pero con sus respectivos cálculos de diseño.

Enseguida se muestran valores recopilados por Miller (2001) para 22 especies de eucaliptos y se hace una comparación de las propiedades mecánicas en condición verde y seca encontradas en este estudio y las reportadas por este autor.

En las figuras 34 a la 39 se muestra el módulo de elasticidad (MOE), esfuerzo al límite de elasticidad (ELP) y módulo de ruptura (MOR) en condición seca y saturada para el ensayo de flexión para diferentes especies de eucalipto dentro de las cuales se incluye al *E. camaldulensis* estudiado y otras especies reportadas por Miller (2001).

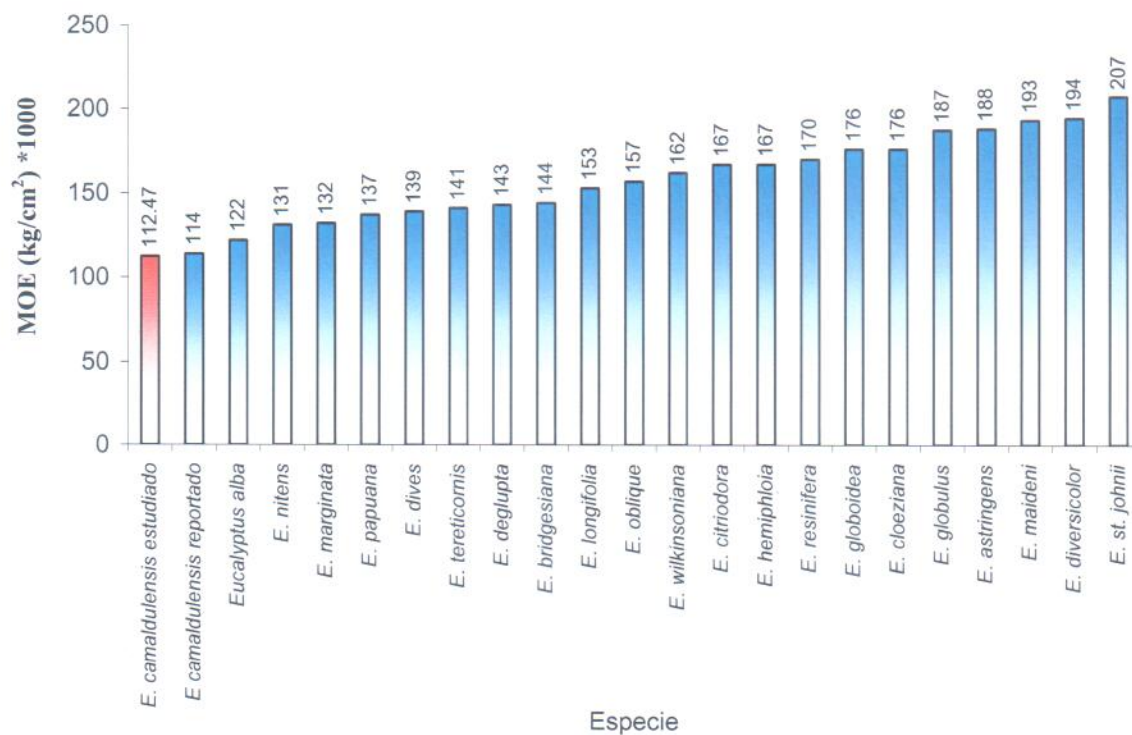


Figura 34. Flexión estática (MOE) en condición seca.

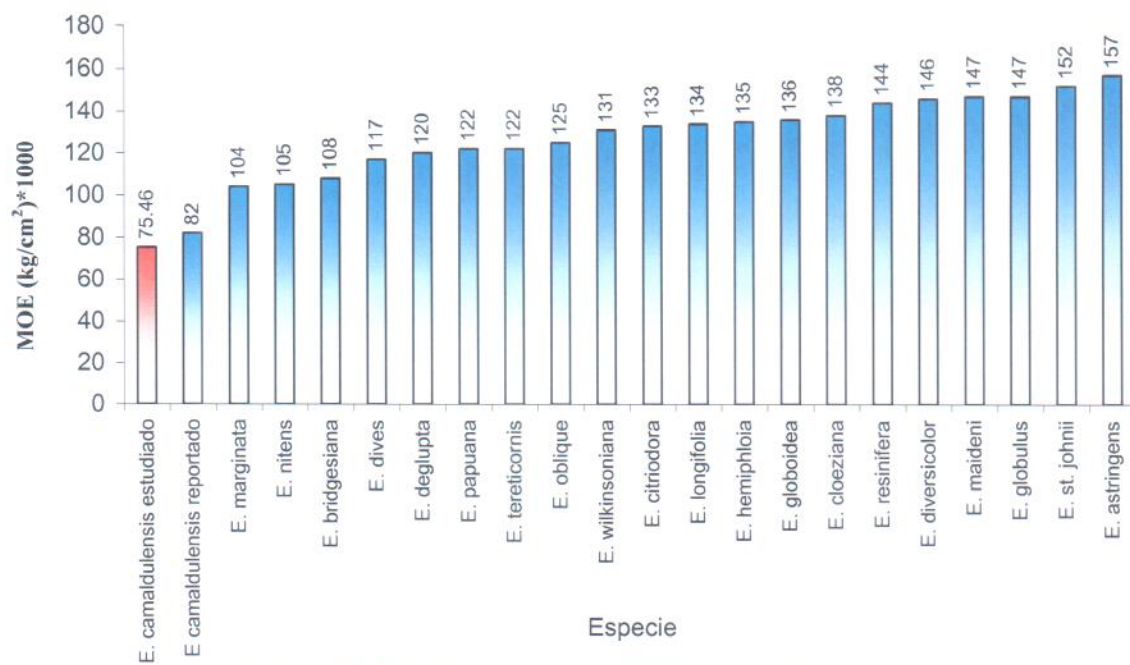


Figura 35. Flexión estática (MOE) en condición verde.

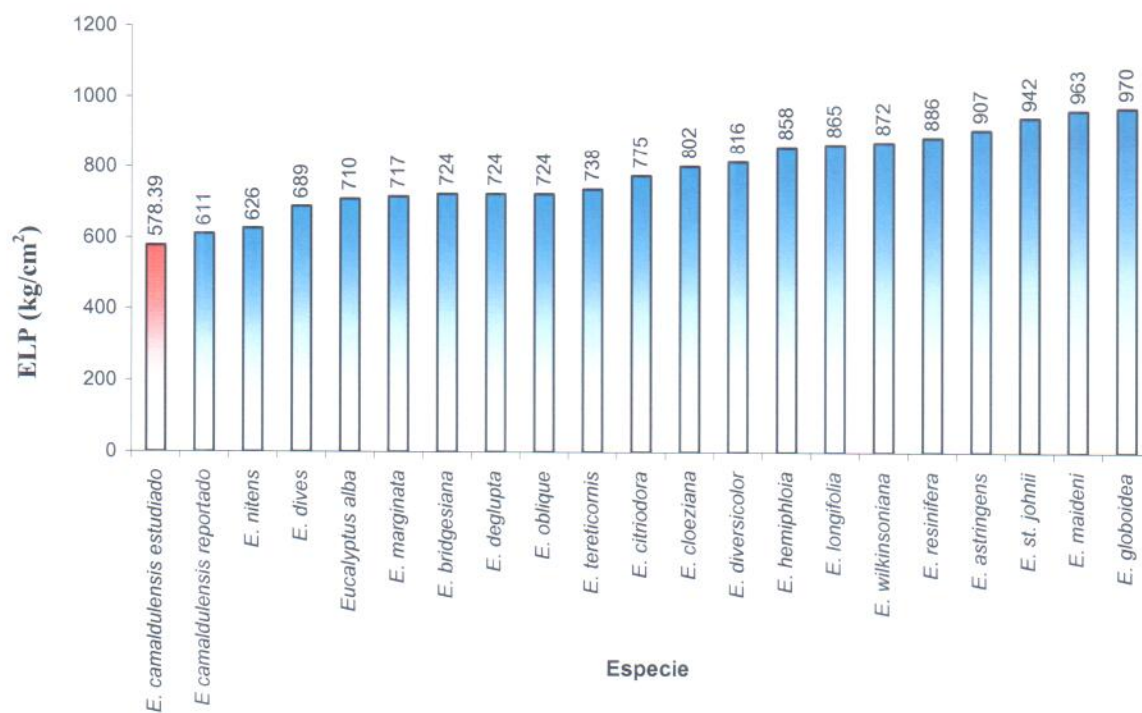


Figura 36. Flexión (ELP) en condición seca

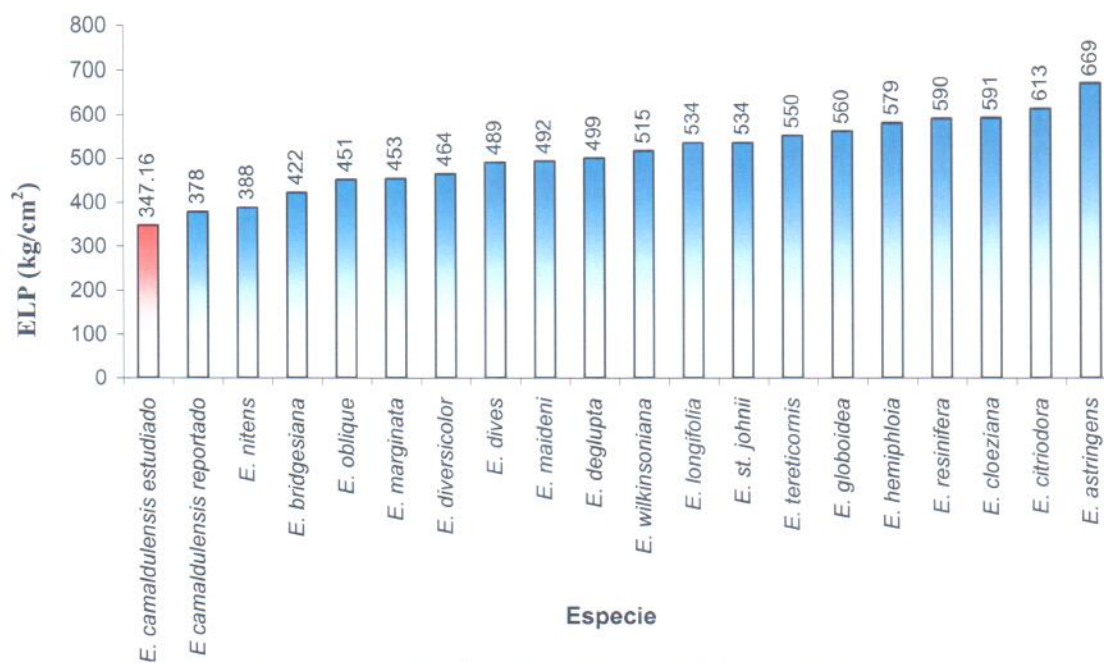


Figura 37. Flexión (ELP) en condición saturada

En el ensayo de flexión el MOE y ELP, el *E. camaldulensis* presenta valores bajos en comparación con el resto de los eucaliptos, sin embargo se comporta de forma similar al *E. camaldulensis* reportado por Miller (2001).

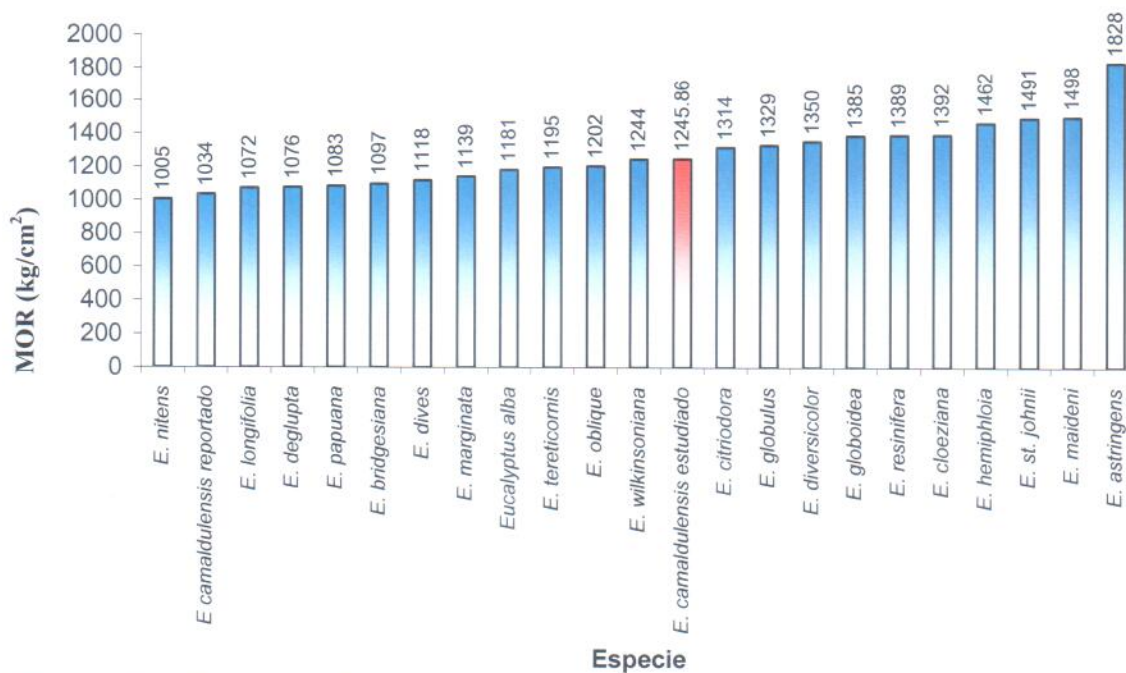


Figura 38. Ensayo de flexión (MOR) en condición seca de diferentes especies de eucaliptos

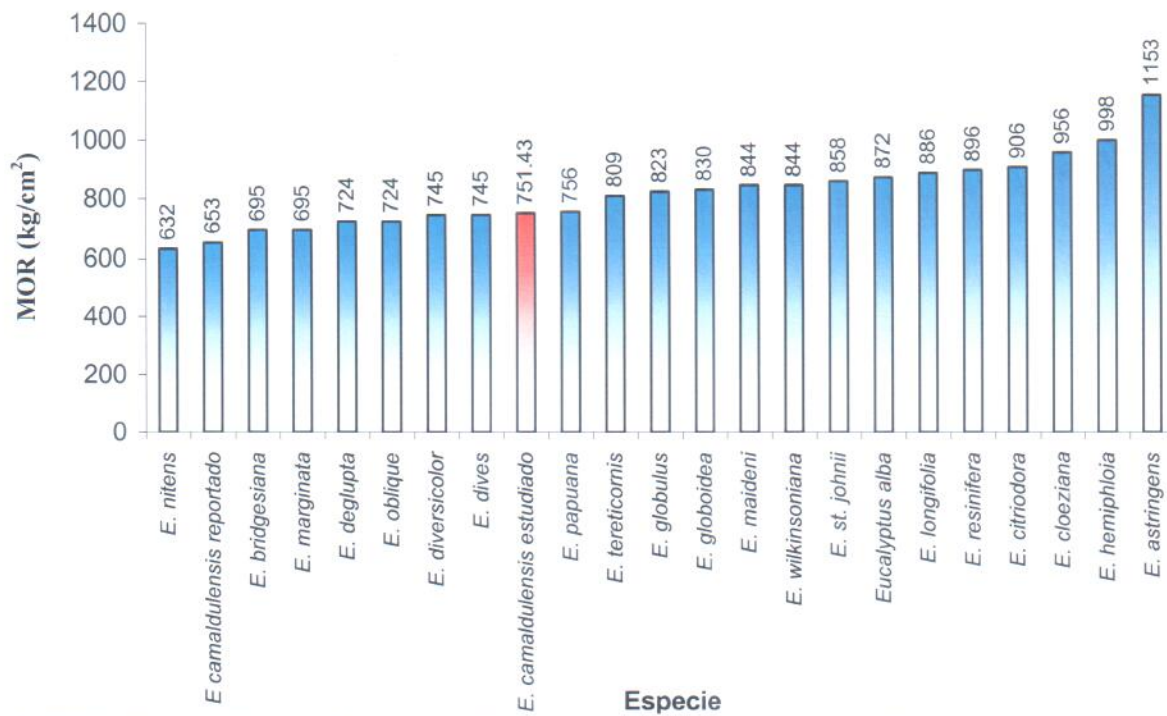


Figura 39. Ensayo de flexión (*MOR*) en condición saturada de diferentes especies de eucaliptos

En cuanto al *MOR*, *E. camaldulensis* estudiado se encuentra en los valores promedio de los eucaliptos, sin embargo ya no sigue la misma tendencia que el reportado ya que este último se encuentra en los valores más bajos. Relacionando este parámetro con la densidad, es natural que *E. camaldulensis* siendo una madera con una densidad promedio dentro del grupo de los eucaliptos, manifieste con valores promedio en las demás propiedades, especialmente en las de resistencia mecánica ya que estas están muy relacionadas con la densidad y el contenido de humedad de la madera.

7.3.2. Compresión paralela a las fibras

En la tabla 7 se presentan los resultados promedio para el ensayo de compresión paralela obtenidos en condición seca para *E. camaldulensis*.

Tabla 7. Resultados del ensayo de compresión paralela a las fibras realizado para la madera de *E. camaldulensis* en condición seca (14%) (8 probetas)

PARAMETRO	VALOR DEL ENSAYO (kg/cm ²)	SD	CLASIFICACIÓN*
Esfuerzo en el LP	428.91	38.41	**Media
Módulo de Ruptura (MOR)	593.57	54.23	* Medio
Módulo de Elasticidad (MOE)	102710	45.40	

* Fuentes (1998) ** Novelo (1964) SD= Desviación estándar

La madera es medianamente resistente, así que si se usa como apoyo en construcciones deben de realizarse los cálculos respectivos. Para este ensayo, Montoya (1995) reporta que la resistencia a la compresión axial es de 522 kg/cm², Gonzalo (2001) reporta valores para la madera juvenil y madura de *E. globulus* y el promedio de estos valores es de E_{LP}: 310.22 kg/cm², MOR: 445.02 kg/cm². Los resultados muestran que para este ensayo, *E. camaldulensis* tiene mayor resistencia que *E. globulus* en condición seca.

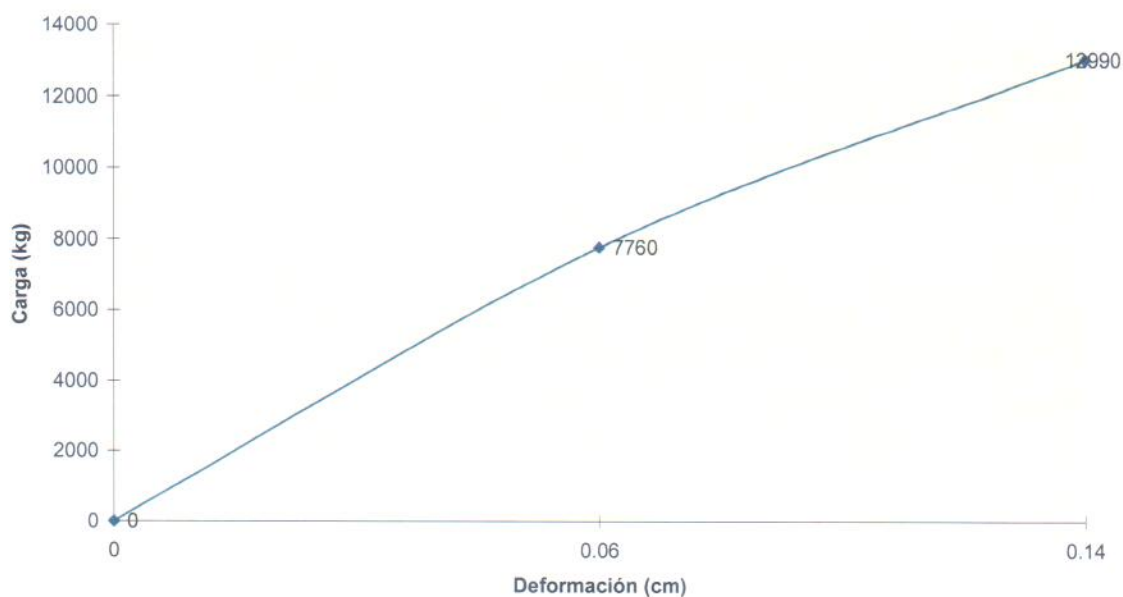


Figura 40. Gráfico carga-deformación para el ensayo de compresión paralela a las fibras en estado seco.

En la tabla 8 se presentan los resultados para el ensayo de compresión paralela en condición saturada.

Tabla 8. Resultados del ensayo de compresión paralela a las fibras realizado para la madera de *E. camaldulensis* en condición saturada (74%) (8 probetas)

PARAMETRO	VALOR DEL ENSAYO (kg/cm ²)	SD	CLASIFICACIÓN*
Esfuerzo en el LP	375.38	41.36	** Media
Módulo de Ruptura (MOR)	450.91	99.12	* Medio
Módulo de Elasticidad (MOE)	85450	19.31	

* Fuentes (1998) ** Novelo (1964) SD= Desviación estándar

Estos valores son naturalmente mas bajos que los de condición seca, y generalmente el uso es esta última condición no es muy común.

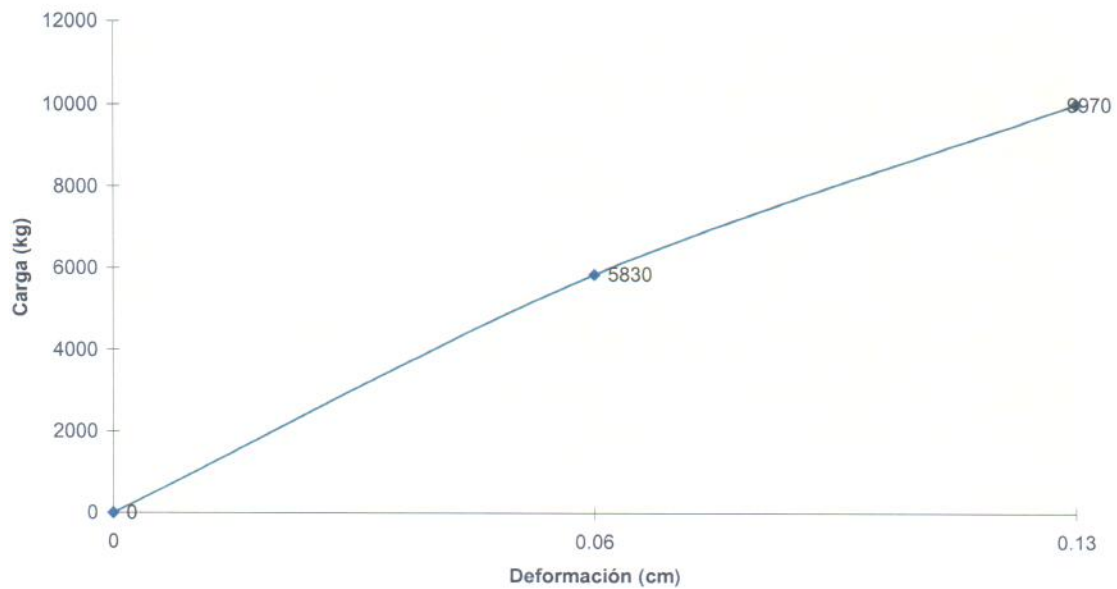


Figura 41. Gráfico carga-deformación para el ensayo de compresión paralela a las fibras en condición saturada

En las Figuras 42 y 43 se muestran información de varios eucaliptos, dicha información fue recopilada por Miller (2001), y se hace una comparación de los valores de los parámetros reportados por este autor y los obtenidos en este estudio.

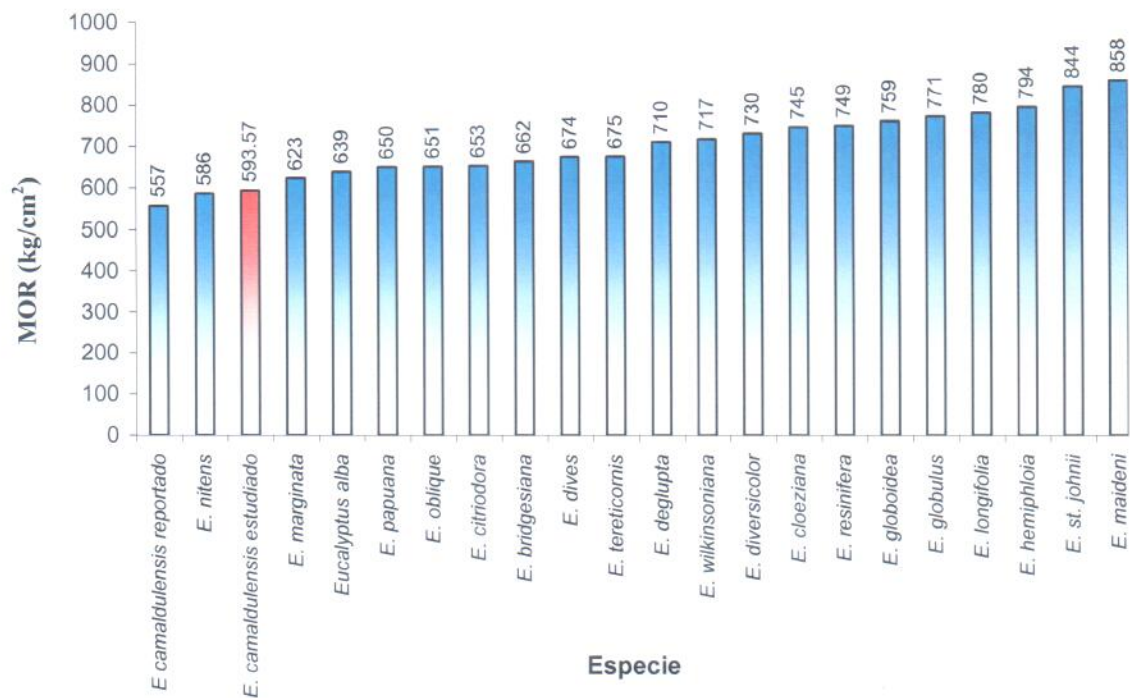


Figura 42. Ensayo de compresión paralela (*MOR*) en condición seca de diferentes especies de eucaliptos

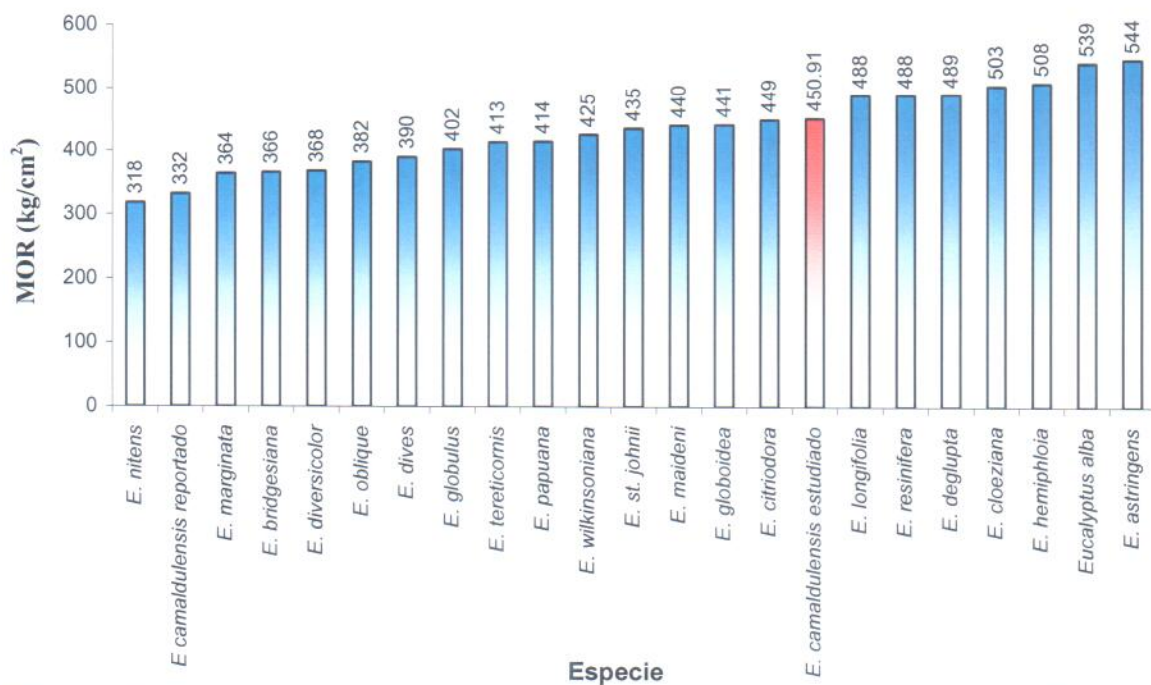


Figura 43. Ensayo de compresión paralela (*MOR*) en condición saturada de diferentes especies de eucaliptos

Los resultados de este ensayo revelan que los *E. camaldulensis* estudiado y reportado presentan valores similares en cuanto al MOR en condición seca y estos valores son de los más bajos dentro del grupo de los eucaliptos (Figura 45). En lo que se refiere al MOR en condición verde, *E. camaldulensis* (estudiado) se encuentra entre los valores promedio de los eucaliptos.

7.3.3. Compresión perpendicular a las fibras

Los resultados de compresión perpendicular en condición seca se presentan en la tabla 9.

Tabla 9. Resultados del ensayo de compresión perpendicular a las fibras realizado para la madera de *E. camaldulensis* en condición seca 11.4%) (8 probetas)

PARAMETRO	VALOR DEL ENSAYO (kg/cm ²)	CLASIFICACIÓN*
Esfuerzo en el LP	174.17	* Muy alta
Módulo de Ruptura (MOR)	430.49	

* Fuentes (1998)

La madera se clasifica en un nivel de muy alta resistencia a este esfuerzo; lo que quiere decir al realizar los cálculos de resistencia, que los valores que se obtengan indicaran que puede ser sometida a grandes esfuerzos.

Los valores promedio de madera joven y adulta reportados por Gonzalo (2001) para *E. globulus* son E_{LP}: 68.1 kg/cm² y MOR: 100 kg/cm². En este caso se observa claramente que la madera de *E. camaldulensis* tiene mayor resistencia

que la madera de *E. globulus*, cabe destacar que esta última posee menor densidad básica (0.54 g/cm^3).

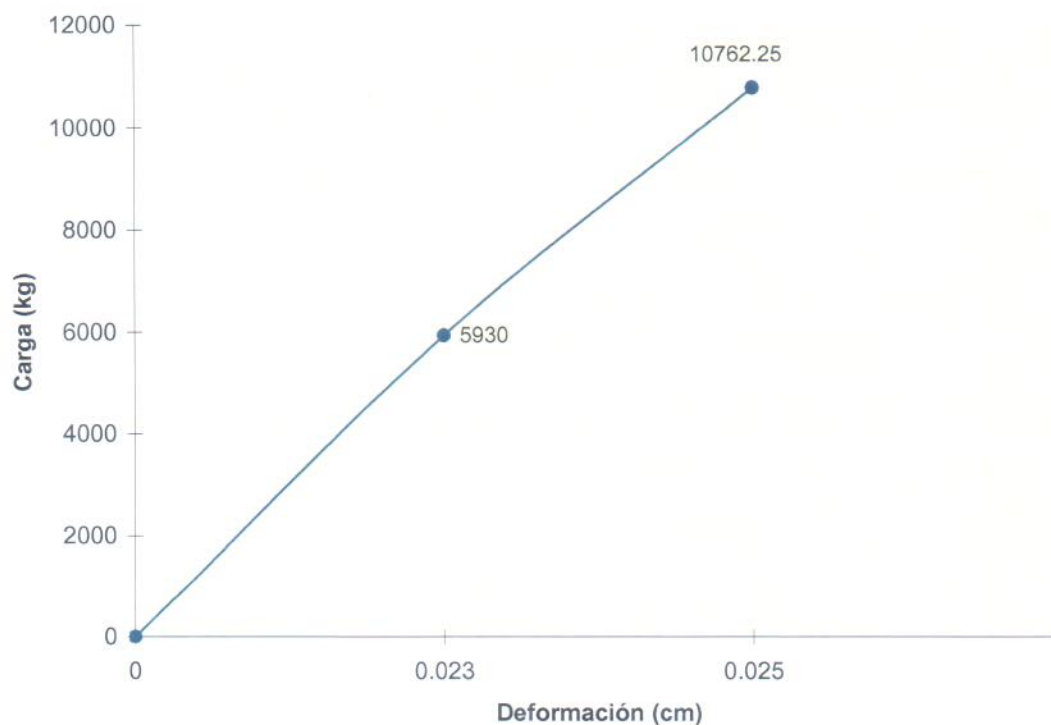


Figura 44 Gráfico carga-deformación para el ensayo de compresión perpendicular a las fibras en estado seco.

En la tabla 10 se presentan los resultados obtenidos en el ensayo de compresión perpendicular en condición saturada.

Tabla 10. Resultados del ensayo de compresión perpendicular a las fibras realizado para la madera de *E. camaldulensis* en condición saturada (76%) (8 probetas)

PARAMETRO	VALOR DEL ENSAYO (kg/cm^2)	CLASIFICACIÓN*
Esfuerzo en el LP	103.78	*Alto
Módulo de Ruptura (MOR)	219.85	

* Fuentes (1998)

Puede observarse que los valores en esta condición siguen siendo mayores que los de *E. globulus* en condición seca por lo que puede utilizarse aún cuando este en condición saturada obteniendo buenos resultados.

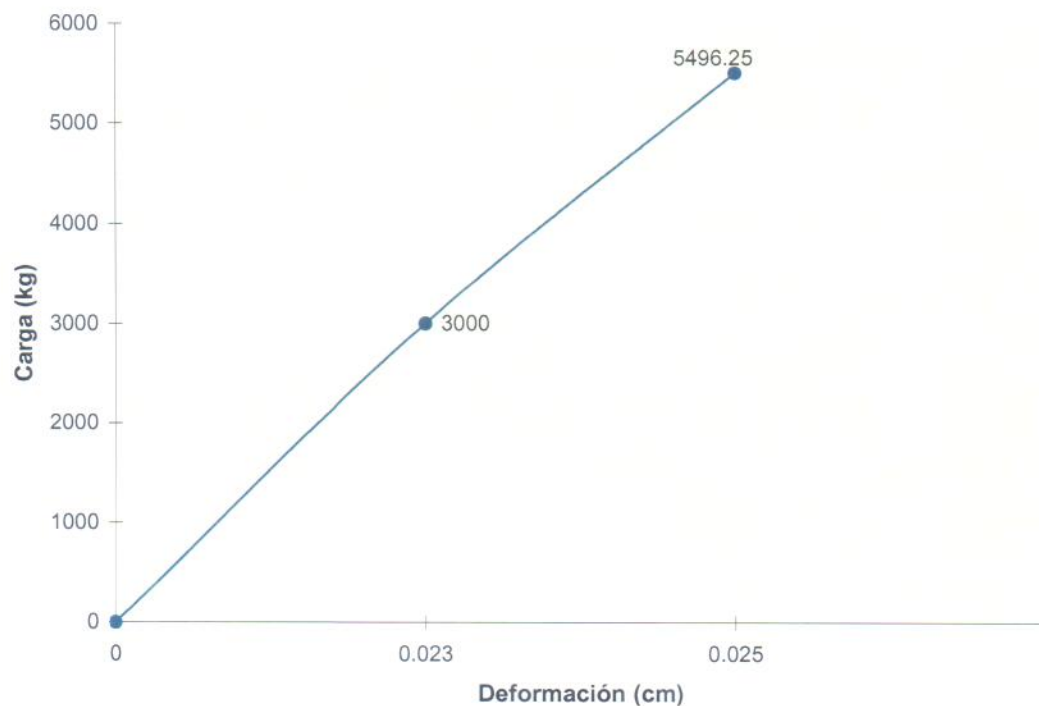


Figura 45 Gráfico carga-deformación para el ensayo de compresión perpendicular a las fibras en estado verde

En las Figuras 46 y 47 se muestran valores de este ensayo de varios eucaliptos, la información que se muestra se basa en Miller (2001); se hace una comparación de los valores de este ensayo reportados por este autor y los obtenidos en este estudio.

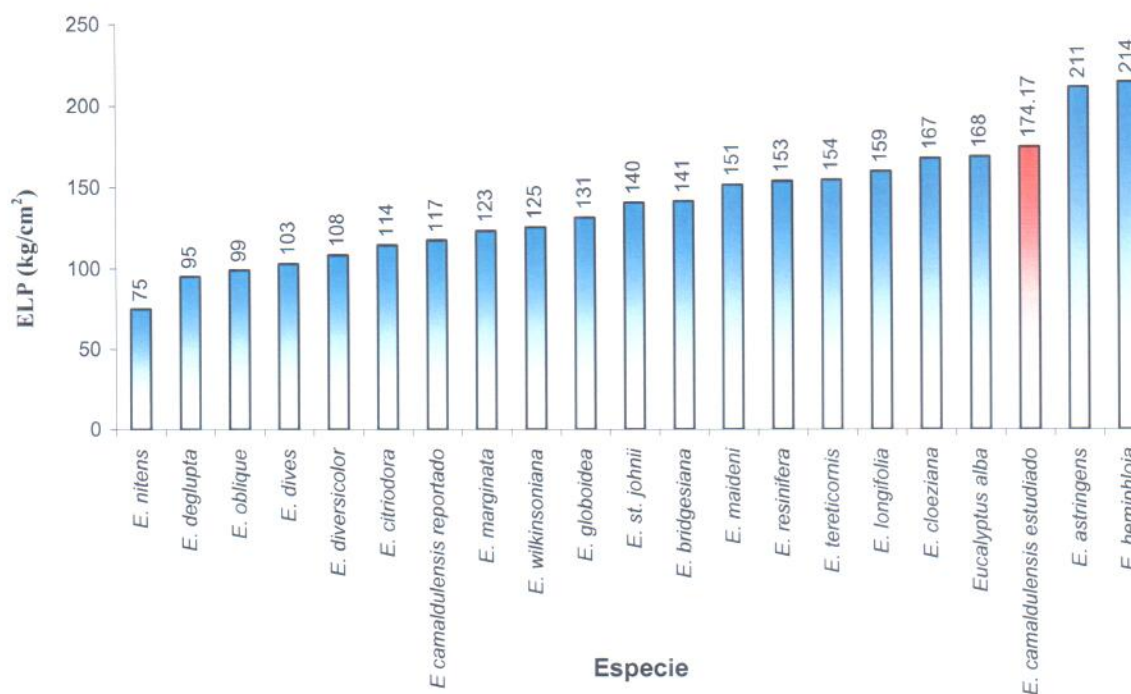


Figura 46. Ensayo de compresión perpendicular (*ELP*) en condición seca

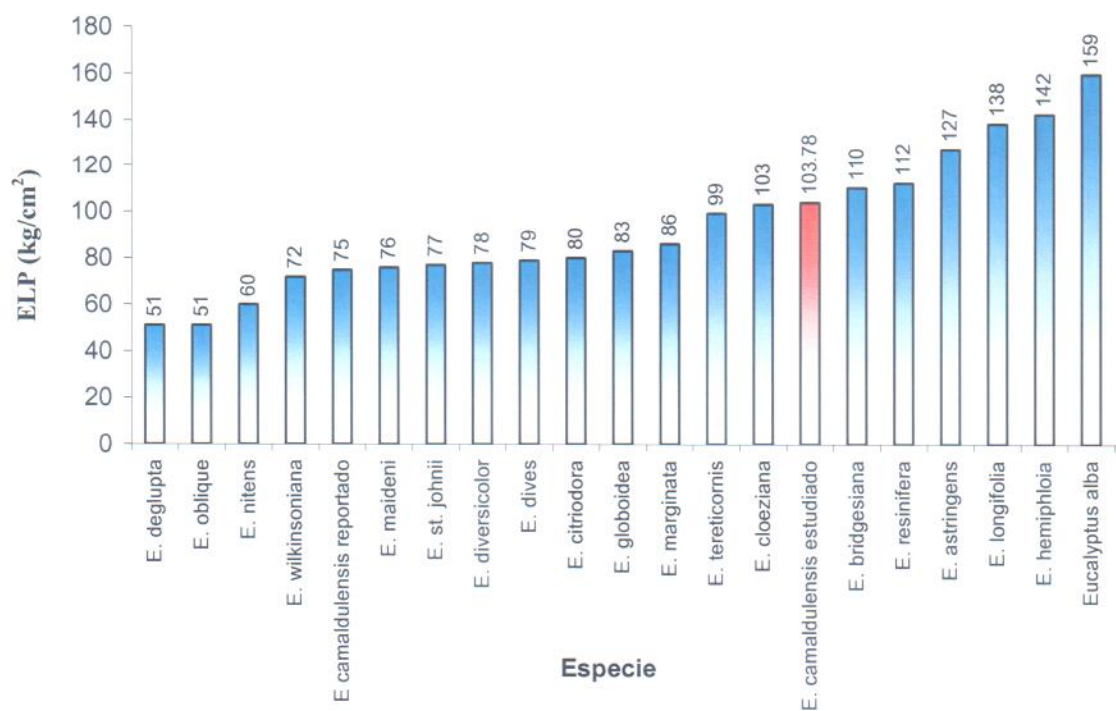


Figura 47. Ensayo de compresión perpendicular (*ELP*) en condición saturada

En este ensayo, en condición seca el *E. camaldulensis* estudiado se encuentra dentro de los valores más altos del ELP (Figura 43) y en condición saturada se encuentra en los valores medios del grupo de eucaliptos (Figura 44). Existe una diferencia en cuanto a los valores del *E. camaldulensis* reportado y estudiado ya que el estudiado presenta valores más altos.

7.3.4. Cortante

En la tabla 11 se presentan los valores obtenidos en el ensayo de cortante en condición seca y saturada.

Tabla 11. Resultados del ensayo de cortante realizado para la madera de *E. camaldulensis* en condición seca y saturada. (16 probetas)

PARÁMETRO	VALOR DEL ENSAYO (kg/cm ²)	CLASIFICACIÓN
CONDICIÓN SECA (11.5% DE CH)		
Esfuerzo máximo radial	157.01	Alto*
Esfuerzo máximo tangencial	169.64	
CONDICIÓN SATURADA (74% DE CH)		
Esfuerzo máximo radial	106.54	Alto*
Esfuerzo máximo tangencial	103.78	

*Novelo (1964)

Según Novelo (1964), el valor obtenido en este ensayo es alto, es decir, que la madera de esta especie tiene una alta resistencia a ser seccionada en su plano longitudinal.

Para este ensayo Miller (2001) reporta valores de diferentes eucaliptos y en la figura 48 se muestra en forma de gráfica la información recopilada por el autor y se hace comparación con los valores obtenidos en este estudio.

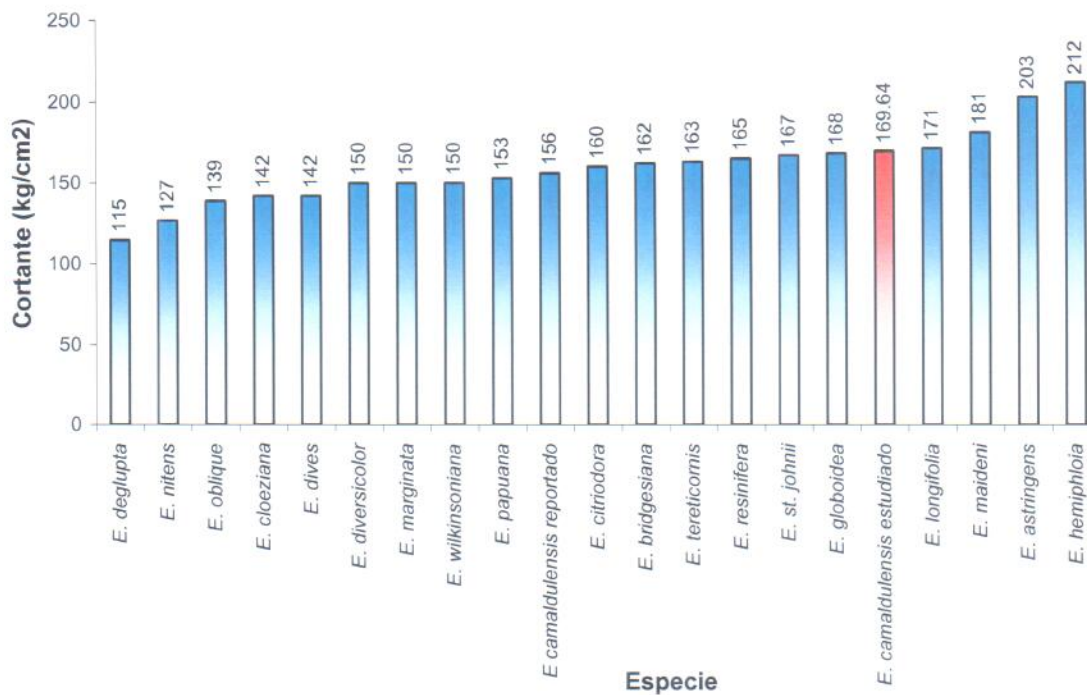


Figura 48. Ensayo de cortante (resistencia máxima) en condición seca de diferentes especies de eucaliptos

En el ensayo de cortante la especie estudiada también presentó valores más altos que la reportada y se ubica dentro de los valores más altos dentro del grupo de los eucaliptos.

7.3.5. Rajado

En la tabla 12 se presentan los valores obtenidos en el ensayo de rajado para la condición seca y saturada.

Tabla 12. Resultados del ensayo de rajado realizado para la madera de *E. camaldulensis* en condición seca y saturada (16 probetas)

PARÁMETRO	VALOR DEL ENSAYO (kg/cm)	CLASIFICACIÓN
CONDICIÓN SECA (11.8))		
Resistencia radial	72.41	Mediana*
Resistencia tangencial	87.62	Medianamente laminable** Poco fisible***
CONDICIÓN SATURADA (72%)		
Resistencia radial	56.35	Mediana*
Resistencia tangencial	67.83	Muy laminable** Poco fisible***

* Pérez (1983)

**Pérez (1983)

*** Díaz (1960)

Se observa que la resistencia al rajado es mayor en el plano tangencial para ambas condiciones. Pérez (1983) clasifica a la madera en la clase de resistencia mediana y medianamente laminable, además como madera para uso corriente; por otro lado, Díaz (1960) la clasifica como poco fisible y la califica como madera para usos especiales, pero recordando siempre que tiene una resistencia mediana a hendirse por consecuencia de la penetración de clavos en su interior.

7.3.6. Tensión perpendicular a las fibras

En la tabla 13 se muestran los valores promedio obtenidos en el ensayo de tensión perpendicular a las fibras.

Tabla 13. Resultados del ensayo de tensión perpendicular a las fibras realizado para la madera de *E. camaldulensis* en condición seca y saturada (16 probetas)

PARAMETRO	VALOR DEL ENSAYO (kg/cm ²)	CLASIFICACIÓN*
CONDICIÓN SECA (11.6%)		
Esfuerzo Máximo Radial	20.46	Baja a mediana adherencia
Esfuerzo Máximo tangencial	31.62	
CONDICIÓN SATURADA (74%)		
Esfuerzo Máximo Radial	19.37	Baja a mediana adherencia
Esfuerzo Máximo tangencial	22.65	

* Vignote y Jiménez (1996)

Puede verse que el esfuerzo máximo tangencial es mayor que el radial en condición seca y saturada. Estos resultados son importantes en el diseño de uniones, ya que los pernos sobre la madera pueden realizar una acción de compresión.

7.3.7. Dureza Janka

La tabla 14 presenta los valores promedio obtenidos en el ensayo de dureza Janka para la madera de *E. camaldulensis* en condición seca y saturada.

Tabla 14. Resultado del ensayo de dureza realizado para la madera de *E. camaldulensis* en condición seca y saturada (32 probetas)

DUREZA		VALOR DEL ENSAYO (kg)	MEDIA	CLASIFICACIÓN*
CONDICIÓN SECA (11.4%)				
Lateral	Radial	1094.6	1044.98	Alta
	Tangencial	995.4		
Transversal		1160.9	1160.9	
CONDICIÓN SATURADA (76%)				
Lateral	Radial	738.23	704.21	Media
	Tangencial	670.19		
Transversal		693.16	693.16	

*Fuentes (1998)

Comparando estos valores con los que reporta Gonzalo (2001) para *E. globulus*, los cuales son dureza lateral: 491.90 kg, dureza transversal: 619.20 kg, se ve claramente que *E. camaldulensis* tiene una dureza mucho mayor que *E. globulus* en esta condición y para este ensayo.

Lo anterior se confirma con los datos reportados por Miller (2001), la información para este ensayo reportada por este autor se muestra en la figura 49.

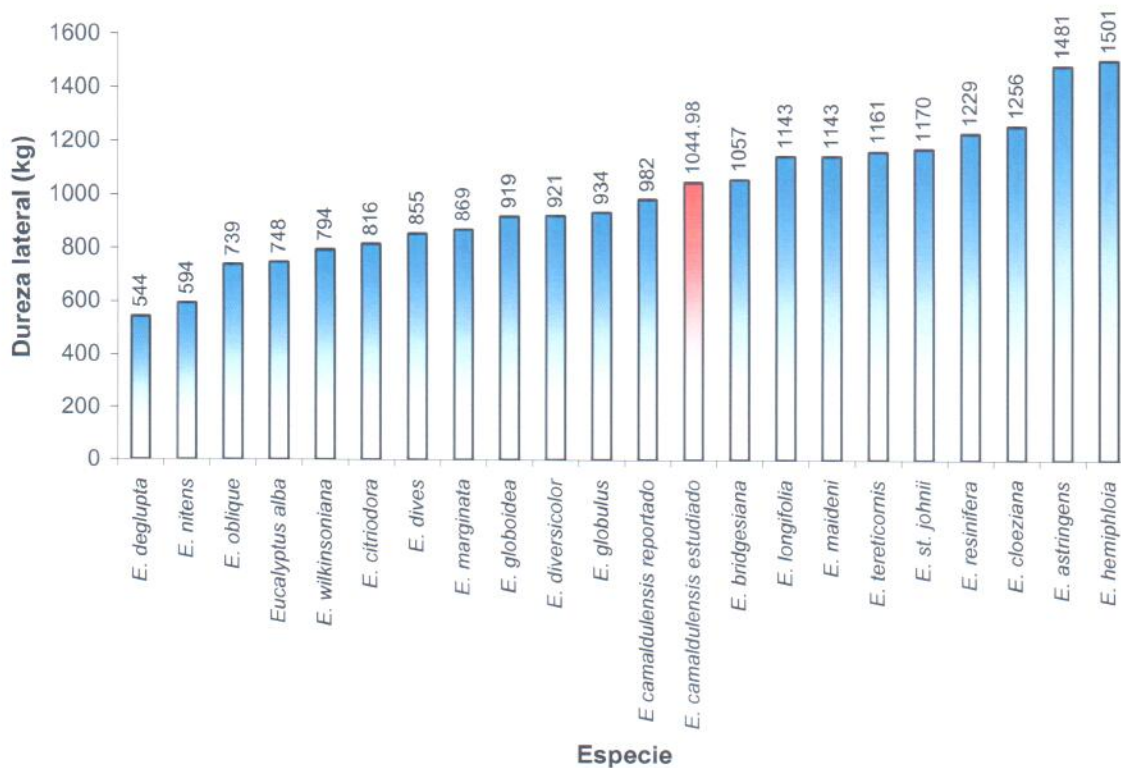


Figura 49. Ensayo de dureza (lateral) en condición seca de diferentes especies de eucaliptos

En lo que se refiere a la dureza de los eucaliptos estos se encuentran entre los valores de 554 a 1501 kg, es decir que existe una gran variabilidad dentro del conjunto de eucaliptos; *E. camaldulensis* estudiado y reportado se comportan de forma similar y se encuentran dentro de los valores promedio.

En el ensayo de flexión resultó que la madera es de resistencia media en condición seca, no así en condición saturada; la madera es muy compresible, tiene una alta resistencia a la compresión perpendicular, así como al rajado, es poco fisible, poco adherente lo cual hace que la madera tienda a rajarse; en lo que respecta a la dureza de la madera, es alta en condición seca y media en estado verde lo cual indica que es difícil que sea penetrada por otro sólido y que puede usarse en aplicaciones que demanden una alta resistencia al desgaste.

8. CONCLUSIONES

La madera de *Eucalyptus camaldulensis* presente fibras con una longitud media. Los rayos son uniseriados y biserados. Los poros son solitarios. Existe variación en la longitud de las fibras en el sentido transversal del fuste siendo la longitud mayor mientras más maduro es del árbol., este comportamiento se repitió en el grosor de pared y el diámetro de las fibras.

El duramen de la madera es de color rojo, en cambio que la albura es de color blanco rojiza, no presenta un olor característico, tiene un sabor amargo y astringente, su brillo es medio, veteado suave, textura fina y el hilo es oblicuo.

El contenido de humedad verde de la madera difiere en albura y duramen.

La densidad básica de la madera es alta. Existe una variación en la densidad básica en el sentido transversal del fuste desde la médula hasta la corteza siendo los resultados mayores conforme se va alejando de la médula. Las contracciones son altas; La relación de anisotropía es alta; el punto de saturación de la fibra es en promedio de 31.6% y el coeficiente de contracción es alto.

En relación a las propiedades mecánicas, en el ensayo de flexión la madera es poco flexible y de resistencia media en estado seco y baja en estado verde. En compresión paralela a las fibras, es muy compresible y medianamente resistente a este esfuerzo; en compresión perpendicular, es una madera con

resistencia mecánica alta. En esfuerzo de cortante, la madera presenta una resistencia alta en ambas condiciones. La resistencia a hendirse por la penetración de clavos, es mediana, la madera es poco fisible y muy laminable y puede destinarse a usos especiales. En el ensayo de tensión perpendicular a las fibras, resultó una madera poco adherente y se califica como madera para rajar. En lo que respecta a la dureza de la madera, es alta en condición seca y media en condición saturada lo cual hace que sea una madera dura y resistente al desgaste

9. LITERATURA CITADA

Aldea Forestal. 2002. Eucalipto. *Eucalyptus camaldulensis* Dehnhardt.

<http://www.aldeaforestal.cl/manual/contenido/especies/camaldulensis/esp01>

[25.htm](#) 20/08/02

Aeroparquet. 2003. Maderas. Zonas templadas. *Eucalyptus camaldulensis*.

<http://www.aeroparquet.com.eucarojo.html> Consulta: 10/02/03

American Society for Testing and Materials. 1992. Standar Methods of Testing.

Small Clear Specimens of Timber. Annual book of ASTM Standars.

Construction section 04.09 wood. ASTM D.143. Philadelphia, USA. pp 42-

71.

Barajas M., J. 1979. La madera y su uso en la construcción n.º 3. Estructura e

identificación. INIREB. Xalapa, Veracruz, México.

Bianchet J., M. (s/f). Ensayos físico mecánicos en Madera de coníferas. Folleto

Técnico Forestal N° 58. Instituto Forestal Nacional. Argentina. 23 p.

Bustamante, E., L. Y Santos, V., J.A. 1983. Aptitudes de diferentes especies del género *Eucalyptus* como materia prima celulósica. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias. Madrid, España.

Dirección General de Normas (D.G.N). 1981. NOM-EE-117-1981. Envase y embalaje. Determinación de peso específico aparente en maderas. Secretaría de patrimonio y fomento industrial. México, D.F. 6 pág.

Dirección General de Normas (D.G.N). 1983. NOM-EE-167-1983. Envase y embalaje-Madera-Contracción líneal. Método de prueba. Secretaría de patrimonio y fomento industrial. México, D.F. 7 pag.

Díaz G., V. 1960. Métodos de ensayo para determinar las propiedades físicas y mecánicas de la madera. Unidad y Enseñanza e Investigación en Bosques. Escuela Nacional de Agricultura. Chapingo, Texcoco, México. 119 p.

Echenique M. R. y R. A. Plumtre. 1994. Guías para el uso de maderas de México y Belice. Universidad de Guadalajara, Universidad de Oxford. México, D. F. 196 p.

Fierros G., A. M. 1978. Ensayo e introducción del género *Eucalyptus* en algunas regiones de México. Universidad Autónoma Chapingo. Depto. de Bosques. Tesis de Licenciatura. Chapingo, México. 280 pág.

Flores SC. C. 1962. El eucalipto en Andalucía. Madrid: Ministerio de Agricultura. 24 pág.

Fuentes S. Mario. s/f. Apuntes para el curso de tecnología de la madera. Serie de apoyo académico No. 33. División de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Texcoco, Edo. de México.

Fuentes S. Mario. 1987. Efecto de la digestión en los índices de calidad de pulpa de la madera de *Pinus montezumae*, LAMB. Tesis profesional. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia, Mich.

Fuentes S. Mario. 2000. Estimación del Punto de Saturación de la Fibra (PSF) de las maderas. Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente. 6(1): 79-81.

Gondelles, A., R. 1954. El género *Eucalyptus* en Australia. Informe-Simposium sobre un viaje de estudios. Ministerio de Agricultura y cría. Dirección Forestal. Edit. Bellas Artes, México, D.F. México. Pag. 28-34, 79-104.

Gonzalo H., C. 2001. Características físico-mecánicas en madera joven y adulta de 3 especies de *Eucalyptus*. Proyecto FONTEC.

http://www.aldeaforestal.cl/lemu/Ciencia/articulo2_a.htm

Jane, F., W. 1970. The structure of wood. 2a. edición. Adam. & Charles Black. Londón. 478 p.

Kelsey (1956). The Shrinkage intersection point-its significance and the method of its determination. Forest Product Journal. 6(11): 411-417.

Mangieri, R., H. y Dimitri M., J. 1961. Los eucaliptos en la silvicultura. Editorial ACME. Buenos Aires Argentina. 213 p.

Miller, R., Mc Donough, W. 2001. Woods of the world. Forest word. Versión 2.5 for Macintosh & Windows. Burlington, E.U. CD.

Montoya O., J. M. 1995. El eucalipto. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid España.

Pag 96-97.

Munsell color Company. 1954. Munsell soil color charts. Baltimore, Myriland.

17 p.

Novelo G., G. J. 1964. Posibles aplicaciones de la Madera de cuatro especies tropicales mexicanas en base a sus propiedades físicas y mecánicas. Tesis profesional. Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, Texcoco, Edo. de México. 42 p.

Ona T. T. Sonoda, K. Ito, M. Shibata, Y. Tamai, Y. Kojima, J. Ohshima, S. Yolota, N. Yoshizawa. 2001. Investigation of relationships between cell and pulp properties in *Eucalyptus* by examination of within-tree property variations. Consulta: 13/02/02

<http://link.springer-ny.com/link/service/journals/00226/bibs/1035003/10350229.htm>

Ordóñez V., G. Barcenas y A. Quiroz. 1990. Características físico-mecánicas de la madera de 10 especies de San Pablo Macualtianguis, Oaxaca. Boletín técnico n.º. 21. (LACITEMA). Instituto de Ecología A. C. Xalapa, Ver. 29 p.

Ramírez, M. H., 1977. Estudio dasométrico de una plantación forestal en Chapingo, Mex. Tesis profesional. Escuela Nacional de Agricultura. Chapingo, Tecoco, Edo. México. 137 p.

Torelli, N. 1981. Estudio promocional de 43 especies tropicales mexicanas. Programa de cooperación México-Yugoslavia. 1980-1982. INIF-SFF-SARH. México, D.F.

Tortorelli, L., A. 1956. Maderas y Bosques Argentinos. ACME. Buenos Aires. 910 p.

Vignote, S., y F., Jiménez. 1996. Tecnología de la madera. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Madrid, España.

Wood handbook. Wood as an engineering material. 1999. Forest products society. E.E.U. Capítulo 3 y 4. 24 y 45 pag.

10. ANEXOS

ANEXO 1. Tablas de clasificación de propiedades anatómicas

Clasificación de poros respecto a su ubicación, según Jane (1970)

Distribución	Descripción
Difusa	Distribuida uniformemente en toda la zona de crecimiento
Circular	Poros de cavidad amplia a lo largo del límite externo de los anillos de crecimiento en la madera temprana
Semicircular	Los poros van disminuyendo de diámetro gradualmente hacia la madera tardía

Agrupación, Torterelli (1956)

AGRUPACION	DESCRIPCIÓN
Solitarios	Poros individuales rodeados por otro tipo de elementos
Múltiples	Dos o más poros unidos comprimidos uno contra otro en sentido radial
En cadena	Poros separados pero alineados en series
Agrupados	Poros separados pero distribuidos en grupos de 3 a más.

Clasificación de la cantidad de poros según Jane (1970)

Cantidad N°/mm ²	Clasificación
<2	Muy escasos
2-5	Escasos
5-10	Moderadamente escasos
10-20	Moderadamente numerosos
20-40	Numerosos
>40	Muy numerosos

Diámetro de los vasos según Jane (1970)

Rango en micras	Clasificación
<100	Muy pequeño
100-200	Pequeño
200-300	Mediano
>300	Grande

Longitud del elemento vascular según Terrazas (1984)

longitud (μ)	Clasificación
<300	Extremadamente corta
300-365	Muy corta
365-440	Moderadamente corta
440-660	Mediana
660-760	Moderadamente larga
760-970	Muy larga
>970	Extremadamente larga

Puntuaciones en paredes de los elementos de vaso según Tortorelli (1956)

Tipo	Variedad	Observaciones
Simple		Cavidad uniforme
	Opuesta	Cavidad estrecha en el borde del lumen
Areolada	Alternas	Alineación diagonal
	Escaliforme	Alargados horizontalmente
	Criba	Pequeños en grupos

Perforación entre elementos de vaso según Tortorelli (1956)

Tipo	Observaciones
Simple	Una abertura única grande
Múltiple	Dos ó más aberturas
Orlada	Cuando el remanente de la pared en la abertura forma un margen alrededor
Escaliforme	Varial perforaciones alargadas y paralelas
Reticulada	Varias perforaciones pequeñas en forma de red, numerosas
Efredoide	Aberturas pequeñas, poco numerosas y más o menos circulares

Tipo de fibras según Tortorelli (1956)

Tipo de fibras	Observaciones
Fibras leñosas o libriformes	Pared gruesa y pueden tener puntuaciones simples
Fibras tabicadas	Presentan delgadas membranas transversales subdividiendo el lumen
Fibro-traqueidas	Fibras semejantes a traqueidas, con pared gruesa, lumen angosto, extremos agudizados y puntuaciones areoladas

Clasificación para longitud de fibras Tortorelli (1956)

Longitud (μ)	Clasificación
400 a 900	Cortas
900 a 1600	Medias
Más de 1600	Largas

Diametro de fibras según Tortorelli (1956)

Rango del diámetro (μ)	Clasificación
<25	Finas
25-40	Medianas
>40	Anchas

Clasificación de las paredes de las fibras según Tortorelli (1956)

Magnitud	Clasificación
El lumen es $\frac{3}{4}$ o más del diámetro total de la fibra	Muy delgada
El lumen ocupa $\frac{3}{4}$ a $\frac{1}{2}$ del diámetro total	Delgada
Lumen de $\frac{1}{2}$ a $\frac{1}{3}$ del diámetro total	Gruesa
Lumen menor a $\frac{1}{3}$ del diámetro total	Muy gruesa

Clasificación de los rayos (Tortorelli, 1956)

Abundancia

No/mm	CLASIFICACION
<2	Muy escasos
3-4	Escasos
5-7	Poco numerosos
8-10	Numerosos
10-15	Muy numerosos
>15	Extremadamente numerosos

Altura

ALTURA	CLASIFICACION
<200	Muy bajos
200-500	Bajos
500-800	Medianos
800-2000	Altos
>2000	Muy altos

Anchura

ANCHURA	CLASIFICACION
<25	Muy angostos
25-50	Moderadamente angostos
50-100	Medianos
100-200	Moderadamente anchos
>200	Muy anchos

Clasificación del veteado (Tortorelli, 1956)

Tipo	Características
Pronunciado	Elementos amplios o gruesos, diferencia de color notable
Suave	Término medio respecto al veteado pronunciado y el liso
Liso	Elementos constitutivos apenas perceptibles a simple vista, coloración uniforme

Clasificación de la textura (Tortorelli, 1956)

Tipo	Características
Gruesa	Elementos constitutivos amplios, diámetro de poros >250 μ , rayos grandes y parénquima abundante
Fina	Elementos constitutivos pequeños, menores a 150 μ de diámetro, parénquima escaso y fibras abundantes
Media	Término medio entre las anteriores, poros de 150 a 250 μ .

Clasificación del hilo (Tortorelli, 1956)

Tipo	Características
Derecho	Dirección paralela al eje vertical del fuste del árbol
Oblicuo	Se desvía formando un ángulo con el eje, se nota en la cara tangencial
Entrecruzado	Tiene dirección opuesta y alterna en anillos sucesivos
Crespo	La dirección del haz longitudinal es regularmente ondulado

ANEXO 2. Tablas de clasificación de propiedades físicas

Clasificación de la densidad básica (Vignote y Jiménez, 1996)

Db (gr/cm ³)	Clasificación
<0.40	Muy ligera
0.40-0.49	Ligera
0.50-0.59	Semipesada
0.60-0.70	Pesada
>0.70	Muy pesada

Densidad al 12% de CH según Díaz (1960)

Coníferas		Latifoliadas	
Db (gr/cm ³)	Clasificación	Db (gr/cm ³)	Clasificación
<0.40	Muy ligera	<0.50	Muy ligera
0.40-0.5	Ligera	0.50-0.65	Ligera
0.50-0.6	Semipesada	0.65-0.80	Semipesada
0.60-0.70	Pesada	0.80-1.00	Pesada
>0.70	Muy pesada	>1.00	Muy pesada

Clasificación de las contracciones lineales presentada por Fuentes, (s/f)

Clasificación	Tangencial		Radial	
	Tv at ₀	Tv at ₁₂	Rv ar ₀	Rv ar ₁₂
Muy baja	<3.5	<2.5	<2.0	<1.0
Baja	3.6-5.0	2.6-4.0	2.1-3.0	1.1-2.0
Media	5.1-6.5	4.1-5.5	3.1-4.0	2.1-3.0
Alta	6.6-8.0	5.6-7.0	4.1-5.0	3.1-4.0
Muy alta	>8.1	>7.1	>5.1	>4.1

tv, rv, vv = dimensiones en estado verde.

t₀, r₀, v₀ = dimensiones en estado anhidro.

T₁₂, r₁₂, v₁₂ = dimensiones al 12% de CH.

Coefficiente de contracción volumétrica presentada por Fuentes, (1998)

Rango (%)	Clasificación
<0.25	Muy bajo
0.26-0.40	Bajo
0.41-0.50	Medio
0.51-0.63	Alto
>0.63	Muy alto

Clasificación de la madera según su relación de anisotropía, Ordóñez (1990)

Rango	Clasificación
<1.5	Muy estable
1.5 a 2.0	Estable
2.0 a 2.5	Moderadamente estable
2.5 a 3.0	Inestable
>3.0	Muy inestable

ANEXO 3. Tablas de clasificación de propiedades mecánicas

Flexión Estática

Resistencia unitaria a flexión estática a un 12% de CH, según Novelo (1964)

Resistencia unitaria en kg/cm^2	Clasificación
<1100	Baja
1100 a 1800	Media
>1800	Alta

Clasificación del MOR y MOE según Novelo (1964)

Nivel y valor	MOR (kg/cm^2)	MOE (kg/cm^2)
Muy bajo	<400	<70
Bajo	401-900	70-100
Medio	901-1350	101-150
Alto	1351-1800	151-200
Muy alto	>1800	>200

Compresión paralela

Resistencia unitaria a compresión axial a un 12% de CH según Novelo (1964)

Resistencia unitaria en kg/cm^2	Clasificación
250 a 350	Baja
350 a 450	Media
450 a 600	Alta

Clasificación de la compresión paralela al 12% de CH según Fuentes (1998)

Compresión paralela (kg/cm^2)	Nivel
<300	Muy baja
301-450	Baja
451-700	Media
701-950	Alta
>950	Muy alta

Compresión perpendicular

Clasificación de la compresión perpendicular al 12% de CH según Fuentes (1998)

Compresión paralela (kg/cm^2)	Nivel
<35	Muy baja
35-75	Baja
76-120	Media
121-175	Alta
>175	Muy alta

Cortante

Clasificación de la resistencia unitaria a cortante según Novelo (1964)

Rango (kg/cm^2)	Clasificación
50-70	Baja
70-100	Media
100-160	Alta

Rajado

Resistencia al esfuerzo máximo al clivaje (rajado) (Rcl) al 12 % de CH según Pérez (1983)

Rcl	Clase
<62	Pequeña
62 a 124.5	Mediana
>124.5	Grande

Clivaja (fisilidad). Cuota de fisilidad (Cf) al 12% de CH, (MOR/(100Dh)) (Díaz, 1960)

VALOR	CLASIFICACION	CALIFICACIÓN
<0.20	Muy fisible	Madera fácil de rajar
0.20-0.30	Fisible	Madera para usos generales
>0.30	Poco fisible	Madera para usos especiales

Tensión perpendicular

Clasificación del esfuerzo máximo a tensión perpendicular (Tp) y cota de calidad (Ca) según Vignote y Jiménez (1996)

Tensión perpendicular al 12% de CH (kg/cm ²)			
Tp	Clase	Ca	Clase
25	Baja	0.15-0.30	Baja adherencia
25-45	Mediana	0.30-0.45	Mediana adherencia
>45	Alta	0.45-0.60	Alta adherencia

Dureza

Clasificación de la dureza Janka según Fuentes (1998)

Valor (kg/cm ²)	Clasificación
<200	Muy baja
201-400	Baja
401-800	Media
801-1200	Alta
>1200	Muy alta