

UNIVERSIDAD DE COSTA RICA
CENTRO AGRONOMICO TROPICAL DE INVESTIGACION Y ENSEÑANZA
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS FORESTALES

ESTUDIO TECNOLOGICO DE DOS ESPECIES MADERABLES
EXOTICAS, EUCALYPTUS DEGLUPTA BLUME Y EUCALYPTUS
SALIGNA SMITH, EN COSTA RICA

TESIS SOMETIDA A LA CONSIDERACION DE LA COMISION DE ESTUDIOS DE POSTGRADO
DEL PROGRAMA CONJUNTO UCR--CATIE PARA OPTAR AL GRADO DE

Magister Scientiae

DAMASO LORETO ALCANTARA LEON


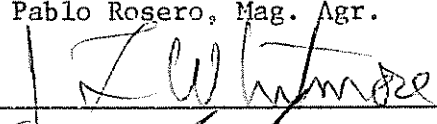
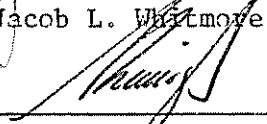
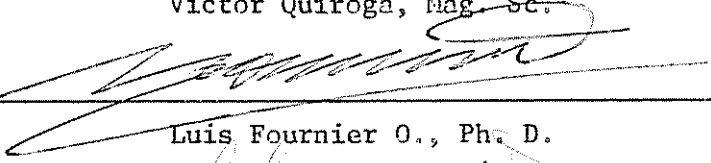
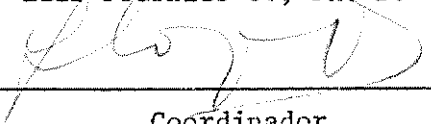
Turrialba, Costa Rica

1975

Esta tesis ha sido aprobada en su forma presente por la Comisión de Estudios de Posgrado del Programa Conjunto UCR-CATIE, como requisito parcial para optar al grado de

Magister Scientiae

JURADO:

	Consejero
Pablo Rosero, Mag. Agr.	
	Comité
Jacob L. Whitmore, M. For.	
	Comité
Víctor Quiroga, Mag. Sc.	
	Comité
Luis Fournier O., Ph. D.	
	
Coordinador	
Sistema de Estudios de Posgrado de la Universidad de Costa Rica	

AGRADECIMIENTO

El autor expresa su agradecimiento a las personas e instituciones siguientes:

A los señores miembros del Comité Consejero por la orientación y colaboración brindada durante la ejecución del presente trabajo:

Ing. Pablo Rosero, Consejero Principal, Jefe Encargado del Depto. de Ciencias Forestales y Profesor de Ordenación Forestal, CATIE.

Dr. Luis Fournier, Profesor de Dendrología y Ecología, UCR-CATIE.

Ing. Víctor Quiroga, Profesor de Métodos Estadísticos y Diseños Experimentales, UCR-CATIE.

Ing. Jacob L. Whitmore J., Profesor de Mejoramiento Forestal, CATIE.

Ing. Guillermo González T., Consejero Principal inicialmente y Jefe del Laboratorio de Productos Forestales, UCR-CATIE

A la Universidad Nacional del Centro del Perú (Huancayo), por el otorgamiento de la comisión de estudios.

Al personal del Laboratorio de Productos Forestales, UCR-CATIE, quienes ayudaron y asesoraron en la preparación de la tesis:

Señorita Eugenia Vargas G., Jefe Encargada del Laboratorio de Productos Forestales, especialista en propiedades físicas y mecánicas de la madera.

Señor Luis Fernando Ramírez, Botánico y Anatomista.

Señor Manuel San Román, Químico Industrial, especialista en preservación de la madera.

Ing. Juan Tuk D., ex-encargado de propiedades físicas y me
cánicas de la madera.

Señora Ma Auxiliadora Vega de Brenes, por su delicada la -
bor en los trabajos mecanográficos.

Al Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza y al Gobiern
no de Holanda, por el financiamiento de la beca durante el período de
especialización en la UCR-CATIE.

BIOGRAFIA

Dámaso Loreto Alcántara León, nació en Jauja, Perú, el 11 de diciembre de 1933. Realizó sus estudios primarios en la Escuela de Varones del Distrito de San Lorenzo y secundarios en el Colegio Nacional San José, Jauja y en el Colegio Nacional Hipólito Unánue Lima.

Hizo sus estudios universitarios en la Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Facultad de Agronomía, donde obtuvo el título de Ingeniero Agrónomo en 1958. Igualmente estudió en la universidad mencionada anteriormente, en la Facultad de Ciencias Forestales, obteniendo el título de Ingeniero Forestal en 1968.

Desde abril 1958 hasta abril de 1961 trabajó como Agente de Extensión Agrícola en el Ministerio de Agricultura.

Desde 1962 hasta 1964 se desempeñó como Jefe de Prácticas de Tecnología de la Madera e Industrias Forestales en la Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Nacional Agraria, La Molina, Lima. En 1965 fue profesor de la Escuela de Peritos Forestales, en la Universidad Nacional de la Amazonia Peruana, Iquitos. A partir de junio 1966 hasta la fecha se desempeña como Profesor de Tecnología de la Madera e Industrias Forestales, en la Facultad de Ingeniería Forestal, Universidad Nacional del Centro del Perú. De 1973 hasta diciembre de 1974 fue Jefe del Departamento Académico de Agronomía y Forestales en la misma universidad.

De enero 1974 hasta diciembre 1975, realizó estudios de postgrado en la Universidad de Costa Rica-Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, Departamento de Ciencias Forestales, Turrialba, Costa Rica, donde obtuvo el grado de *Magister Scientiae*.

	Página
I. INTRODUCCION	1
II. REVISION DE LITERATURA	3
A. Investigaciones sobre tecnología de la madera	3
1. Características anatómicas	3
2. Propiedades físicas	5
a. Peso específico	6
b. Contenido de humedad	8
c. Contracción	8
3. Propiedades mecánicas	9
4. Características de secado	10
5. Características sobre preservación	14
6. Trabajabilidad de la madera	16
7. Contenido de sílice en la madera	17
B. Descripción dendrológica de las especies	17
1. <i>Eucalyptus deglupta</i> Blume	17
2. <i>Eucalyptus saligna</i> Smith	20
III. MATERIALES Y METODOS	22
A. Localización del material de estudio	22
1. Selección y procedencia del material	22
B. Población y muestra	23
1. Toma de muestras	23
C. Procesamiento de las muestras en el laboratorio	24
D. Estudio anatómico y morfológico	29
1. Características generales	29
2. Características macroscópicas	29
3. Características microscópicas	29
a. Preparación de cortes micrométricos	30
b. Preparación del macerado	30
c. Fotomicrografías	31
E. Determinación de las propiedades físicas	31
1. Peso específico	31
2. Contracción	32
3. Contenido de humedad	32

	Página
F. Secado de la madera	32
1. Preparación del material	32
2. Apilado	33
3. Control de secado al aire	33
4. Control de secado en cuarto de condición regulada	34
G. Determinación de las propiedades mecánicas	34
1. Preparación del material	34
2. Realización de los ensayos	35
a. Flexión estática	35
a.1 Curva de carga deformación	35
a.2 Tipo de falla	35
a.3 Contenido de humedad de las probetas	35
a.4 Valores obtenidos	35
b. Compresión paralela a las fibras	36
b.1 Curva de carga deformación	36
b.2 Tipo de falla	36
b.3 Contenido de humedad de las probetas	36
b.4 Valores obtenidos	36
c. Compresión perpendicular a las fibras	37
c.1 Curva de carga-deformación	37
c.2 Contenido de humedad de las probetas	37
c.3 Valores obtenidos	37
d. Dureza (Janka)	37
e. Cizallamiento o cortante	38
3. Equipos usados	39
4. Métodos de cálculo	40
H. Contenido de sílice	40
I. Trabajabilidad	40
J. Preservación	41
1. Equipo y material usado	41
2. Tratamiento	42
3. Cálculos	42
K. Usos posibles de la madera	42

	Página
IV. RESULTADOS	43
Descripción de las características y propiedades de la ma- dera	43
A. <i>Eucalyptus deglupta</i> Blume	43
1. Descripción del árbol y de las trozas muestras ...	43
2. Características anatómicas	43
3. Propiedades físicas	46
4. Propiedades mecánicas	50
5. Características de secado	57
6. Características de trabajabilidad y contenido de sílice	59
7. Características de preservación	59
8. Usos	61
B. <i>Eucalyptus saligna</i> Smith	62
1. Descripción del árbol y de las trozas muestras ...	62
2. Características anatómicas	62
3. Propiedades físicas	65
4. Propiedades mecánicas	68
5. Características de secado	72
6. Características de trabajabilidad y de contenido de sílice	72
7. Características de preservación	72
8. Usos	73
V. DISCUSION Y CONCLUSIONES POR ESPECIE	74
A. <i>Eucalyptus deglupta</i> Blume	74
1. Características anatómicas	74
2. Propiedades físicas	74
3. Propiedades mecánicas	75
4. Características de secado	77
5. Características de trabajabilidad	77
6. Características de preservación	77
B. <i>Eucalyptus saligna</i> Smith	79
1. Características anatómicas	79
2. Propiedades físicas	79

	Página
3. Propiedades mecánicas	80
4. Características de secado	82
5. Características de trabajabilidad	82
6. Características de preservación	83
VI. RESUMEN	84
SUMMARY	86
VII. LITERATURA CITADA	88
ANEXO	x

LISTA DE CUADROS

Cuadro N°		Página
1	Valores estadísticos de las propiedades físicas de la madera de <i>E. deglupta</i>	49
2	Propiedades mecánicas de la madera de <i>E. deglupta</i> ...	51
3	Valores estadísticos de las propiedades mecánicas de la madera de <i>E. deglupta</i> , en condición verde y en condición seca al aire	56
4	Valores estadísticos de las propiedades físicas de la madera de <i>E. saligna</i>	67
5	Propiedades mecánicas de la madera de <i>E. saligna</i>	69
6	Valores estadísticos de las propiedades mecánicas de la madera de <i>E. saligna</i> , en condición verde y en condición seca al aire	71
ANEXO		
7	Comparación de las propiedades físicas de la madera de <i>E. deglupta</i> , con madera de la misma especie y otras especies de peso específico similar de diferentes procedencias	92
8	Comparación de las propiedades mecánicas en condición verde de la madera de <i>E. deglupta</i> , con madera de la misma especie y otras especies de peso específico similar de diferentes procedencias	93
9	Comparación de las propiedades mecánicas en condición seca al aire de la madera de <i>E. deglupta</i> , con maderas de la misma especie y otras especies de peso específico similar de diferentes procedencias	94
10	Comparación de las propiedades físicas de la madera de <i>E. saligna</i> , con maderas de la misma especie y otras especies de peso específico similar de diferentes procedencias	95
11	Comparación de las propiedades mecánicas en condición verde de la madera de <i>E. saligna</i> , con maderas de la misma especie y otras especies de peso específico similar de diferentes procedencias	97

Cuadro N°		Página
12	Comparación de las propiedades mecánicas en condición seca al aire, de la madera de <i>E. saligna</i> , con maderas de la misma especie y otras especies de peso específico similar de diferentes procedencias	98

LISTA DE FIGURAS

Figura N°		Página
1	Muestreo para peso específico, contracción radial y tangencial	26
2	Muestreo para ensayos de propiedades mecánicas de la madera	28
3	Relación del contenido de humedad y contracción	47
4	Curvas de carga-deformación en flexión estática	52
5	Curvas de carga-deformación en compresión paralela a las fibras	53
6	Curvas de carga-deformación en compresión perpendicular a las fibras	54
7	Curvas de secado al aire: contenido de humedad-tiempo de secado	58
8	Curva de preservación a presión	60

I. INTRODUCCION

En el mundo actual existe una enorme preocupación, por la falta de planificación y tecnificación para el aprovechamiento racional de los recursos naturales y artificiales, entre estos la madera y los productos del bosque se agotan, e inversamente las necesidades son mayores. Se estima que para el año de 1975 habrá un déficit de 70 millones de m³ de madera (49).

La América Latina cuenta con 940.000.000 de hectáreas de bosques naturales y más de 736.000 hectáreas de bosques artificiales o plantaciones. Mayormente las plantaciones se forman a base de especies del género *Eucalyptus*. Sin embargo, a pesar de contar con estas extensiones considerables, tiene un déficit anual de productos forestales de \$300.000.000 (26, 45). Una de las soluciones efectivas para aumentar el volumen anual de productos forestales, es realizar plantaciones con especies exóticas, promotoras, de rápido crecimiento y adaptabilidad, como son: *Eucalyptus deglupta* Blume y *Eucalyptus saligna* Smith, muy distribuidas en el mundo, así como en Centro América y Sudamérica.

Tanto en los bosques naturales, como en los bosques artificiales, uno de los graves problemas, es el desconocimiento tecnológico de la mayoría de las especies maderables, con características y propiedades deseables que las industrias están desaprovechando.

El conocimiento de la estructura anatómica, propiedades físicas, mecánicas y químicas, aparte del interés científico que lo rodea es de gran importancia industrial para un país.

Los estudios tecnológicos de las maderas, con el uso de normas estandarizadas, permiten conocer las características anatómicas, propiedades físicas, propiedades mecánicas, características de preservación, secado y trabajabili

dad, con base en los cuales se determinan los diferentes usos adecuados de la madera en las industrias forestales.

El presente trabajo se realizó en el Laboratorio de Productos Forestales del CATIE, con muestras procedentes de árboles introducidos y cultivados en la zona de Turrialba.

Los objetivos del presente estudio son determinar: las características anatómicas, las propiedades físicas y mecánicas, las características de preservación, secado, trabajabilidad y contenido de sílice de la madera de cada especie.

Esta información permitirá establecer los posibles usos comerciales de cada una de las especies maderables, servirá como guía para ingenieros, industriales de la madera, constructores y todos los interesados en la utilización de estas dos especies de eucaliptos.

Igualmente serán útiles las informaciones obtenidas, para comparar las propiedades con las de otras especies y finalmente para orientar nuevas investiga - ciones.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

A. INVESTIGACIONES SOBRE TECNOLOGIA DE LA MADERA

1. Características anatómicas.

El estudio de las características anatómicas de la madera es importante para su clasificación e identificación (1, 44). Con base en este conocimiento se puede predecir ciertas propiedades físicas y mecánicas (7, 44); a la vez permite comprender el comportamiento de la madera, en los procesos de tratamiento para su manufacturación e industrialización (44).

La identificación de la madera, una vez extraída del bosque, es posible mediante el estudio y reconocimiento de sus elementos anatómicos, lo cual permite diferenciar la madera de géneros de la misma familia y especies del mismo género (1, 7, 46).

Las variaciones de las características anatómicas de la madera, generalmente afectan considerablemente otras propiedades, como peso específico, resistencia mecánica, propiedades de trabajo, etc.

El color, textura y el grano de la madera son de importancia sobresaliente para ciertos usos; por otra parte los poros, parénquima, radios, fibras, son los elementos más prominentes de la madera y forman los constitutivos más estudiados para determinar las características anatómicas (1).

Algunos trabajos presentan las características anatómicas en forma de claves en tarjetas perforadas, que facilitan la identificación de las maderas (6, 16).

Los elementos constitutivos del leño, las dimensiones de los vasos, fibras, espesor de sus paredes, al igual que las propiedades físicas

y mecánicas de peso específico, contracción, flexión, dureza, etc., varían con las condiciones de herencia y con el medio ambiente: este último especialmente influye en el ritmo de crecimiento. En árboles de crecimiento rápido, las paredes de las células son más delgadas y finas, que en individuos de la misma especie de crecimiento más lento, haciendo más compleja la técnica de los ensayos de maderas, en relación con la de otros materiales. Por consiguiente, la información acerca de las cualidades intrínsecas de la madera de eucalipto es solo relativa y los resultados tecnológicos deben interpretarse con cautela (32, 34, 44).

El color de la madera de los eucaliptos varía en general desde el blanco hasta el rojo oscuro, debido a la presencia de sustancias incluidas en los vasos y fibras, tales como taninos, etc. El color de la madera es una de las características que sirve para determinar la especie, e inclusive a veces es importante para predecir los usos de la madera. Sin embargo, el color de la madera puede variar con las condiciones ecológicas y otros factores (34).

El color de la madera de eucaliptos, varía según la especie de clara o poco coloreada a marcadamente coloreada (9).

En todas las especies, la albura es comparativamente estrecha y de color pálido; el color del duramen es variable de marrón pálido a marrón rojizo oscuro. La textura varía de fina a gruesa, predominando esta última en casi todas las especies. El grano de la madera generalmente es entrecruzado; los canales de goma son prominentes. En este género no hay homogeneidad en la anatomía y las especies se pueden dividir en dos grandes grupos, según la presencia o ausencia de

poros múltiples (34).

La madera de *E. deglupta*, es pesada, de textura gruesa, generalmente presenta un buen veteado en el corte radial de la madera.

El duramen varía de color, desde marrón claro a marrón rojo oscuro (21).

La madera es rojiza y liviana (34). La albura es casi blanca, de 3 a 4 cm de ancho (11).

La altura máxima de los radios de la madera de *E. deglupta* es de 18-20, con un promedio de 10 células. Existen radios uniseriados en un 75 % y biseriados en un 25 % (21).

En un estudio realizado en Brasil con más de veinte mil determinaciones, se llegó a la conclusión que el *E. saligna* es una especie muy variable en su comportamiento, desarrollo vegetativo y características de la madera, en comparación con otras especies de eucaliptos más cultivadas en el país (9).

La madera de *E. saligna* es semioscura, el color varía de castaño a rosado, de rojo a rosado. La textura es mediana, a veces gruesa; el grano es recto, ligeramente entrecruzado y a veces ondulado. El veteado varía de atractivo, sobresaliente a figuras moteadas (9, 32, 34).

Bisset informa que no existe variación significativa en la longitud de las fibras en las maderas de los eucaliptos (5).

Las fibras de la madera de *E. saligna* miden entre 0.09 y 1.5 mm de longitud, el promedio es de 1.15 mm y el ancho tiene un rango entre 0.015 y 0.03 mm (4).

2. Propiedades físicas

Las investigaciones en el campo de la tecnología de la madera muestran que tanto las propiedades físicas como las mecánicas están íntimamente ligadas a la estructura anatómica y su conocimiento permite determinar

uso óptimo de la madera (25, 44).

a. Peso específico

Las variaciones del peso específico generalmente están asociadas con variaciones de las propiedades mecánicas (2, 8, 47).

El peso específico, es una excelente medida de la cantidad de materia sólida presente en la muestra y sirve como un indicador de la cantidad de pulpa que se puede producir. También permite ponderar las propiedades para trabajar la madera y las propiedades de resistencia (2, 34).

Las variaciones del peso específico de la madera ha sido estudiado ampliamente y en muchos casos las diferencias se observan aún en un mismo árbol y entre árboles de la misma especie. Se ha tratado de asociar estas variaciones con las condiciones del sitio, con la velocidad de crecimiento (27, 34, 50), con la proporción del leño temprano y leño tardío (8, 25), con las condiciones silviculturales y el contenido de humedad (27).

La densidad de la madera en un tronco usualmente aumenta linealmente con la distancia desde la médula hacia la periferia y decrece ligeramente con el incremento en altura a partir de la base. Entre árboles de un mismo sitio, la densidad promedio más alta corresponde a los de mayor diámetro basal. En árboles de diferentes zonas ecológicas, la variación de la densidad promedio se debe a factores ambientales (13, 50). El máximo valor de densidad se encuentra en árboles de 50 años de edad (13).

Los eucaliptos tienen un amplio ámbito de peso específico, las maderas más livianas varían de 0.40-0.56 y las más pesadas llegan hasta 1.40 (34).

La densidad de la madera de *E. deglupta*, depende de la edad del árbol, las procedentes de árboles jóvenes, son menos densas y desde luego menos pesadas que las de mayor edad (11).

Heather (21) manifiesta que la madera de *E. deglupta* tiene un uso potencial para construcciones livianas y pesadas y también para muebles y ensambles, debido al hábito tan amplio de variación de la densidad de la madera. Determinó un peso específico de 0.56 - 0.80.

Slooten (41) encontró un peso específico promedio de 0.40 de la madera de *E. deglupta* proveniente de árboles de 15.5 años de edad. En pruebas con muestras de 18 árboles de *E. deglupta*, el peso específico varió entre 0.39 - 1.01 (11, 17).

El *E. deglupta*, ha despertado mucho interés en las últimas décadas, no solamente en Asia y Africa Tropical, sino también en América Central y del Sur, donde se está probando la especie en escala experimental (17).

La madera de *E. saligna*, es una de las más finas y duras, tiene un peso específico de 0.60 (5) y de 0.80 - 1.0 (32).

En Hawaii, en árboles de *E. saligna* de 50 años de edad (con diámetros de 55 - 93 cm) se determinó un peso específico de 0.63 y árboles de 27 años de edad (con diámetros de 40 - 65 cm) un peso específico de 0.55 (13).

Un estudio de la madera de árboles de *E. saligna* de 5, 8, 10, 15 y 20 años de edad, muestra que el peso específico y el diámetro de las fibras, se incrementan con la edad, por el aumento de sustancias de la madera y la longitud disminuye muy ligeramente.

Se observó también un peso específico de 0.56 para árboles de 5 años y de 0.87 para árboles de 20 años de edad (31).

El peso específico varía mucho menos que la densidad y tiene mayor valor para identificar una muestra de madera (34).

Para la clasificación de la madera en base al peso específico se han confeccionado cuadros descriptivos (30).

En resumen, la información existente muestra diversos comportamientos en cuanto a las tendencias de la variación de las características y propiedades de la madera; aparentemente la edad de los árboles y los métodos silviculturales influyen mucho en la densidad y las propiedades mecánicas de la madera.

b. Contenido de humedad

El contenido de humedad de la madera juega un papel muy importante respecto a su comportamiento bajo diferentes usos. Este influye directamente sobre las propiedades físico-mecánicas y en su susceptibilidad al ataque de hongos e insectos. La variación en el contenido de humedad de la madera origina cambios en el volumen, en el peso específico y en la resistencia a los esfuerzos o cargas a que es sometida (8, 27).

El contenido de humedad en las maderas de eucaliptos en condición verde, varía de 33 - 140 %, varía en una misma especie, con la posición del árbol, con la altura, y con la edad. La albura tiene mayor humedad que el duramen (34).

c. Contracción

La contracción es la reducción en el cambio dimensional de la madera y es debida a la disminución del contenido de humedad de la

jo del punto de saturación de las fibras. Esta característica tiene diferentes valores para cada especie y en una misma muestra varía de acuerdo a los ejes estructurales. En el sentido longitudinal es muy bajo, en sentido transversal es considerable y se presenta en la dirección radial y tangencial. La suma de las contracciones en los tres sentidos, origina la contracción volumétrica y en el caso de los eucaliptos es muy grande y puede llegar hasta 22 % (8, 30, 47).

La relación de las contracciones radial-tangencial (R/T), es un índice de la estabilidad dimensional de la madera y permite predecir si la madera durante el proceso de secado, sufrirá defectos de torceduras, colapso, grietas y rajaduras (2, 10, 47).

Cuanto mayor es la diferencia en la contracción radial y tangencial, significa que la distorsión será mayor en el secado. Eventualmente, la madera llega a estabilizar sus dimensiones, con un equilibrio de 12 % de contenido de humedad (34).

La contracción de la madera de eucaliptos, no solo va ligada al contenido de humedad y al punto de saturación de las fibras, sino también al peso específico y a las características histológicas de la madera (32).

3. Propiedades mecánicas

Las propiedades mecánicas proporcionan los datos básicos que requieren los ingenieros civiles, para diseñar las estructuras de madera (23). Dichas propiedades generalmente se estudian en muestras pequeñas libres de defectos, según normas estandarizadas internacionalmente (2, 23, 47).

Entre las normas conocidas mundialmente se tienen las propuestas por:

ASTM : American Society for Testing Materials

AFNOR: Association Francaise of Normalization

BSI : British Standards Institution

DIN : Deutsche Industrie Norm

Las maderas más densas presentan en general valores más altos en sus propiedades mecánicas. La resistencia de la madera aumenta en cierta proporción con el aumento del peso específico (8, 27).

Los esfuerzos de resistencia mecánica de la mayoría de eucaliptos se incrementa desde el duramen hacia la periferia, alcanzando su valor máximo a pocos centímetros de la corteza interna, para luego disminuir ligeramente (34).

En general, hay una gran variación en las propiedades físicas y mecánicas de las maderas de los eucaliptos, debido a varios factores (34). La madera de *E. saligna*, es moderadamente pesada, pero dura e inflexible (15). Los principales ensayos que se realizan para determinar las propiedades mecánicas son: flexión estática, compresión paralela al grano, compresión perpendicular al grano, dureza y cizallamiento (2, 8, 47).

4. Características de secado

El secado ocurre por las diferencias en la presión de vapor, desde el centro de la pieza de la madera hacia afuera (2,10). Los mecanismos que determinan el movimiento del agua en la madera son: capilaridad, gradiente de tensión en el vapor de agua y diferencia en la concentración de agua líquida y del vapor de agua (8).

El secado proporciona estabilidad dimensional a la madera, aumenta su capacidad de trabajo y de usos, reduce el peso, costos de transporte, facilita el tratamiento con preservantes y aumenta la resistencia al ataque de hongos e insectos (2, 10).

Para la evaluación de la velocidad de secado y los defectos de secado, se toma como base la clasificación propuesta en Tropical Woods (22).

Los eucaliptos son a menudo refractarios durante el secado y merece especial atención este proceso, pudiendo ocurrir una considerable degradación y severas pérdidas (34).

Después de abatido los árboles, las maderas presentan severos defectos, como consecuencia de la deficiente realización del proceso de secado de las capas internas, porque la humedad de las mismas no alcanza eliminarse del todo, antes que la superficie externa de la madera se seque y le cierra la salida hacia la atmósfera (gradiente higrométrico muy intenso). La notable diferencia entre los estados higrométricos de las capas internas y externas, origina las tensiones que terminan en grietas, hendiduras y rajaduras profundas. Estas modificaciones en forma, dimensiones, alabeo de las piezas de maderas de eucaliptos, que debido a las diferencias en organización y disposición de los elementos constitutivos del leño, produce una profunda e irregular retractibilidad (9).

El fenómeno de "colapso", ocurre con frecuencia durante el proceso de secado de las maderas de eucaliptos y consiste en un encogimiento regular y anormal, que se produce en la madera cuando su contenido de humedad es relativamente alto. Este fenómeno se presenta en la mayoría de las veces, cuando las cavidades de las células se han vaciado y es ocasionado por la reducción en el volumen de la pared celular

cuando sale la humedad. El colapso se asocia con la remoción de la humedad de las paredes y las tensiones que se originan, que actúan sobre aquellas, produciéndose el colapso si dichas paredes no son suficientemente fuertes para soportarlos (9, 34).

Sin embargo, mediante el reacondicionamiento se eliminan casi totalmente los efectos del colapso. Este tratamiento consiste en exponer la madera secada al aire a una atmósfera de vapor de agua de 100° C durante algunas horas (una hora para muestras de madera de una pulgada de sección transversal).

Las altas temperaturas hacen que las paredes celulares se hagan lo suficientemente plásticas, para permitir la recuperación de su forma original, siempre y cuando la humedad no se condense en las paredes celulares, pues de lo contrario el colapso se repetirá al enfriarse la madera (15).

Si se aplica el tratamiento adecuado, los eucaliptos pueden secarse con éxito y económicamente, con solo pequeñas dificultades. Se practica el secado al aire con buenos resultados y el secado al horno ha sido desarrollado con gran eficacia.

En la mayoría de los casos, se ha encontrado que para la madera de los eucaliptos una combinación de secado al aire y secado al horno, es el procedimiento más satisfactorio y económico. Si solo se seca en horno, el procedimiento requiere más cuidado y es más caro (34).

Las condiciones para el secado de la madera de eucaliptos depende de sus propiedades físicas, las mismas que indican las tendencias del secado de la especie, del aserrado tangencial o radial de la madera y las dimensiones de las tablas (espesor).

Las características físicas son muy variables, y por eso requiere la

aplicación de programas de secados diferentes para cada especie (32, 34).

Deben de intensificarse los estudios de secado, para disminuir o eliminar los defectos de la madera de los eucaliptos, si se desea competir en forma económica con otras maderas, como en postes, durmientes, madera aserrada y parquet (12).

Reyes citado por Heather (21) informa que la madera de *E. deglupta* en Filipinas es difícil de secar, sobre todo cuando se deja secar en el tronco y que en forma aserrada es susceptible a arquearse. Ferguson (11) y Hall (20) indican que el *E. deglupta* no presenta estos problemas. En Nueva Guinea no se encontró esta dificultad y se observó que la madera aserrada seca fácilmente al aire y demuestra un mínimo de fallas (21).

La madera de las especies de *E. deglupta* y *E. saligna*, de acuerdo a sus propiedades físicas y mecánicas, secado y preservación son altamente prometedoras (19).

El aserrado radial de la madera de *E. saligna* no presenta dificultad en el secado y puede secarse al aire o al horno desde material verde, sin embargo requiere mayor cuidado. Durante el secado a veces ocurre un colapso moderado, pero raramente se requiere de reacondicionamiento (34).

La madera de *E. saligna* es poco sujeta a deformaciones durante el secado (32).

Cualquiera que sea el destino de la madera de los eucaliptos, es necesario someterla previamente a un proceso de secado artificial, para el cual es aconsejable reducir la madera a tablas de tamaños y espesores menores, para evitar las grandes contracciones propias y comunes

en la mayoría de eucaliptos (14).

5. Características sobre preservación

La protección de la madera contra el ataque de hongos e insectos es fundamental en la seguridad y economía de las estructuras, construcciones y obras donde se emplea la madera. El tratamiento de la madera con sustancias preservativas prolonga su tiempo de servicio y permite el uso de gran número de especies maderables tradicionalmente conocidas como mediocres (47).

Los preservadores de madera son sustancias químicas, que se diferencian en su efectividad y adaptabilidad a ciertos requerimientos del uso a que va a destinarse la madera (24).

Las sustancias preservadoras de acuerdo a sus características físicas y químicas generalmente se clasifican en: creosotas, oleosolubles e hidrosolubles (24).

En general los métodos de preservación se clasifican en dos tipos:

- a) Sin presión
- b) A presión

Entre los métodos sin presión se tiene: baño frío y caliente, inmersión en frío, difusión, doble difusión, pincelado, aspersion y otros.

Entre los métodos con presión se tiene el de célula llena (Bethel) y el de célula vacía (Lowry o Ruping) (24).

Existen normas como la AWWA (3) y ASTM (2) que indican técnicas de preservación, así como las condiciones que deben reunir algunos preservadores y sus mezclas.

El género *Eucalyptus* incluye un número de especies que pueden ser considerados durables, ya que su madera es poco susceptible al ser

expuesta en condiciones favorables para el ataque de hongos e insectos. Es usual distinguir cuatro clases de durabilidad en las maderas de este género, clasificación que se aplica solamente al duramen. La albura de todas las especies no son durables en condiciones adversas.

En la clase I están las maderas muy durables y pueden tener un promedio de vida de 25 años como poste y de 40 a 50 años cuando es usada en estructuras. La clase IV comprende las maderas muy poco durables y pueden tener un tiempo de servicio de 3 a 5 años como postes y de 8 a 10 años como estructuras. Sin embargo, las maderas de la caase IV pueden conservarse indefinidamente, cuando se mantienen perfectamente secas y protegidas de los ataques de termitas, pudiendo ser tan durables como las maderas de la clase I. En general las maderas de este género son muy fuertes.

Penfold y Willis (34) informan que la albura de muchos eucaliptos es susceptible al ataque de insectos *Lyctus brunneus*, mientras otras comúnmente son inmunes. En las maderas susceptibles antes de ser usadas deben quitarse la albura.

Un tratamiento a presión a célula llena con sales, fue aplicado a postes de *E. deglupta*, obteniéndose como resultados: fácil de tratar, una alta retención y penetración uniforme así mismo se obtuvo un secado rápido, sin serios problemas de defectos dn la madera (19). La durabilidad de la madera es moderada (11, 21).

La madera de *E. saligna*, es medianamente resistente y poco durable cuando se entierra (9).

En Australia, la impregnación del duramen de los eucaliptos, constituye un serio problema en la actualidad, ya que los sistemas de alta

presión no son comercialmente económicos. La albura de los eucaliptos no presenta dificultad alguna para el tratamiento preservador: es importante poder lograr la impregnación del duramen, en aquellas especies que muestren poca resistencia natural a la putrefacción, como en el caso de durmientes, postes y otros productos aserrados, elaborados con especies que crecen mucho más rápidamente que en su país de origen. Por consiguiente, es conveniente contar con algún método que proteja, económica y eficazmente el duramen de los eucaliptos (12).

6. Trabajabilidad de la madera

Las características de "trabajabilidad" o labrado de la madera con herramientas y máquinas, conllevan al establecimiento de su aptitud para usos en los cuales la calidad de las superficies trabajadas es de importancia. La limitada comercialización de muchas especies, se debe a la dificultad para el procesamiento de la madera, desde la tumba del árbol hasta su transformación en algún producto (48).

La calidad de la madera de los eucaliptos, depende de la velocidad de crecimiento y facilidad de su regeneración. Sin embargo, es el género de mayor valor de las latifoliadas en el mundo, siendo las maderas de distintas calidades y extremadamente versátiles para muchos propósitos (34).

En Australia, el *E. saligna* se emplea, para la construcción de viviendas y cajas. En Africa del Sur y Brasil, su calidad como maderas de obras no es notable: sin embargo, tiene un excelente mercado, como madera de minas, leña y pasta para papel (32). Pocas clases de maderas de eucaliptos pueden usarse en puertas y ventanas debido a los altos

valores de coeficientes de contracción (14).

Según la norma establecida por ASTM (2) las maderas en base a las propiedades de trabajabilidad se clasifican en: fáciles, relativamente fáciles y difíciles de trabajar.

8. Contenido de sílice en la madera

El sílice es un constituyente que acumula algunas maderas y que su presencia tiene importancia en las características de trabajabilidad, porque esta sustancia amella el filo de las herramientas y máquinas de trabajo. González (18) informa que algunas maderas como el *Dialium guianensis*, que contienen sílice en cantidad abundante, pueden presentar alta resistencia al ataque de taladradores marinos, por lo que la determinación cuantitativa de esta componente es sumamente importante para ayudar a la definición de la posible utilización de la madera. El sílice es un constituyente común de las maderas del género *Fraxinus*. La mayoría de las maderas contienen solamente trazas (0.01 %), pero muchas maderas tropicales pueden contener 1.0 % o más en peso (29).

B. DESCRIPCION DENDROLOGICA DE LAS ESPECIES EN ESTUDIO

1. *Eucalyptus deglupta* Blume (11, 17, 20, 21, 38, 51)

Familia : Myrtaceae

Sinónimo : *Eucalyptus naudiniana* F.

Nombre común : Kamarere (Nueva Bretaña, Papua Nueva Guinea), leda (Celebes), mindanao gum (Filipinas), didia (Ceram), kojo (Poso), tampai (Toli-Toli), tumbubilato (Boalemo), Komo (Nakenai).

Distribución y hábitaculo: el *E. deglupta* se encuentra naturalmente distribuido en latitud desde 10° N hasta 11° S, longitud desde 118°E hasta 153° E y desde cerca el nivel del mar hasta 2500 m. Proceden de: Mindanao, Célebes, Papua Nueva Guinea, Irian, Jaya y las Molucas (51). En Célebes (Indonesia) ha sido encontrada principalmente en los bosques montañosos, cerca de los ríos Pagawat y Taludjunam. En Nueva Bretaña, forma bosques puros de alta calidad en suelos aluviales, sujetos a inundaciones durante la época más lluviosa.

La especie forma bosques casi puros de extensiones limitadas en áreas aluviales, en zonas de bajura cerca de la costa. Los bosques más extensos se encuentran en Nueva Bretaña, al borde de los ríos.

Aunque el *E. deglupta*, se presenta generalmente cerca de los ríos, ha sido encontrado también en las laderas púnicas del volcán Ulawan en Nueva Bretaña y ocasionalmente en pantanos.

En cuanto a precipitación, la especie ha sido encontrada en su distribución natural, desde 2000 hasta 5100 mm anuales, correspondiendo a un clima tropical lluvioso donde adquiere su óptimo desarrollo en suelos bien drenados.

Descripción del árbol: el *E. deglupta* es un árbol gigante. Se ha encontrado especímenes con alturas mayores a 85 m, y en Filipinas con frecuencia se observan diámetros de 2 m. El tronco es generalmente recto y cilíndrico libre de ramas muertas; las gambas son frecuentes en árboles que crecen en suelos inestables y aluviales, donde pueden llegar hasta una altura de 4 m. A veces en los primeros años el tronco se presenta acanalado, por debajo de las ramas inferiores, pero cuando el árbol alcanza su madurez se supera esta excentricidad,

no obstante esta razón, la primera troza tiene muchas veces un rendimiento bajo. En árboles maduros más del 60 % del tronco está generalmente libre de ramas. Grijpma (17) indica que la forma recta y cilíndrica de árboles jóvenes, ofrece buenas posibilidades para aprovechar los primeros raleos para productos de pilotes y postes de cerca.

La corteza es delgada con un grosor de 3-3 mm cuando fresca tiene un color verde tierno, pero generalmente está cubierta de manchas y franjas verticales de color rojizo, café y pardo.

La copa es moderadamente abierta, en árboles jóvenes tiene forma cónica con las ramas y ramitas aplanadas. En árboles más viejos la copa tiende a aplanarse, mientras las ramas inferiores se curvan con las puntas hacia arriba. Las hojas son horizontales, lo que facilita una mejor captación de la luz; indudablemente es esta posición que le permite captar más luz en la sombra que otros eucaliptos con hojas verticales.

Las hojas jóvenes son pecioladas, opuestas, pero cuando maduran son alternas de un color verde pálido, ovadas, lanceoladas hasta acuminadas. Miden 5-14 cm de longitud y de 2-7 cm de ancho. Las hojas son membranáceas, en contraste con muchas otras especies de eucaliptos que tienen hojas casi coriáceas. No tienen el olor típico de los eucaliptos.

Las flores son blancas, pequeñas y numerosas, presentándose en umbelas que forman panículas terminales y axiales. Las umbelas tienen desde 3 - 7 flores. Las yemas florales son cilíndricas, agudas, pediceladas y miden 5 x 4 mm. El opérculo es cónico, acuminado, tan largo como el tubo del cáliz. Anteras reniformes, con una pequeña

glándula terminal.

El fruto es una cápsula pedicelada, ovoide o globosa con dimensiones de 5 x 4 mm. El disco es delgado con valvas excertas.

2. Eucalyptus saligna Smith (32)

Familia : Myrtaceae

Nombre común: Sydney blue gum y blue gum.

Distribución y hábitaculo: esta especie australiana, se encuentra más a menudo en masas mixtas, junto con las principales especies costeras de Nueva Gales del Sur. También se le encuentra en proporciones muy reducidas, en masas puras, en las estaciones más favorables, en la parte sur de su habitat.

En una faja de 160 km de ancho, a lo largo de la costa del Pacífico, desde el sur de Sydney hasta el extremo de Queensland. En la parte meridional de su área de dispersión, el *E. deanei* (32) y el *E. grandis* (32) recubren el habitat del *E. saligna*.

Requiere intensas lluvias estivales de una media anual de 1020-1520 mm, con temperaturas subtropicales de 6-13° C, con altitudes desde 0-1200 m s.n.m. y suelos medianamente buenos, podsólicos, pesados, margosos húmedos no encharcados.

Descripción del árbol: es un árbol de 35 a 55 m de altura y de 1.20 a 1.50 m de diámetro. La corteza es caduca, desprendiéndose en placas alargadas, salvo a veces en la base del tronco y de color claro con reflejos anaranjados o azulados.

Las hojas jóvenes no son opuestas, en más de cuatro pares, con peciolos cortos, lanceoladas anchas, finas, undadas, de color verde pálido

de 3-6 cm por 2-3 cm.

Las hojas adultas son alternas, pecioladas, lanceoladas estrechas, de 10-20 cm por 1.5-3.0 cm, nervadura fina y regular (60°).

Inflorescencias en umbelas axilares, de 3 a 9 flores; pedúnculo aplastado, anguloso, de 8 - 12 mm.

Las yemas son sésiles o con pedicelos cortos, de 4 a 5 mm de diámetro; opérculo en forma de casquete hemisférico apiculado o rostrado, tan largo como el receptáculo. Las anteras son macranteras.

Los frutos son sésiles o con pedicelos muy cortos; receptáculo ovoide o cilíndrico. Ligeramente campanulado, de 5 a 6 mm de diámetro por 5 a 6 mm de altura; disco plano y bastante fino; valvas a veces exsertas y por lo general a nivel.

El *E. grandis*, es muy semejante al *E. saligna*, se diferencian morfológicamente por detalles sutiles, difíciles de apreciar; por la presencia de yemas glaucas o no.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

A. LOCALIZACIÓN DEL MATERIAL DE ESTUDIO

La presente investigación se llevó a cabo con muestras de maderas procedentes, de las plantaciones experimentales de eucaliptos, ubicadas en los terrenos del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), Turrialba, Costa Rica.

Para hacer el muestreo de las dos especies de eucaliptos, se escogieron los sitios siguientes. Florencia Norte, Florencia Sur, Campo Gamma, Arbo^{retum} Viejo, Bajo Chino y Bajo San Lucas.

Todos estos sitios pertenecen a la formación "bosque muy húmedo premontano", y tienen una temperatura media anual de 23.3° C, precipitación media anual 2.575,5 mm, y una altitud que varía entre 570-690 m s.n.m.; la pendiente 10-20 % y el tipo de suelos: franco-arcillo-arenoso, colorado-arcillo-arenoso y blanco-arenoso (23, 38).

1. Selección y procedencia del material.

Las especies escogidas para el presente estudio fueron: *Eucalyptus deglupta* Bl. y *Eucalyptus saligna* Sm.

Las muestras de maderas de *E. deglupta*, provienen de semillas traídas desde Papua Nueva Guinea; por el Programa de Introducción de especies del Departamento de Ciencias Forestales de Turrialba.

En enero de 1969 se hizo la plantación definitiva en los sitios citados en los párrafos anteriores (38). En enero de 1975, se tumbaron los seis árboles seleccionados, a los seis años de edad.

Las muestras de maderas de *E. saligna*, provienen de semillas procedentes de Brasil, cuyas plantitas se llevaron al terreno definitivo

en noviembre de 1966 (28), con excepción del de Campo Gamma y Arboretum Viejo, que aproximadamente se plantaron en 1962. En enero de 1975, se tumbaron los árboles seleccionados, con edades de 8 años (cuatro árboles) y 12 años (dos árboles).

B. POBLACION Y MUESTRA

Para los fines de esta investigación, se ha considerado como población a todos los árboles de cada una de las especies citadas anteriormente, presentes en los diferentes sitios de las plantaciones forestales experimentales del CATIE, Turrialba, que exhiben un diámetro mínimo de 20 cm, y sanidad, de acuerdo a las normas técnicas.

1. Toma de muestras

Los muestreos tales como: selección de árboles, de trozas, tablones y probetas, se hicieron completamente al azar, usando la tabla de números aleatorios, con la finalidad de que todos los ítems de una especie, tengan la misma probabilidad de entrar en dicho muestreo (18, 23).

En general, el número mínimo de muestras a tomar por especie, es de cinco árboles provenientes de diferentes sitios y dos muestras de cada árbol previamente seleccionado (18).

El procedimiento de muestreo del presente estudio es como sigue:

- a) Con base en el volumen de madera obtenido mediante un inventario forestal, se seleccionaron cuatro sitios diferentes para el *E. deglupta* y seis sitios para el *E. saligna*.
- b) Selección de seis árboles por especie, en proporción al volumen de madera de los diferentes sitios, a los que se marcan, miden y

tumban.

- c) Selección de una troza de 3.20 m de largo de cada árbol talado.

En los árboles tumbados se marcan trozas de 3.20 m en toda la longitud del fuste comercial. La troza de donde se corta el tablón, del cual se obtienen los especímenes para los diferentes ensayos, se escogen con igual probabilidad que para el volumen, con muestras al azar, mediante el método de los diámetros acumulados al cuadrado. Si la troza seleccionada tiene un diámetro mayor de 30 cm, no es necesario enviar dicha troza completa al laboratorio, solo se corta un tablón de 18 cm de espesor, tomando como base los diámetros perpendiculares que se interceptan en la médula. Dichas trozas se rocían con una mezcla de insecticida-fungicida y se empacan de manera que no pierdan humedad durante el transporte hasta el laboratorio (2).

C. PROCESAMIENTO DE LAS MUESTRAS EN EL LABORATORIO

Una vez llegadas las trozas o tablonos al Laboratorio, básicamente se preparan los siguientes grupos de muestras:

1. Discos para el estudio anatómico de la madera. Se extrae un disco de 15 cm de largo de cada troza seleccionada, seis discos por especie, de cada disco se obtienen 5 muestras al azar de 1 x 1 x 1 cm cada una.
2. Probetas para el estudio de las propiedades físicas de la madera. Se extraen dos discos más de 15 cm de largo de cada troza, de los cuales, uno se destina para los ensayos de peso específico, para el que se obtienen de cada disco 5 muestras al azar de 5 x 5 cm cada

una, haciendo un total de 30 muestras por especie (Fig. 1a).

El segundo disco, se destina para las pruebas de contracciones radiales y tangenciales. Se preparan 5 probetas para radiales y otras cinco para tangenciales de 2.5 x 2.5 x 10 cm cada una, haciendo un total de 30 probetas para radiales y 30 probetas para tangenciales (Fig. 1b).

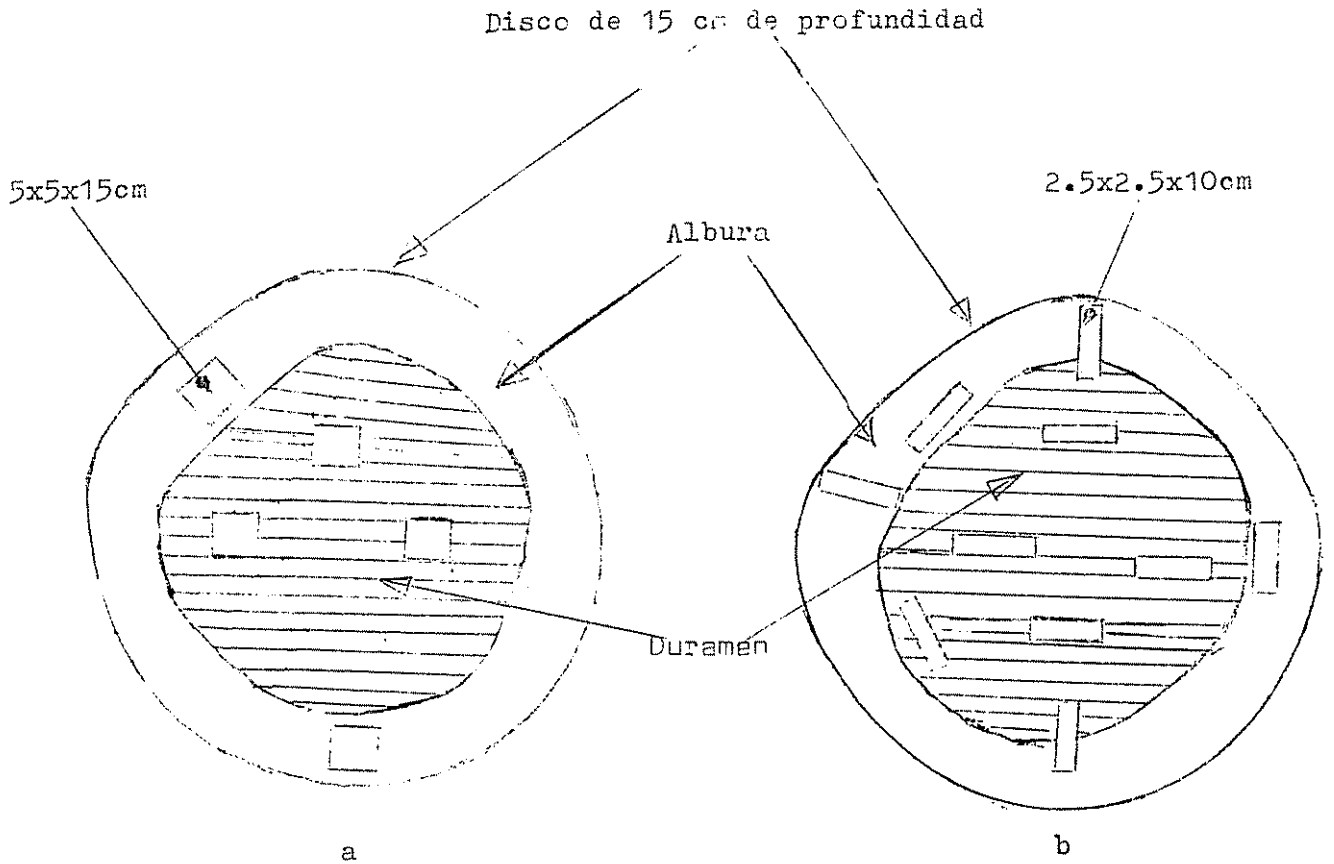


Figura 1. Muestreo al azar según el método estándar ASTM, para ensayos de propiedades físicas de la madera: a) para peso específico y b) para contracción radial y tangencial.

3. Para el estudio de las propiedades mecánicas en condición verde, de cada una de las seis trozas, se extrajo una muestra al azar, haciendo un total de seis probetas por especie.

4. Para el estudio de las propiedades mecánicas en condición seca, se tomó al azar un total de once probetas por especie.

Las probetas en condición seca, para los estudios de secado, preservación, trabajabilidad y contenido de sílice, se obtuvieron de los restantes de cada troza.

El muestreo para las propiedades físicas y mecánicas se basa en el método estándar ASTM (2). Sin embargo, para las propiedades mecánicas se adoptó un diseño modificado (Fig. 2b), debido al menor diámetro y a veces circunferencia irregular de las trozas.

Todos los ensayos, determinaciones y evaluaciones se realizaron en el Laboratorio de Productos Forestales del CATIE, San José, Costa Rica, de acuerdo a las normas técnicas ASTM (2) y los métodos y especificaciones dadas por (23, 47, 48).

Las probetas para cada ensayo, fueron debidamente marcadas para su identificación y análisis de los resultados.

N o r t e

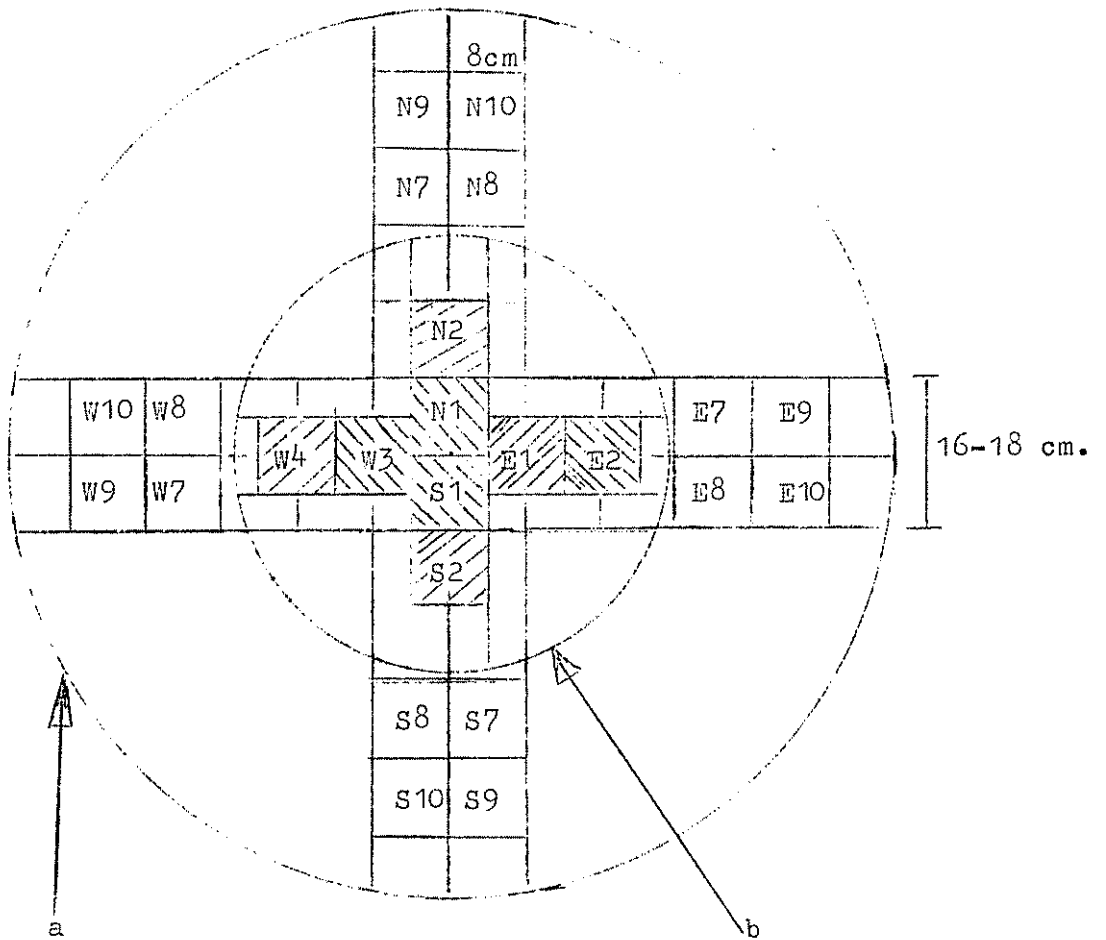


Figura 2. Muestreo para ensayos de propiedades mecánicas de la -
madera: a) método estándar ASTM y b) método modificado.

D. ESTUDIO ANATOMICO Y MORFOLOGICO DE LA MADERA

Las características generales y la estructura anatómica de la madera de cada especie se estudiaron sobre la sección transversal de los discos y sobre las caras radial y tangencial de secciones preparadas para tal efecto.

Las observaciones y descripciones de las características generales se hicieron a simple vista. Para el análisis y descripción de las características macroscópicas se utilizó una lupa de mano de 10 aumentos y un estereoscopio de 20-30 aumentos. La determinación y descripción de las características microscópicas se hizo sobre cortes micrométricos, en preparaciones permanentes, con un microscopio.

1. Características generales

Se describen el color, textura, grano, lustre, figura, olor, sabor y anillos de crecimiento. La determinación del color se hizo por comparación empleando la tabla de Munsell '42). Para las otras descripciones se siguió las guías dadas por (6, 7, 16, 44).

2. Características macroscópicas

Las características de la macroestructura para cada especie, se estudiaron en las secciones: radial, tangencial y transversal. Se describieron: poros, parénquima, radios, floema incluido y canales intercelulares, siguiendo las guías dadas por varios autores (6, 7, 44). Los promedios obtenidos, se basan en 300 mediciones por especie.

3. Características microscópicas

Las descripciones microscópicas para cada especie, se hizo sobre pre-

paraciones de placas permanentes utilizando cortes microtómicos y maceraciones.

Se describen los poros, puntaciones intervasculares y radiovasculares, canales intercelulares, parénquima, radios, fibras, fibrotraqueidas, floema incluido, sustancias inorgánicas y orgánicas, de acuerdo a las direcciones propuestas por los autores (6,7,16,35,46).

Los valores promedios, ámbito y coeficiente de variación obtenidos, se basan en 300 observaciones por especie.

a. Preparación de cortes micrométricos

De cada uno de los discos de madera seleccionados, se prepararon cubitos de 1 cm de lado, con las secciones radial, tangencial y transversal bien orientados.

De cada especie se hicieron 30 preparaciones permanentes, para su estudio en el microscopio, siguiendo las especificaciones dadas por Brazier y Franklin (6).

b. Preparación del macerado

La desintegración del tejido de la madera en células, se efectuó con la finalidad de medir las fibras y los vasos.

Para cada elemento y en cada dimensión se hicieron 300 mediciones por especie. Como resultado de estas mediciones se estimaron valores: promedios, mínimos y máximos (ámbito) con una probabilidad de confianza del 95 %, las variaciones estándares y los coeficientes de variación.

Con los datos obtenidos, se clasificó cada especie según la posibilidad de su utilización en la fabricación de papel, en base al factor de Runkel (37).

c. Fotomicrografías

Las microfotografías fueron tomadas con un microscopio Olympus FH 203125 de cuerpo triocular, acoplada a una cámara fotográfica Olympus PM-6, 212260 y se fotografiaron empleando película ASA 125. La intensidad de luz para el tiempo de exposición fue de 1/25 segundo. El corte transversal se tomó como ocular 15 y objetivo 4, el corte tangencial y radial con ocular 15 y objetivo 10; el condensador para todos los casos fue de 1.25 aumento.

E. DETERMINACION DE LAS PROPIEDADES FISICAS

Las propiedades físicas determinadas en el presente trabajo son las siguientes: peso específico, peso de la madera verde, peso de la madera seca al horno, contracciones radial, tangencial y volumétrica y contenido de humedad.

1. Peso específico (Fig. 1a)

El peso específico es una característica íntimamente relacionado con la resistencia de la madera.

Se determinó según la norma ASTM D 143-52 "Testing small clear timber specimen" (2), con 30 probetas por especie. Se hicieron pesadas, en condición verde, seca al aire (12 % C.H.) y seca al horno (0 % C.H.) y los cálculos como sigue:

Peso unitario verde: peso de la madera verde (gr), dividido por el volumen verde en peso (gr).

Peso específico básico: peso de la madera seca al horno (gr), dividido por el volumen verde en peso (gr).

Peso específico seco al horno: peso de la madera seca al horno (gr),

dividido por el volumen seco al horno en peso (gr).

2. Contracción (Fig. 1b)

La determinación de la contracción se hizo de acuerdo a la norma ASTM D 143-52 (2), en las dimensiones volumétrica, radial y tangencial de verde a seca al aire y de verde a seca al horno. Se utilizó 30 probetas para contracción volumétrica, 30 para contracción radial y 30 para contracción tangencial respectivamente.

Se calculó la razón de contracción radial y tangencial a 12 % de contenido de humedad, para apreciar la estabilidad dimensional de la madera.

De las variables experimentales se obtuvo valores: promedios, desviaciones estándares, límites de confianza (mínimo y máximo) a un nivel de 95 % de probabilidad y el coeficiente de variación.

3. Contenido de humedad

De acuerdo a las normas ASTM (2), se determinó el contenido de humedad de la madera en porcentaje, en condición verde y en condición seca al aire.

F. SECADO DE LA MADERA

El control de secado se realiza con las piezas de madera destinadas para los ensayos mecánicos en condición seca, mediante el procedimiento siguiente:

1. Preparación del material

De las trozas de 20 - 30 cm de diámetro traídas al Laboratorio, se

prepararon 25 muestras de *E. deglupta* y 30 muestras de *E. saligna*, de dimensiones de 8 cm x 8 cm de sección transversal por 1.60 m de largo cada una, bien orientadas en la sección transversal, radial y tangencial, según la dirección de las fibras y los anillos respectivamente (Fig. 2).

Los extremos de cada pieza de madera fueron sellados con parafina en estado de fusión, con el objeto de evitar las rajaduras en la parte axial por efecto del secado.

2. Apilado

Las piezas se apilaron sobre soportas de madera, en una misma dirección, con separadores de madera de 2 cm x 2 cm de sección transversal, dispuestos cada 40 cm con el fin de facilitar la aireación. El secado natural al aire se realizó, en una zona cubierta pero con buena ventilación.

3. Control de secado al aire hasta 1% de contenido de humedad

Durante el período de secado, a una altitud de 1.172 m s.n.m^{*} se tuvo una temperatura media de 20.5 ° C y una humedad relativa de 81 %. Para anotar las pesadas y defectos de la madera se utilizaron formularios recomendados por ASTM y el U.S. Forest Products Laboratory (2, 46).

La evaluación de la velocidad de secado y defectos de secado, se realizaron en base a la clasificación dada por Hess, Wangaard y Dickinson (22).

Las evaluaciones de velocidad y defectos de secado, se hicieron en forma independiente para cada especie (Fig. 7).

* Datos del Servicio Meteorológico de Costa Rica.

4. Control de secado en cuarto de condición regulada

Se observaron y anotaron los defectos que se presentaron durante este período de secado hasta 12 % de contenido de humedad. Seguidamente se procedió a preparar las probetas para cada uno de los ensayos mecánicos.

G. DETERMINACION DE LAS PROPIEDADES MECANICAS (Fig. 2).

Consiste en determinar su aptitud para resistir fuerzas externas, es decir, la resistencia que opone la madera a los esfuerzos y cargas más comunes que soporta cuando está bajo condiciones de trabajo. Dicha resistencia controla los diversos usos a que puede destinarse una madera.

Se realizaron en condición verde y en condición seca los ensayos mecánicos siguientes: flexión estática, compresión paralela a las fibras, compresión perpendicular a las fibras, dureza (Janka) y cizallamiento o cortante. En los ensayos de flexión, compresión paralela y compresión perpendicular, las curvas carga-deformación se obtuvieron por medio de un registrador automático.

Para cada ensayo en condición verde se utilizó seis probetas y para cada ensayo en condición seca once probetas, provenientes de seis trozas de diferentes árboles, por especie.

La preparación de muestras y todos los ensayos en condición verde y en condición seca, se hicieron con base en la norma internacional ASTM D-143 (2), complementadas con las especificaciones dadas por Hoheisel y U. S. Forest Products Laboratory (23, 47).

1. Preparación del material

Para los ensayos mecánicos en condición verde, se prepararon probe -

tas de 5 cm x 5 cm de sección transversal, con cortes laterales a es cuadra, debidamente orientados, con la dirección de las fibras y los anillos de crecimiento. Así mismo, se les dio la longitud requerida para cada ensayo y se trató de obtener probetas libres de defectos. La preparación de las probetas para los ensayos mecánicos en condición seca, se hizo después de terminado el proceso de secado en el cuarto climatizado, siguiendo las mismas indicaciones y dimensiones citadas en el párrafo anterior.

2. Realización de los ensayos

Las diferentes pruebas mecánicas se realizaron utilizando la prensa hidráulica universal RIEHLE, con una capacidad hasta de 30,000 kg.

a. Flexión estática

Con este ensayo, se determina la resistencia de una viga simple, libre de defectos, sometida a un esfuerzo por tiempo corto.

Se utilizó probetas pequeñas de 5 cm x 5 cm de sección transversal por 76 cm de longitud.

Se determinó los elementos siguientes:

- a.1. Curva de carga - deformación (Fig. 4)
- a.2. Tipo de falla
- a.3. Contenido de humedad de las probetas
- a.4. Valores obtenidos. De cada probeta ensayada se obtuvieron los siguientes valores:

Esfuerzo al límite proporcional	(kg/cm ²)
Módulo de ruptura	(kg/cm ²)
Módulo de elasticidad	(kg/cm ²)

Trabajo hasta el límite proporcional (m-kg/dm³)

Trabajo hasta la carga máxima (m-kg/dm³)

Para cada especie se obtuvo el valor: promedio, desviación estándar, coeficiente de variación y límites de confianza mínimo y máximo para un nivel de 95 % de probabilidad.

b. Compresión paralela a las fibras

Sirve para determinar la resistencia de una columna corta al ser sometida a una carga que trata de acortar sus elementos anatómicos. Es uno de los ensayos que mejor permite caracterizar una madera, proporciona datos exactos, ya que no es afectado por esfuerzos cortantes como en el caso de la flexión.

Para la determinación de la resistencia de la madera a la compresión paralela a las fibras, se utilizaron probetas pequeñas de 5 cm x 5 cm de sección transversal, por 20 cm de largo.

Se determinó los elementos siguientes:

b.1. Curva de carga-deformación (Fig. 5)

b.2. Tipo de falla

b.3. Contenido de humedad de las probetas

b.4. Valores obtenidos. De cada probeta se obtuvo los siguientes valores:

Esfuerzo al límite proporcional (kg/cm²)

Esfuerzo máximo (kg/cm²)

Módulo de elasticidad (kg/cm²)

Para cada especie se determinó el valor: promedio, desviación estándar, coeficiente de variación y límites de confianza mínimo y máximo para un nivel de 95 % de probabilidad.

c. Compresión perpendicular a las fibras

Estos ensayos ofrecen la característica, de que no todas las fibras de la madera fallan por el esfuerzo a que están sometidas, sino que las sucesivas capas de la misma son aplastadas una contra otra, actuando la madera como si fuera un material de mucha plasticidad. Mediante estas pruebas se determina el esfuerzo que es capaz de soportar la madera al someterla a una carga que actúa perpendicular a las fibras.

La determinación de la resistencia de la madera a la compresión perpendicular al grano, se hizo utilizando probetas pequeñas de 5 cm x 5 cm de sección transversal por 15 cm de longitud.

Se determinó los elementos siguientes:

- c.1. Curva de carga-deformación (Fig. 6)
- c.2. Contenido de humedad de las probetas
- c.3. Valores obtenidos.

Esfuerzos al límite proporcional (kg/cm^2)

De todos los ensayos se obtuvo el valor: promedio, desviación estándar, límites de confianza mínimo y máximo y coeficiente de variación.

d. Dureza (Janka)

Con los ensayos de dureza se determinan la resistencia o facilidad a la penetración, desgaste y abrasión, que acusan las maderas cuando se trabajan con herramientas y máquinas.

Las pruebas se realizan con probetas de dimensiones de 5 cm x 5 cm de sección transversal por 15 cm de largo, a las que se aplican una carga necesaria para hacer penetrar la mitad de una esfe

ra de acero de 11.854 mm de diámetro, con lo que se logra efectuar un área de un centímetro cuadrado. La resistencia de la madera a estos esfuerzos depende de la abundancia de fibras y escasez de los vasos.

Los valores obtenidos en el ensayo son:

Dureza lateral, como promedio de los valores de las cargas aplicadas en las caras radiales y tangenciales.

Dureza axial, como promedio de las cargas aplicadas en los extremos.

Con los datos que se obtienen se calculan los valores: promedio, desviación estándar, límites de confianza mínimo y máximo, para un 95 % de probabilidad y coeficiente de variación.

e. Cizallamiento o cortante paralelo a la fibra

Esta prueba consiste en someter una muestra de madera a la acción de dos cargas iguales, opuestas y paralelas, que actuando sobre un mismo plano, tienen a producir el desplazamiento de una superficie sobre otra contigua.

Los ensayos para determinar la resistencia de la madera a la ruptura por esfuerzo cortante, se realizaron utilizando probetas de 5 cm x 5 cm de sección transversal por 6.5 cm de largo, con muescas labradas una en sentido radial y otra en sentido tangencial, para obtener la superficie de cizallamiento de 5 cm a lo largo del grano.

Cada serie de ensayos en condición seca se hizo con once probetas por la cara radial y once por la cara tangencial, determinándose en cada una el esfuerzo de ruptura por carga de cizallamiento.

Con los datos obtenidos se calcularon para cada especie el valor promedio, desviación estándar, límites de confianza mínimo, y máximo para una probabilidad de 95 % y el coeficiente de variación.

3. Equipos usados

En la realización de los ensayos mecánicos se empleó el siguiente material:

Prensa hidráulica RIEHLE con capacidad hasta de 30,000 kg, con sus accesorios, con una precisión de 1 %.

Sierra de cinta, canteadora, cepilladora, equipo de carpintería

Balanza mecánica

Balanza eléctrica de 0.1 % de precisión

Cuarto de condición regulada

Horno de secado

Micrómetros

Calibradores

Planímetros

Equipo de oficina

Los resultados experimentales obtenidos en cada ensayo, fueron anotados en formularios previamente elaborados, posteriormente transferidos a tarjetas IBM y procesados en una computadora IBM 1620.

Los programas Fortran utilizados, son los elaborados y empleados por el Laboratorio de Productos Forestales del CATIE para esta clase de estudios. Los datos experimentales se ajustaron al 12 % de contenido de humedad, de acuerdo a las normas dadas por U.S. Forest Products Laboratory (47)

4. Métodos de cálculo

Para el cálculo de las propiedades mecánicas se emplearon fórmulas dadas por varios autores (2, 8, 23, 47).

H. CONTENIDO DE SILICE

Para la determinación del contenido de sílice en la madera, se siguió la metodología de Amos y Dadswell (29).

De las muestras de discos utilizadas en la descripción anatómica de la madera, se prepararon muestras de aserrín, de 40 a 50 gr, se pasaron por un tamiz "U.S. Standard Sieve Series N° 30" para homogenizarla; a su vez se tomaron submuestras de 5-10 gr aproximadamente, se llevaron al horno a 103° C hasta peso constante, de esto se tomó 2-3 gr de muestra, se incineró a 800° C y se obtuvo el contenido de ceniza por diferencia de peso. La ceniza se trató con ácido sulfúrico y ácido fluorhídrico y se midió la pérdida de sílice como tetrafluoruro de silicio. La reacción química es la siguiente:



Los resultados se expresan como porcentaje de ceniza y porcentaje de sílice (SiO₂) en base al peso seco al horno a 103° C.

I. TRABAJABILIDAD

Las características de trabajabilidad de la madera se evaluaron en base a las observaciones realizadas durante las operaciones normales de aserrado y cepillado, llevadas a cabo en la preparación de las muestras para ensayos mecánicos.

La determinación y calificación de las características de aserrado y cepillado de la madera se hicieron en base a la norma ASTM D 1666-73 (2).

J. PRESERVACION

Con el objeto de determinar las características básicas de preservación, concerniente a penetración y retención de preservante en la madera, se siguió el método de impregnar especímenes mediante un tratamiento a presión (24).

1. Equipo y material usado

El tratamiento de la madera se realizó en la planta de preservación del Laboratorio de Productos Forestales del CATIE. La solución preservadora fue preparada a partir de una mezcla de sales concentradas de la siguiente composición:

As₂O₅ 34.0 %; CrO₃ 26.6 %; CuO 14.8 %; agua 24.6 %

Según el estándar P5-72 de la American Wood Preservers' Association (3), la mezcla es un preservante tipo CCA-B hidrosoluble. La solución empleada tuvo una concentración de 1.53 %.

Las estacas de prueba provenían de 6 trozas, correspondientes a 6 árboles diferentes por especie. De cada troza se prepararon reglas de 8 cm x 8 cm de sección por 1.60 m de largo, bien orientados y cortados a escuadra. Con una resina fenólica se sellaron sus extremos, para que no pierda humedad por esta sección, se secaron al aire hasta 18 % de contenido de humedad. Luego se reaserraron y cepillaron, obteniéndose especímenes de 5 cm x 5 cm de sección, para mantenerlos en el cuarto de climatización hasta que las muestras tengan un contenido de humedad de 12 %. De estas reglas se obtienen estacas de 45 cm de largo, eliminando las que presentaron defectos, como nudos, grietas y rajaduras.

Las estacas seleccionadas para la preservación, previamente se sella-

ron los extremos con una resina fenólica, para evitar la penetración del preservante por los extremos.

2. Tratamiento

Se siguió el procedimiento dado por la American Wood Preservers' Association, AWPA (3).

3. Cálculos

Para evaluar la retención del preservante en la madera, se siguió la norma dada por AWPA (3), expresándose en kilogramos la cantidad de sal retenida para un volumen de un metro cúbico de madera (kg/m^3), la misma que se calculó en base a la cantidad de solución absorbida por la madera (cm^3).

Para evaluar la penetración de acuerdo a la norma AWPA (3), se cortaron las probetas transversalmente por la mitad de su longitud, se aplicó por aspersión una solución cromo-azuro1 S, y a los 15 minutos se observaron las áreas azuladas que indicaban las zonas de penetración del preservante, las mismas que se midieron en centímetros.

La clasificación de la madera por su tratabilidad se hizo en base al grado de retención y penetración.

K. USOS POSIBLES DE LA MADERA

En base a los datos experimentales obtenidos en los diferentes ensayos y con las informaciones recopiladas de especies maderables con características similares y de reconocidos usos, se deducen los posibles usos de la madera estudiada.

IV. RESULTADOS

DESCRIPCION DE LAS CARACTERISTICAS Y PROPIEDADES DE LA MADERA

A. Eucalyptus deglupta Blume

1. Descripción del árbol y de las trozas muestras

De los seis árboles de *Eucalyptus deglupta* Bl. estudiados, provenientes de una población aproximada de 1700 árboles, tres tenían tronco recto y cilíndrico, libres de ramas muertas y en los otros tres se observaron un ligero acanalamiento debajo de las ramas inferiores, debido al cual las trozas procedentes presentaban cierta excentricidad. Las copas de los árboles tenían forma cónica con ramas y ramitas aplanadas.

El diámetro a la altura del pecho de los árboles muestreados fue de 22-30 cm, promedio 25.90 cm; la altura total de 18.50-25.80m, promedio 23.80 m; y la altura del fuste corrientemente aprovechable de 8.50 - 15.80 m, promedio 12.22 m.

Las seis trozas muestras tuvieron las dimensiones siguientes: diámetros promedios de 17.00 - 24.30 cm, promedio de 21.40 cm por una longitud de 3.20 m.

De acuerdo con las exigencias del muestreo todas las trozas estaban sanas.

2. Características anatómicas

2.1 Características generales

En condición verde, el color de la madera de la albura es marrón

claro y el duramen anaranjado grisáceo. Existe un cambio abrupto entre la albura y el duramen.

En condición seca al aire, hubo un cambio gradual de color entre la albura: marrón grisáceo y el duramen: marrón grisáceo - marrón rojizo grisáceo; la transición albura duramen es abrupta.

La albura en las muestras estudiadas presentaron un espesor promedio de 5 cm, aproximadamente un 18 % de la sección transversal.

El duramen de una apariencia y forma: regular - irregular.

Anillos de crecimiento: son visibles a simple vista, están limitados por bandas claras, con una distribución irregular y excéntricas. En promedio hay de 1-2 anillos por cada 2.5 centímetros radiales.

Grano: generalmente entrecruzado en bandas anchas.

Texturas: gruesa y homogénea en toda la superficie.

Lustre: regular.

Veteados: en la sección radial y tangencial se observan arcos superpuestos atractivos.

Olor y sabor: no característicos.

2.2 Características macroscópicas

Poros. Visibles a simple vista, de forma ovalada. Su distribución es difusa, más o menos uniforme, predominantemente en hileras radiales, aunque existen algunos en dirección oblicua y en hileras tangenciales. La concentración casi no cambia en toda la superficie están agrupados: solitarios 34 % y múltiples 66 %. Hay poros múltiples radiales (2-3 poros), múltiples tangenciales (1-2 poros) y escasos racemiformes irregulares. Son de tamaño

mediano (0.1 - 0.2 mm diámetro tangencial). Hay moderadamente pocos poros, en promedio 42, ámbito 31-53 poros por 10 mm².

Parénquima: indistinguible con lupa

Radios: finos, menores de 0.05 mm de ancho, no visibles a simple vista. Se encuentran muchos radios: promedio 60, ámbito 52-74 en mm lineales.

2.3 Características microscópicas

Poros-vasos. Diámetro mediano, promedio 146 μ , ámbito 145-147, CV 1.8 %; la longitud de los elementos vasculares es mediano, con un promedio de 404 μ , ámbito 403-405 μ , CV 2.08 %. Platinas de perforación mayormente muy inclinadas; tipo de perforación múltiple ephedroide (numerosas aperturas redondeadas). Sin engrosamiento en espiral; presencia de tálidos regulares (paredes delgadas). Puntuaciones intervasculares alternas y escaleriformes, de formas poligonales u ovoides. Aperturas incluídas de forma lenticular o alargada. Puntuaciones radiovasculares mayormente alargadas verticalmente.

Parénquima: en la sección transversal es apotraqueal difuso y paratraqueal escaso unilateral o bilateral. En la sección longitudinal, la disposición de los elementos del parénquima es no estratificado y tienen formas alargadas verticalmente.

Radios: la altura, en número de células: promedio 12, ámbito 11-13, CV 2.5 %; en micras: promedio 168 μ , ámbito 167-169 μ . CV 3 %. Heterogéneo (tipo III), uniseriados y biseriados, compuestos por una mezcla de células procumbentes y cuadradas. La relación entre radios es desordenada.

Fibras. Fusiformes, no estratificados, con puntuaciones simples, escasas fibras septadas y fibrotraqueidas presentes.

Las dimensiones son: longitud promedio 630 μ , ámbito 614-647 μ , CV 27.57 %; diámetro promedio 19 μ , ámbito 18-20 μ , CV 25.13 %; diámetro promedio del lumen 11 μ , ámbito 10-12 μ , CV 42.52 %; espesor de la pared 4.33 μ ; coeficiente de flexibilidad 32.47.

Factor de Bunkal 0.802 (Grupo III).

Sustancias orgánicas e inorgánicas. Cristales romboides generalmente libres y solitarios abundantes en las células del parénquima.

3. Propiedades físicas (Fig. 3)

Los resultados experimentales obtenidos en los ensayos de propiedades físicas de la madera de *E. deglupta* arrojaron los valores siguientes:

Contenido de humedad en condición verde (%)	139.6
Peso de la madera en condición verde (gr/cm ³)	0.874
Peso específico básico (peso seco al horno/volumen verde)	0.368
Peso específico en condición seca al horno	0.413
Contracción volumétrica de verde a seca al horno (%)	11.0
Contracción radial de verde a seca al aire* (%)	2.2
Contracción radial de verde a seca al horno (%)	4.0
Contracción tangencial de verde a seca al aire* (%)	5.1
Contracción tangencial de verde a seca al horno (%)	7.8
Razón de contracciones (rad/tang) de verde a seca al aire*	1/2.31
Razón de contracciones (rad/tang) de verde a seca al horno (0 % C.H.)	1/1.94

* Al 12 % contenido de humedad.

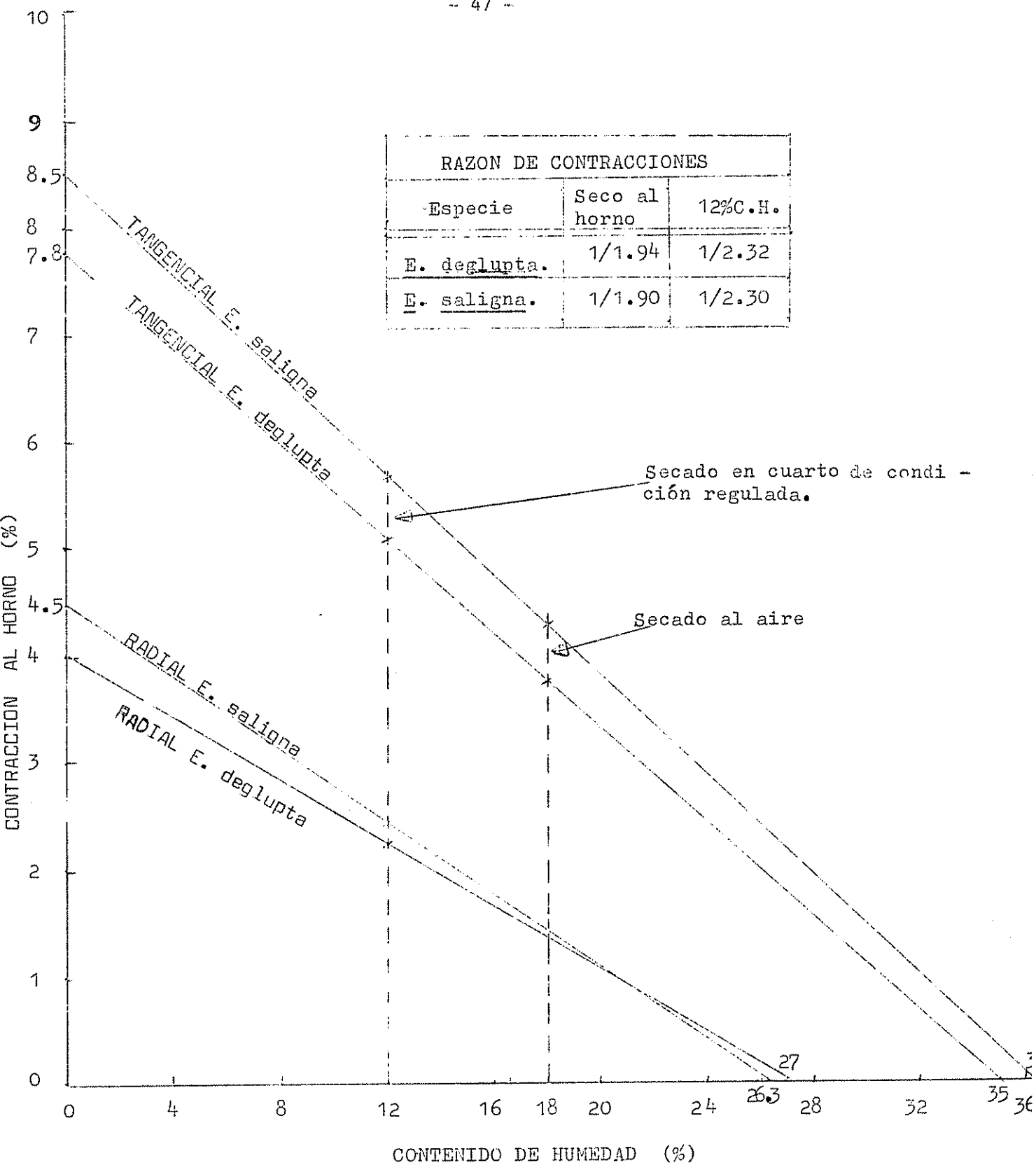


Figura 5. Relación del contenido de humedad y contracción de la madera.

En el cuadro 1 se presentan los valores correspondientes al promedio, ámbito y coeficiente de variación obtenidos en cada serie de ensayos.

Cuadro 1. Valores estadísticos de las propiedades físicas de la madera de *E. deglupta*

ENSAYO	Promedio	Ambito	Coefficiente de variación	Coefficiente de variación para 50 especies (47)
Contenido de humedad de la madera en condición verde (%).	139.55	131.9--147.2	15	19
Densidad (peso y volumen verdes) (gr/cm ³)	0.874	0.85--0.89	4	10
<u>Peso específico</u>				
Peso seco al horno/volumen verde	0.368	0.348--0.388	11	10
Peso y volumen secos al horno	0.413	0.390--0.430	11	16
<u>Contracciones</u>				
Volumétrica, de verde a seca al horno	11.0	10.45--11.55	13	15
Radial, de verde a seca al aire (%)*	2.205	2.105--2.305	12	15
Radial, de verde a seca al horno (%)	4.003	3.843--4.163	11	14
Tangencial, de verde a seca al aire (%)*	5.113	4.74--5.48	12	14
Tangencial, de verde a seca al horno (%)	7.776	7.45--8.11	11	"
<u>Razón de contracciones</u>				
Rad/tang de verde a seca al aire*	1/2.31	-	-	"
Rad/tang de verde a seca al horno	1/1.94	-	-	"

* Al 12 % contenido de humedad.

4. Propiedades mecánicas (Figs. 4, 5, 6)

Los ensayos para determinar las propiedades mecánicas de la madera, se hicieron con probetas en condición verde y en condición seca al aire (12 % de contenido de humedad aproximadamente), en base a que el contenido de humedad tiene mucha influencia sobre la resistencia mecánica de la madera.

Los valores experimentales obtenidos en el estudio de las propiedades mecánicas de la madera de *E. deglupta*, figuran en el cuadro 2.

Cuadro 2. Propiedades mecánicas de la madera de *E. deglupta* en condición verde y seca al aire*

E N S A Y O	CONDICION	
	Verde	Seca*
<u>Flexión estática</u>		
Esfuerzo al límite proporcional (kg/cm ²)	123	385
Módulo de ruptura (kg/cm ²)	248	634
Módulo de elasticidad (kg/cm ² x 10 ³)	80	121
Trabajo al límite proporcional (m-kg/dm ³)	0.21	0.7
Trabajo a carga máxima (m-kg/dm ³)	2.30	3.8
<u>Compresión paralela al grano</u>		
Esfuerzo al límite proporcional (kg/cm ²)	60	256
Resistencia máxima a la compresión (kg/cm ²)	73	364
Módulo de elasticidad (kg/cm ²)	68	101
<u>Compresión perpendicular al grano</u>		
Esfuerzo al límite proporcional (kg/cm ²)	6.6	37
<u>Cizallamiento paralelo al grano</u>		
Esfuerzo máximo (kg/cm ²)	51.7	72.5
<u>Dureza</u>		
Lateral (kg)	212	205
Axial (kg)	266	253

* Al 12 % contenido de humedad.

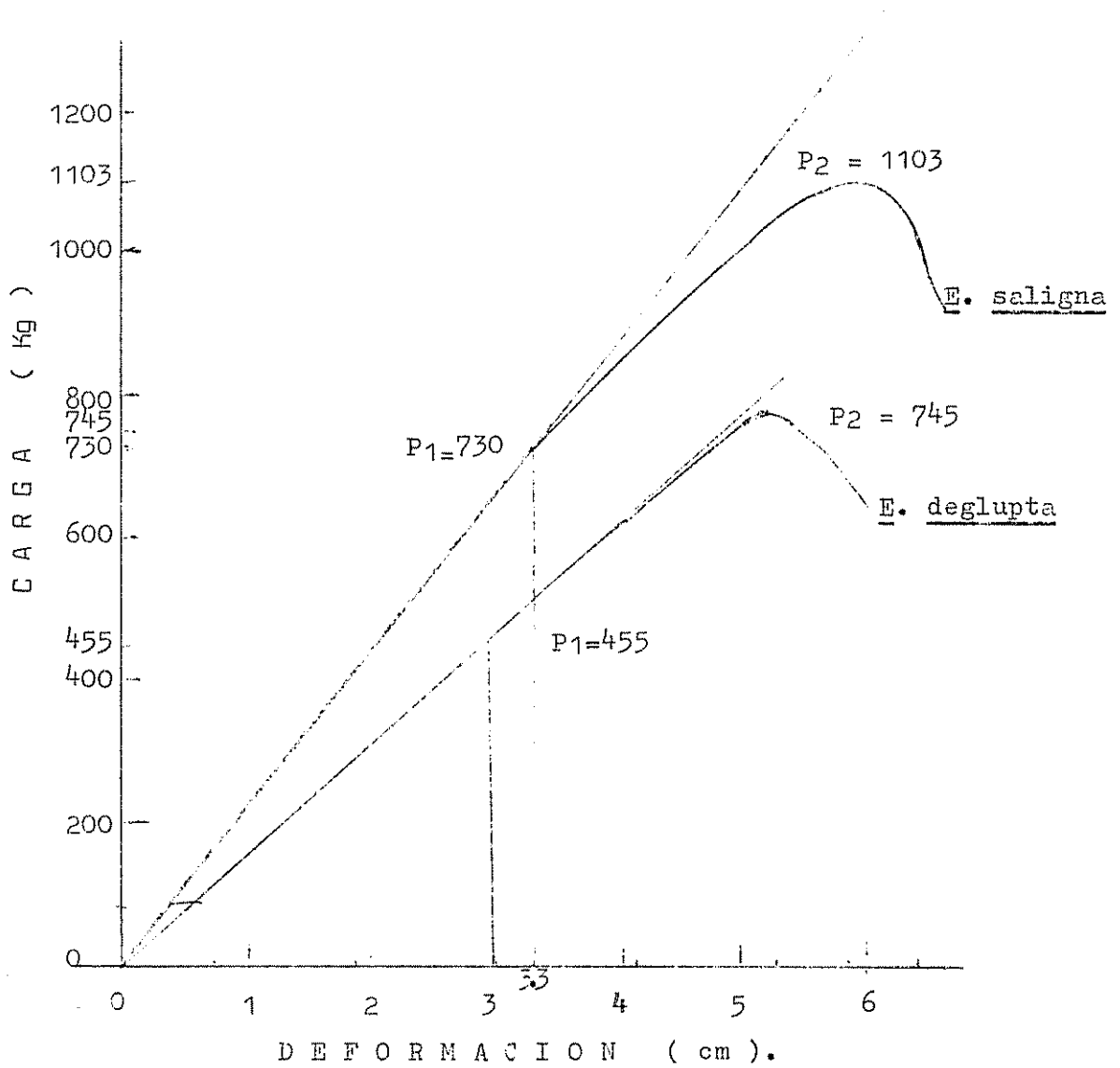
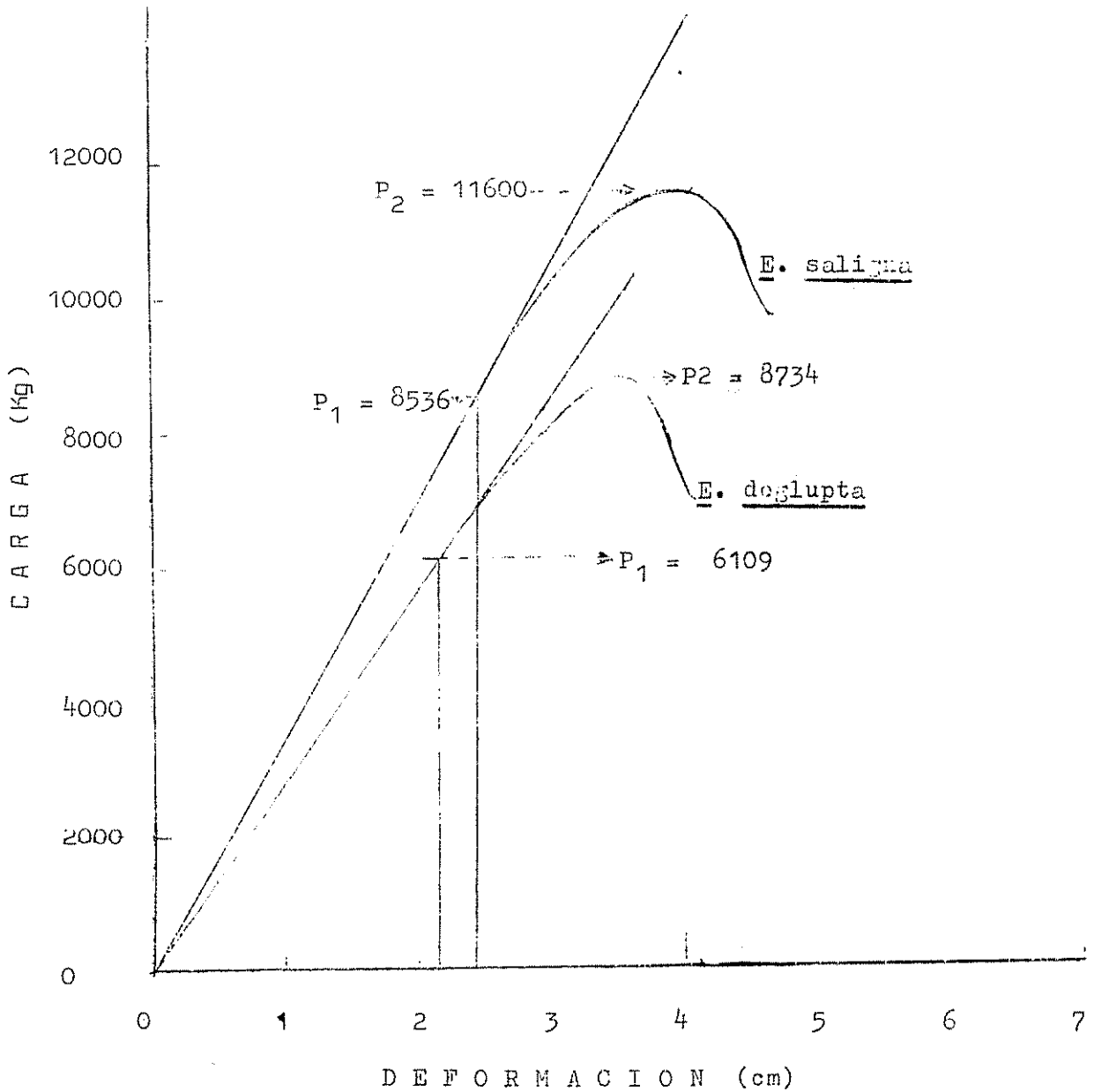


Figura 4. Curvas de carga - deformación en flexión estática, con madera a 12% de contenido de humedad.



Figur 5. Curvas de carga - deformación en compresión paralela a las -
fibras, con madera a 12% de contenido de humedad.

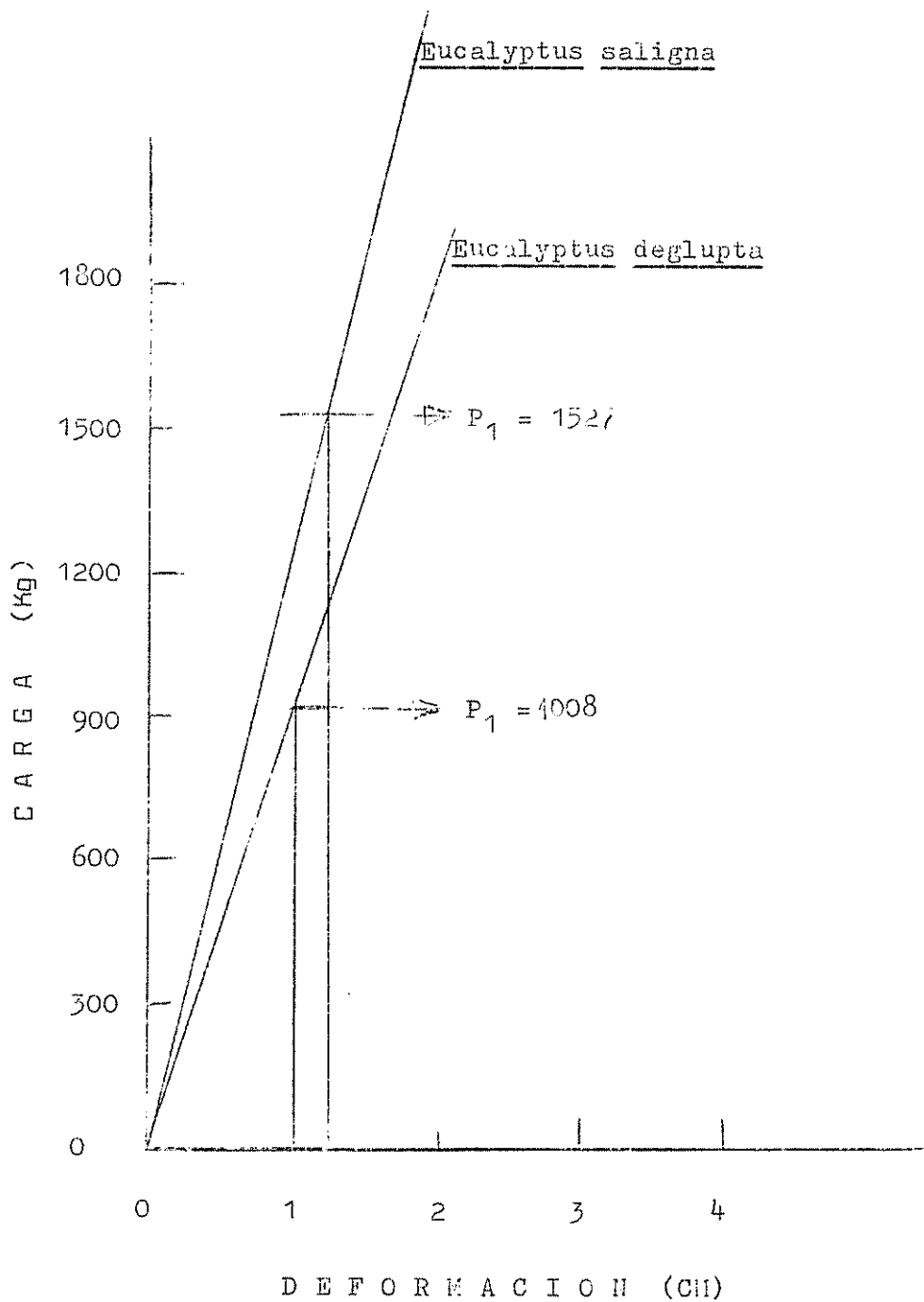


Figura 6. . Curvas de carga - deformación en compresión perpendicular a las fibras, con madera a 12% de contenido de humedad.

En el cuadro 3, se presentan en condición verde y en condición seca al aire los valores paramétricos: promedios, ámbitos y coeficientes de variación, obtenidos en los ensayos, para determinar las propiedades mecánicas de la especie.

Cuadro 3. Valores estadísticos de las propiedades mecánicas de la madera de *E. deglupta* en condición verde y seca al aire.

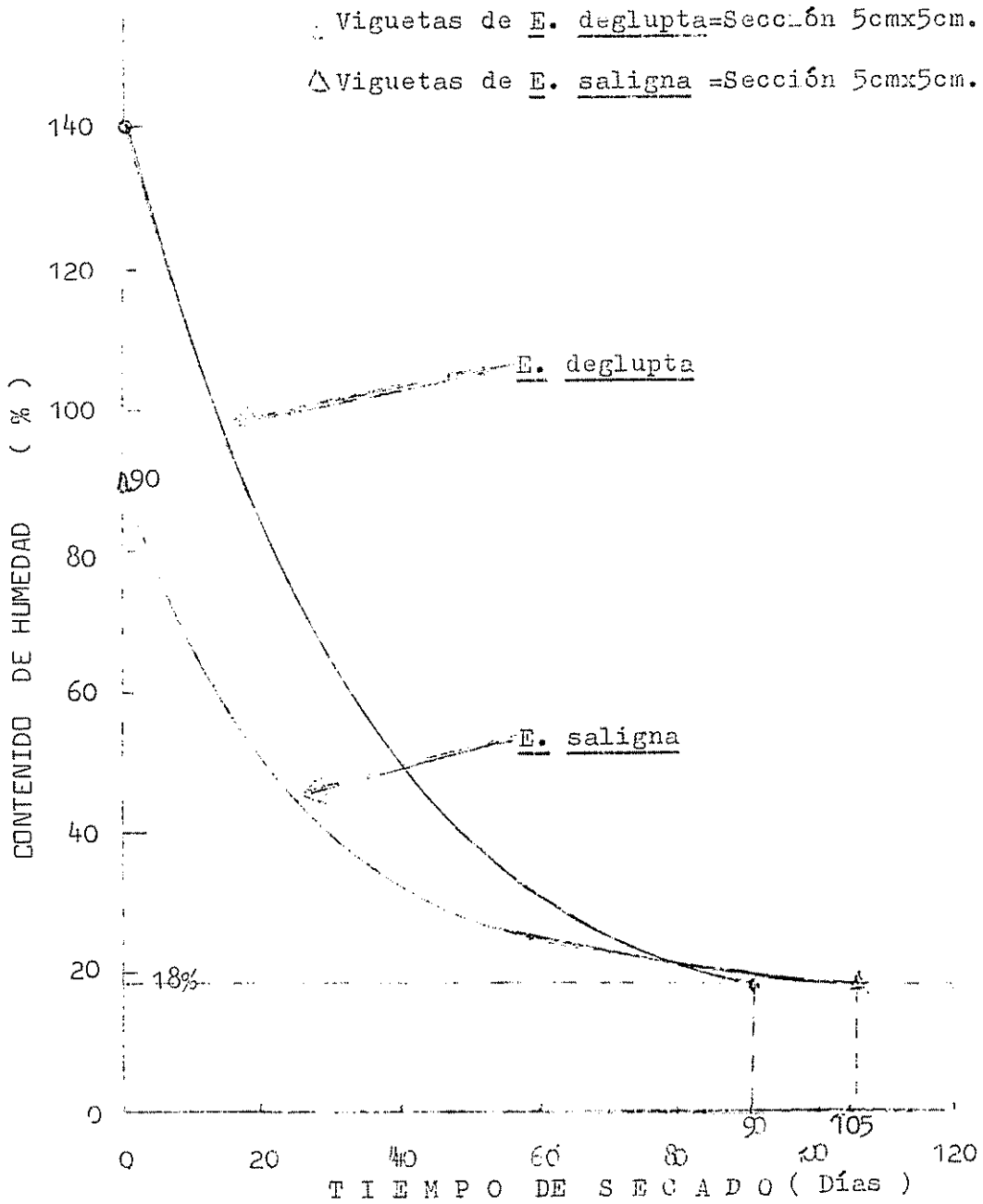
E N S A Y O	CONDICION VERDE			CONDICION SECA AL AIRE*			Coeficiente de variación para 50 especies (47).
	Promedio	Ambito	Coeficiente de variación.	Promedio	Ambito	Coeficiente de variación.	
<u>Flexión estática</u>							
Esfuerzo al límite proporcional (kg/cm ²)	123	102-146	17	385	346-424	15	22
Módulo de ruptura (kg/cm ²)	248	211-285	14	634	591-697	12	16
Módulo de elasticidad (kg/cm ² x 10 ³)	80	66-93	16	121	113-130	11	22
Trabajo al límite proporcional (m-kg/dm ³)	0.2	0.13-0.29	35	0.7	0.6-0.8	23	33
Trabajo a carga máxima (m-kg/dm ³)	2.3	1.4-3.2	38	3.8	3.1-4.5	24	34
<u>Compresión paralela</u>							
Esfuerzo al límite proporcional (kg/cm ²)	60	50-69	15	255	226-283	17	24
Resistencia max. a la compresión (kg/cm ²)	73	62-84	14	364	329-399	14	13
Módulo de elasticidad (kg/cm ²)	68	60-76	11	101	85-113	24	29
<u>Compresión perpendicular</u>							
Esfuerzo al límite proporcional (kg/cm ²)	7	5-8	21	37	33-40	15	28
<u>Cizallamiento paralelo al grano</u>							
Esfuerzo máximo (kg/cm ²)	52	48-55	10	73	67-78	16	14
<u>Dureza</u>							
Lateral (kg)	212	182-243	14	205	159-251	27	20
Axial (kg)	266	203-328	22	253	211-294	20	17

* Al 12 % contenido de humedad.

5. Características de secado (Fig. 7)

La madera de *E. deglupta* tiene una velocidad de secado rápida, necesitó 90 días para pasar de 140 % a 18 % de contenido de humedad en equilibrio.

Los defectos que se presentaron durante el proceso de secado son: rajaduras leves de 5-15 cm de largo en los extremos en un 25 % de las piezas, torceduras y combas leves en 30 % y 20 % de las piezas respectivamente. De forma romboidal en % de las piezas.



Figur 7. Curva de secado al aire: contenido de humedad - tiempo de secado.

6. Características de trabajabilidad y contenido de sílice

La madera de *E. deglupta* Bl. es fácil de cortar y aserrar, tanto en condición verde y en condición seca. El cepillado en la cara radial es difícil por su grano entrecruzado, el trabajo al torneado es de mediana calidad. La madera cepillada y lijada presenta superficies con buen acabado.

La madera tiene un contenido bajo de sílice 0.016 % y 1.25 % de ceniza.

7. Características de preservación (Fig. 8)

La madera de *E. deglupta* Bl., presenta poca diferenciación anatómica entre la albura y el duramen; en las dos secciones, la retención de soluto en promedio fué 7.30 kg/m³, ámbito 6.67-8.00 kg/m³ CV 12 %.

La penetración en la sección transversal en la albura fue 100 %, equivalente a 2.5 cm de la probeta y en el duramen 60 % equivalente a 1 cm, observándose una distribución del preservante en forma regular y uniforme; considerándose a la madera como fácil de impregnar.

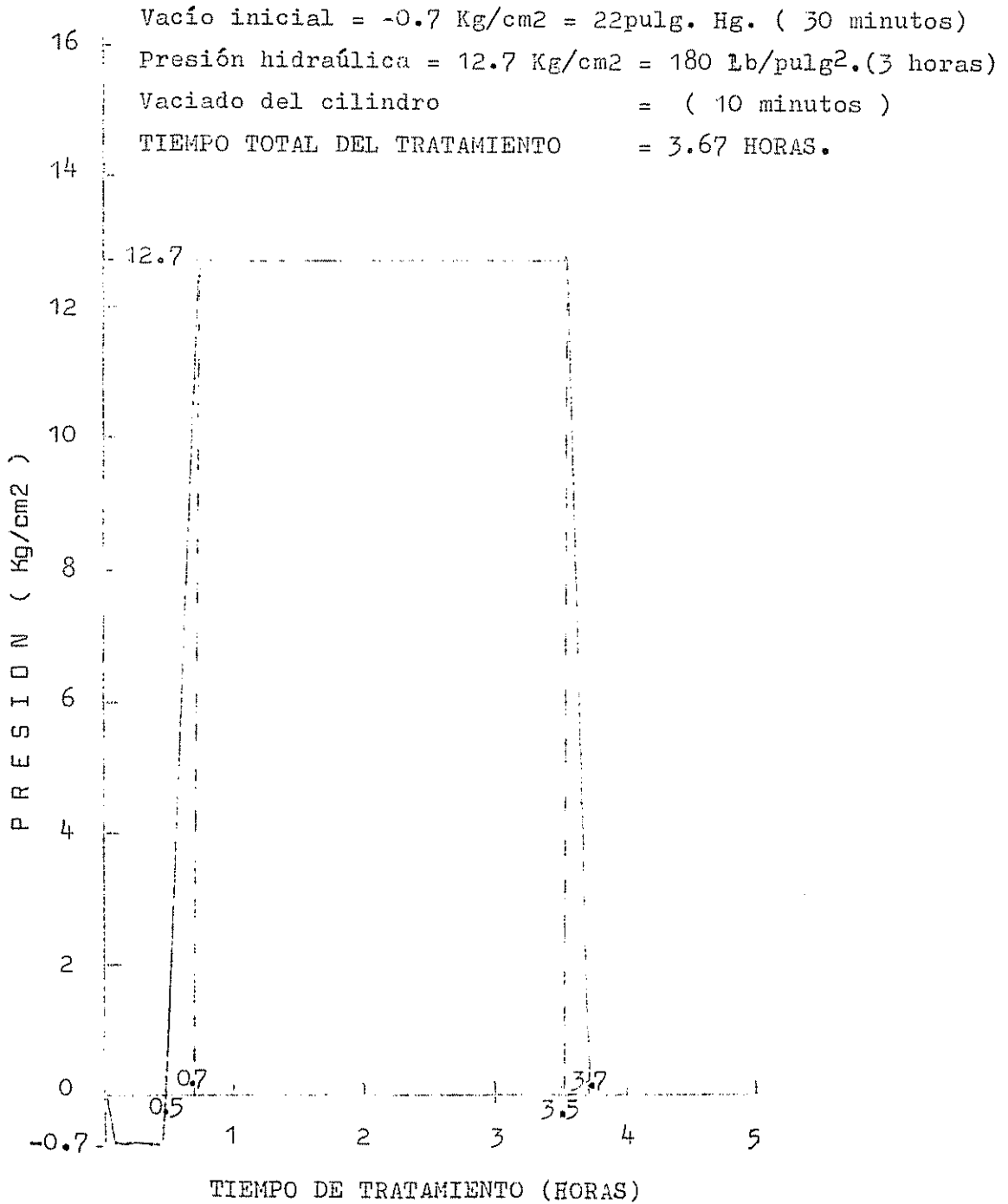


Fig. 3. Curva de preservación de la madera a presión.

8. Usos posibles

La madera de *E. deglupta* Bl., puede usarse en carpintería en general, construcciones livianas, entablado, revestimiento de buques, muebles de bajo costo, postes para cercos y postes para alumbrado tratados, construcción de interiores y exteriores cuando la resistencia no es factor importante, cajas y cajones para embalajes y pulpa para papel.

B. Eucalyptus saligna Smith

1. Descripción del árbol y de las trozas muestras

Los seis árboles seleccionados al azar provenientes de seis sitios diferentes, con una población total de 100 árboles en general, tenían troncos rectos, cilíndricos, ligero acanalamiento. En dos árboles se observó una forma ovalada de su sección transversal. El diámetro a la altura del pecho de los árboles muestreados fue de: 24.00-35.80 cm, promedio 30.13 cm; la altura total de 24.40-30.20 m, promedio 28.02 m y la altura del fuste comercial de 11.90 -17.00 m, promedio de 13.88 m.

Las seis trozas muestras tuvieron las dimensiones siguientes: diámetros promedios 29.50 - 29.5 cm, promedio de 22.95 cm por una longitud de 3.20 m.

En cuanto a las condiciones de sanidad, se constató que dos árboles muestreados y tumbados, correspondientes a los sitios de Campo Gamma y Arboretum Viejo, presentaron en el duramen ataques de comejenes desde la base hasta 6 y 4 m de altura respectivamente, debido al cual las trozas muestras se tomaron de las partes sanas, ubicadas a alturas mayores del árbol. En el resto de árboles la sanidad fue buena.

2. Características anatómicas

2.1 Características generales

Existe una marcada diferencia de color entre la albura y el duramen. La albura en condición verde y seca es marrón rojizo grisáceo; el duramen en condición verde es anaranjado grisáceo y en condición seca anaranjado rojizo grisáceo - anaranjado fuerte.

La transición de albura a duramen cambia abruptamente. El espe sor de la albura en la sección transversal fue 4 cm, la misma que corresponde a 21 % del área. En el duramen se observó la presencia de corazón falso, con un diámetro de 1-2 cm, en un 50 % de las muestras estudiadas.

Anillos de crecimiento: visibles a simple vista, están limita - dos por bandas oscuras, tienen formas regulares, irregulares, y excéntricas. Existen de 3-4 anillos en 2.5 cm de longitud ra - dial.

En la sección transversal existen tejidos traumáticos dispues - tos en bandas tangenciales de 1-4 cm de longitud.

Grano: recto, ligeramente entrecruzado en bandas angostas.

Textura: mediana.

Veteado: atractivo en líneas verticales.

Lustre: regular

Olor y sabor: no característicos.

2.2 Características macroscópicas

Poros. Distribución difusa, predominantemente en cadenas oblicuas a los radios. La concentración no cambia en toda la superficie transversal. Los poros están agrupados: solitarios 59 % y múlti - ples 41 %. Hay pocos ^{poros} (múltiples radiales formados en promedio por 1-2 poros, los múltiples raciniformes y tangenciales son escasos. Tamaño mediano, con un promedio de diámetro tangencial 0.125 mm, ámbito 0.1 - 0.2 mm, no cambia de tamaño en la superficie trans - versal. La forma de los poros solitarios es oval; moderadamente pocos poros, en promedio 39, ámbito 30-49 poros por 10 mm² de su -

perficie.

Parénquimas: poco distinguible con lupa.

Radios: no visibles a simple vista; hay en promedio 56, ámbito 52-60 radios en 5 mm lineales.

2.3 Características microscópicas

Poros-vasos. Diámetro tangencial mediano, promedio 136 μ , ámbito 135-137 μ , CV 1.6 %; la longitud de los elementos vasculares es mediano, promedio 428 μ , ámbito 426 - 430 μ , CV 1.99 %.

Platinas de perforación muy inclinadas. El tipo de perforación es múltiple ephelroide; engrosamiento en espiral ausente. Abundan las tílides simples y múltiples escleróticas (paredes gruesas), que contienen resinas no transparentes marrón oscuras.

Las puntuaciones intervasculares están dispuestas alternas y escaleriformes, son de forma mayormente ovaladas y escasas hexagonales; las aperturas son incluidas, tienen forma alargada mayormente y pocas lenticulares. Las puntuaciones radio vasculares son alargadas verticalmente.

Canales intercelulares. Existen canales verticales traumáticos, dispuestos en bandas tangenciales, que contienen resina, miden de 1-3 mm de diámetro tangencial.

Parénquima. En la sección transversal apotraqueal difuso en células aisladas y paratraqueal escaso con pocas células asociadas a los vasos. En el corte longitudinal, la disposición de los elementos es no estratificados y tienen formas alargadas verticalmente.

Radios. En el corte tangencial la dimensión en altura es: en número de células en promedio 10, ámbito 9-11 células, CV 2.6 %; en micras promedio 164 μ , ámbito 163-165 μ , CV 2.72 %. Radios longitudinalmente fusionados 20 % y desordenados. Heterogéneos, uniseriados, escasos biseriados, compuestos por células procumbentes y cuadradas (Tipo III).

Fibras. Fusiformes, no estratificadas, con puntuaciones simples; existen fibrotraqueidas.

Dimensiones de las fibras: longitud promedio 614 μ , ámbito 596-631 μ , CV 30 %; diámetro promedio 21 μ , ámbito 19-22 μ , CV 25 %; diámetro promedio del lumen 14 μ , ámbito 13-15 μ , CV 40 %; espesor de la pared 3.54 μ ; coeficiente de flexibilidad 29.40. Factor de Runkel 0.513 (Grupo III).

3. Propiedades físicas (Fig. 3).

Los valores promedios determinados para las propiedades físicas de la madera de *E. saligna* son los siguientes:

Contenido de humedad en condición verde (%)	90.00
Peso de la madera verde (gr/cm ³)	0.923
Peso específico básico (peso seco al horno/volumen verde)	0.436
Peso específico en condición seca al horno	0.559
Contracción volumétrica de verde a seca al horno (%)	12.790
Contracción radial de verde a seca al aire* (%)	2.428
Contracción radial de verde a seca al horno (%)	4.465
Contracción tangencial de verde a seca al aire* (%)	5.662
Contracción tangencial de verde a seca al horno (%)	9.540

* 12 % contenido de humedad.

Razón de contracciones (rad/tang) de verde a seca al aire* (%) 1/2.30

Razón de contracciones (rad/tang) de verde a seca al horno (%)

(0 % C.H.)

1/1.90

En el cuadro 4, figuran los valores estadísticos correspondientes al promedio, ámbito y coeficiente de variación, determinados en cada serie de ensayos para calcular las propiedades físicas de esta especie.

* 12 % contenido de humedad.

Cuadro 4. Valores estadísticos de las propiedades físicas de la madera de *E. saligna*

ENSAYO	Promedio	Ambito	Coefficiente de variación	Coefficiente de variación para 50 especies (47).
Contenido de humedad de la madera en condición verde (%)	90	85.30-94.42	14	10
Densidad (peso y volumen verdes) (gr/cm ³)	0.923	0.893-0.963	13	10
<u>Peso específico</u>				
Peso seco al horno/volumen verde	0.486	0.466-0.506	11	10
Peso y volumen secos al horno	0.559	0.540-0.580	13	10
<u>Contracciones</u>				
Volumétrica, de verde a seca al horno	12.79	12.11-13.47	14	15
Radial, de verde a seca al aire (%)*	2.429	2.21-2.65	25	15
Radial, de verde a seca al horno (%)	4.465	4.16-4.73	13	14
Tangencial de verde a seca al horno (%)	3.506	3.20-3.82	10	
Tangencial de verde a seca al aire (%)*	5.602	5.31-5.89	14	14
<u>Razon de contracciones</u>				
Rad/tang de verde a seca al aire*	1/2.30	-	-	-
Rad/tang de verde a seca al horno	1/1.90	--	-	-

* Al 12 % contenido de humedad.

4. Propiedades mecánicas

La determinación de las propiedades mecánicas de *E. saligna*, se realizó sobre madera en condición verde y en condición seca al aire.

Los valores de los resultados experimentales obtenidos en los diferentes ensayos se presentan en el cuadro 5.

Cuadro 5. Propiedades mecánicas de la madera de *E. saligna* en condición verde y seca al aire*

E N S A Y O	CONDICION	
	Verde	Seca*
<u>Flexión estática</u>		
Esfuerzo al límite proporcional (kg/cm ²)	139	621
Módulo de ruptura (kg/cm ²)	325	942
Módulo de elasticidad (kg/cm ² x 10 ³)	100	176
Trabajo al límite proporcional (m kg/dm ³)	0.2	1.2
Trabajo a carga máxima (m kg/dm ³)	2.9	7.0
<u>Compresión paralela al grano</u>		
Esfuerzo al límite proporcional (kg/cm ²)	89	363
Resistencia máxima a la compresión (kg/cm ²)	97	496
Módulo de elasticidad (kg/cm ²)	102	135
<u>Compresión perpendicular al grano</u>		
Esfuerzo al límite proporcional (kg/cm ²)	12.9	64
<u>Cizallamiento paralelo al grano</u>		
Esfuerzo máximo (kg/cm ²)	71.4	97
<u>Dureza</u>		
Lateral (kg)	344	274
Axial (kg)	360	369

* Al 12 % contenido de humedad.

En el cuadro 6 se presentan los valores estadísticos correspondientes al promedio, ámbito y coeficiente de variación, obtenidos en cada serie de ensayos para determinar las propiedades mecánicas de esta especie, en condición verde y en condición seca al aire respectivamente.

Cuadro 6. Valores estadísticos de las propiedades mecánicas de la madera de *E. saligna* en condición verde y seca al aire

	CONDICIÓN VERDE			CONDICIÓN SECA AL AIRE*			Coeficiente de variación para 10 especies (47)
	Promedio	Ambito	Coeficiente de variación	Promedio	Ambito	Coeficiente de variación.	
ENSAYO							
<u>Flexión estática</u>							
Esfuerzo al límite proporcional (kg/cm ²)	139	125-153	8	621	583-659	9	22
Módulo de ruptura (kg/cm ²)	325	311-340	4	942	895-989	7	16
Módulo de elasticidad (kg/cm ² x 10 ³)	100	80-121	17	176	162-190	11	22
Trabajo al límite proporcional (m-kg/dm ³)	0.2	0.18-0.22	14	1.2	1.1-1.4	15	33
Trabajo a carga máxima (m-kg/dm ³)	2.9	1.8-4.0	31	7.0	6.1-7.9	19	34
<u>Compresión paralela</u>							
Esfuerzo al límite proporcional (kg/cm ²)	89	83-95	6	363	327-399	15	24
Resistencia max. a la compresión (kg/cm ²)	97	80-114	17	496	448-545	15	13
Módulo de elasticidad (kg/cm ²)	102	76-129	25	135	114-156	23	29
<u>Compresión perpendicular</u>							
Esfuerzo al límite proporcional (kg/cm ²)	13	11-15	12	64	57-72	18	23
<u>Cizallamiento paralelo al grano</u>							
Esfuerzo máximo (kg/cm ²)	72	64-79	15	98	89-107	20	14
<u>Dureza</u>							
Lateral (kg)	344	278-409	25	274	235-314	19	20
Axial (kg)	360	302-418	15	369	316-423	19	17

* Al 12 % contenido de humedad.

5. Características de secado

La madera de *E. saligna*, tiene una velocidad de secado rápido, requirió 105 días, para pasar de 90 % a 13 % de contenido de humedad en equilibrio.

Durante el proceso de secado se observaron los defectos siguientes: rajaduras leves en 10 % de las piezas y torceduras romboides leves en un 5 % de las piezas. En general, se constató pocos defectos, por lo que se considera un comportamiento óptimo para el secado.

6. Características de trabajabilidad y contenido de sílice

La madera de *E. saligna*, es relativamente fácil de cortar y aserrar. En condición seca ofrece mejor aptitud de labrado. Durante las operaciones de cepillado y torneado, presentó grano veloso, con superficie final de buen acabado y lustre, por lo que se clasifica como de buena calidad. Esta especie maderable contiene 1.63 % de contenido de ceniza y 0.015 % de sílice, cantidad que es despreciable.

7. Características de preservación (Fig. 8)

La madera de *E. saligna*, debido a la diferenciación de la albura y duramen, estos presentan distintos valores de retención y penetración del preservante.

La albura tuvo una retención promedio de soluto 4.69 kg/m³, ámbito 3-6 kg/m³, CV 26 %; una penetración de 100 %, equivalente a 2.5 cm en la sección transversal de la probeta, con una distribución regular y uniforme, considerándose la madera como fácil de impregnar.

El duramen alcanzó una retención promedio de soluto 2.07 kg/m³,

ámbito 1.60 - 2.53 kg/m³, CV 13 %; una penetración del 5 % del área transversal de la probeta, presentando una distribución lateral parcial irregular, en forma de manchas periféricamente en la sección; clasificándose la madera como impenetrable y difícil de impregnar.

8. Usos posibles

La madera de *E. saligna*, puede usarse en carpintería en general, construcciones internas y externas, muebles de buena calidad, ebanistería parquet, postes para cercas y alumbrados tratados, chapas y contrachapado, durmientes tratados para ferrocarril, construcción de cubiertas y adornos de botes y barcos y pulpa para papel.

V. DISCUSION Y CONCLUSIONES POR ESPECIE

A. Eucalyptus deglupta Blume

1. Características anatómicas

La madera de *E. deglupta*, tiene una apariencia mediana debido a sus características generales.

Según la clasificación de Runkel (37), la madera de esta especie por sus fibras de paredes medianas y lumen medianamente amplio, se considera como buena para producción de pulpa para papeles.

2. Propiedades físicas (Anexo, cuadro 7).

La madera de *E. deglupta* es moderadamente liviana, presenta un peso específico promedio 0.368 y ámbito 0.348 - 0.388, basado en volumen verde y peso seco al horno.

Al comparar el peso específico de *E. deglupta*, motivo del presente estudio, con el realizado para la misma especie por Slooten y Llach (41), con muestras procedentes de San Carlos (Costa Rica), es evidente que los valores son similares.

La madera de *E. deglupta*, presenta una gran variabilidad en peso específico, dependiendo de la edad del árbol. Las maderas procedentes de árboles jóvenes tienen menor peso específico que las de mayor edad. Ferguson (11) determinó un valor de 0.39 - 1.01 en árboles con diámetro menor de 70 cm, el peso específico promedio fue 0.51 y para diámetros de 120 cm, 0.86 - 1.01 respectivamente. Heather (21) obtuvo pesos específicos a 12 % de contenido de humedad, de 0.56 - 0.80 en muestras diferentes de la misma especie.

El relativo bajo peso específico de 0.368 de la madera a 12 % de contenido de humedad observado en este estudio, se debe a que las muestras se obtuvieron de árboles jóvenes de 6 años de edad.

El coeficiente de variación del peso específico (peso seco al horno/volumen verde) 11 % es ligeramente mayor que el promedio de 10 % para muchas especies de Estados Unidos (47).

Los valores de contracciones volumétrica, radial, tangencial y razón de contracciones desde verde a seca al aire y desde verde a seca al horno son normales para el peso específico de esta madera, hechos que se comprueban con los menores coeficientes de variación, al compararlas con las que figuran en el Wood Handbook del US.FPL(47).

(Véase cuadro 1).

La contracción volumétrica del *E. deglupta*, su valor es menor que todas las especies que figuran en el cuadro 7, con excepción de *Anacardium excelsum* de Panamá que tiene menor valor que el eucalipto mencionado. Las contracciones radiales y tangenciales tienen valores intermedios, con excepción de la contracción radial de verde a seco al aire, cuyo valor es mayor con relación a las otras especies indicadas. Estos resultados prueban una buena estabilidad dimensional de la madera durante el secado.

3. Propiedades mecánicas

Los valores correspondientes a los diferentes ensayos de la madera en condición verde y en condición seca al aire a 12 % de contenido de humedad son diferentes.

En condición seca los coeficientes de los esfuerzos son mayores notablemente en comparación con los de condición verde; a excepción del

cizallamiento en que el incremento es menos notable y en dureza una ligera disminución (cuadro 2). Los aumentos de los coeficientes de resistencia se deben al menor contenido de humedad, del que se deduce que toda madera antes de ser usada debe secarse adecuadamente (2, 10).

Comparando los valores de las propiedades mecánicas del eucalipto estudiado en las dos condiciones mencionadas anteriormente, esta especie tiene en general valores inferiores que los eucaliptos procedentes de Costa Rica (San Carlos) y Australia, con excepción de la compresión perpendicular al grano en seco, de valor superior al eucalipto de San Carlos (41). Así mismo, presenta valores inferiores con relación a *Alnus rubra*, *Liriodendron tulipifera*, *Alnus ferruginea*, *Anacardium excelsum*, *Cordia* sp. y *Virola* sp. especies que figurarán en los cuadros 8 y 9 (Anexo): se exceptúa su valor superior de dureza en condición verde y su valor intermedio de dureza de lados y axial en condición seca con respecto a estas seis últimas especies citadas.

Los valores menores se atribuyen a su menor peso específico, relacionado con su menor edad asociada a las condiciones ambientales y a su textura de grano entrecruzado, que concuerda con los resultados obtenidos por Ferguson (11) y Heather (21).

Los coeficientes de variación de las propiedades mecánicas son más bajos, que los que corresponden a las normas dadas por Wood Handbook (47), por lo que los valores correspondientes son normales bajo las condiciones de estudio. Con excepción de los coeficientes de variación en verde de trabajo a carga máxima, dureza axial y en condición seca esfuerzo máximo de cizallamiento y dureza axial que tienen valo-

res relativamente mayores a los considerados en la norma mencionada anteriormente.

4. Características de secado

La madera de *E. deglupta*, tiene un secado rápido al aire; por los defectos: rajaduras, torceduras y combas leves observados durante el proceso de secado, se considera la madera como de mediana calidad. Heather (21), Slooten (41) y González y Kronos (19) expresan que la madera de esta especie aserrada seca fácilmente al aire y demuestra un mínimo de fallas, hechos que confirman lo obtenido en el presente estudio.

Para disminuir o eliminar dichos defectos requiere mayores estudios de secado (12), como una combinación de secado al aire y al horno, que es el procedimiento más satisfactorio y económico (34).

5. Características de trabajabilidad

Esta especie maderable es fácil de cortar, aserrar y cepillar, excepto en el plano radial difícil de cepillar por su grano entrecruzado, sus superficies adquieren un buen acabado, considerándose a la madera como fácil de trabajar. Este resultado es similar a los obtenidos por: Slooten (41), quien expresa que el *E. deglupta* presenta propiedades de trabajabilidad casi buena; Heather (21) reporta que esta madera es relativamente fácil de aserrar y trabajar, las molduras presentan buenas superficies y el acabado fino se debe a colorantes.

6. Características de preservación

La madera de *E. deglupta*, es fácil de preservar a presión. Presenta

buena retención y penetración uniforme. Si la concentración empleada en la solución hubiera sido mayor (2-3 %) la retención y penetración tendrían la misma tendencia de mayor incremento. La alta absorción de preservante es debido a la permeabilidad de la estructura anatómica de la madera tanto la albura como el duramen. Estos resultados coinciden con los obtenidos por González y Kronen (19) quienes reportan que esta madera es fácil de tratar con preservantes. En base a su fácil penetración y buena retención del soluto preservante, se deduce, que la madera tiene buenas condiciones de durabilidad en condiciones de servicio.

B. Eucalyptus saligna Smith

1. Características anatómicas

La madera de esta especie, tiene una apariencia atractiva debido al color marrón rojizo grisáceo, anaranjado rojizo grisáceo-anaranjado fuerte de la albura y duramen respectivamente, textura mediana homogénea, grano recto y buen veteado. En relación a la clasificación de Runkel (37), esta madera se considera como buena para la fabricación de papel.

2. Propiedades físicas (Anexo cuadro 10).

La madera de *E. saligna*, es moderadamente pesada, presenta peso específico promedio 0.436, ámbito 0.466 - 0.506 basado en volumen verde y peso seco al horno.

Comparando los valores entre sí en el cuadro 10, el peso específico y las contracciones volumétricas, radial y tangencial son menores del eucalipto estudiado, con excepción de las razones de contracciones de verde a seca al aire y de verde a seca al horno de valores relativamente iguales que los correspondientes a los otros eucaliptos de la misma especie procedentes de Brasil, Hawaii y Australia respectivamente. El eucalipto motivo del presente estudio tiene valores intermedios en contracciones volumétrica, tangencial (seca al aire y seca al horno), rad/tang (seca al horno) y valor relativamente iguales en contracción radial (seca al aire y seca al horno), con respecto a *Couma* sp., *Ocotea austinii* (ambos de Panamá), *Acer rubrum*, *Acer macrophyllum* (Estados Unidos) y *Carapa nicaraguensis* (Nicaragua) respectivamente. Cedro macho solo en contracción tangen

cial (seca al aire y seca al horno) y razón de contracciones presenta valores ligeramente inferiores que la especie estudiada.

Las razones de contracciones 1/2.3 y 1/1.9 son normales con respecto a su peso específico; significa que la madera tiene buena estabilidad dimensional, así como presencia de pocos defectos durante el secado.

3. Propiedades mecánicas

La madera de *E. saligna*, en condición seca al aire, tiene valores mecánicos altos, incrementos que son normales debido al menor contenido de humedad con relación a la madera en condición verde. Excepto la dureza lateral que en condición seca es ligeramente menor, que en condición verde (ver cuadro 5).

Los coeficientes de variación en condición verde y en condición seca al aire de los diferentes ensayos mecánicos realizados son menores, que el establecido por el Wood Handbook del US.FPL (47). Con excepción de cizallamiento y dureza lateral en condición verde y cizallamiento y dureza axial en condición seca cuyos valores son ligeramente mayores que la norma (47). Esto indica que todos los valores obtenidos son confiables (ver cuadro 6).

En el cuadro 11 (anexo), se observa que los valores de las propiedades mecánicas de la especie estudiada en condición verde son inferiores, con respecto a los eucaliptos provenientes de Brasil, Australia y Hawaii, igual sucede con los valores correspondientes a las otras especies del mencionado cuadro, con excepción del módulo de elasticidad en flexión estática y compresión paralela, cuyo valor es ligeramente mayor comparado con *Acer rubrum*, *Acer macrophyllum* y *Carapa nicaraguensis*, este último solo en compresión paralela al grano.

En el cuadro 12 (anexo) se observa que las propiedades mecánicas de los ensayos realizados sobre madera en condición seca al aire de *E. saligna* del presente estudio, los valores de los resultados son: inferiores en módulo de ruptura (flexión), trabajo al límite proporcional (flexión), dureza y resistencia máxima a la compresión paralela al grano; aproximadamente iguales o intermedias en esfuerzo al límite proporcional (flexión y compresión paralela), módulo de elasticidad (compresión paralela) y cizallamiento; superior en módulo de elasticidad (flexión), en todos los casos, en comparación con los otros eucaliptos estudiados en Brasil, Hawaii y Australia respectivamente. Así mismo los valores del eucalipto estudiado son: inferiores en dureza; intermedios en trabajo al límite proporcional y trabajo hasta la carga máxima (flexión), cizallamiento y compresión perpendicular; superiores en esfuerzo al límite proporcional, módulo de ruptura y módulo de elasticidad (flexión y compresión paralela al grano) con relación a las otras especies de peso específico similar: *Couma sp.*, *Ocotea austinii*, *Acer rubrum*, *Acer macrophyllum* y *Carapa nicaraguensi* de diferentes procedencias.

Los valores de peso específico y propiedades mecánicas en algunos casos inferiores a las especies comparadas, mayormente se deben a que las muestras estudiadas proceden de árboles jóvenes de 8 y 12 años de edad respectivamente, aseveración que coincide con lo manifestado por Gerhards (13) y Mazzei y Overbeck (31). Igualmente puede deberse a que las muestras de Arboretum Viejo y Campo Gamma se tomaron de la parte superior del tronco. Se procedió en esta forma por estar atacados por insectos internamente desde la base hasta 4-6 m de altura respectivamente, ya que la densidad de la madera decrece ligera -

mente con el incremento en altura a partir de la base (13,50).

Los valores mecánicos inferiores, intermedios y superiores, se deben en general, como sostiene Penfold (34), Cozzo (9), Gerhards (13) y Mazzei y Overbeck (31), a la gran variabilidad de las propiedades físicas y mecánicas de las maderas de *E. saligna* debido a varios factores. Por otro lado, los valores intermedios y superiores obtenidos en este estudio, demuestran la bondad de sus propiedades mecánicas, especialmente, en esfuerzos de flexión y compresión paralela a las fibras en condición seca al aire.

4. Características de secado

La madera de *E. saligna* seca rápidamente al aire y con facilidad. Durante el proceso de secado se constató pocos defectos y mayormente leves, que significa que la madera tiene un buen comportamiento de secado al aire. Este hecho se comprueba con los valores normales de las razones de contracciones radial/tangencial (véase cuadro 4), que indican leve deformación de la madera en el secado, obteniéndose por consiguiente madera de buena calidad. Estos resultados son similares a los obtenidos por González y Kronos (10) y Penfold y Willis (34).

5. Características de trabajabilidad

La madera de *E. saligna*, es relativamente fácil de trabajar con herramientas y equipos de carpintería, debido a la presencia de resina en los canales intercelulares que se adhieren a las superficies de los equipos de trabajo y que requieren frecuente limpieza con agua. En condición seca es mejor la aptitud de trabajo de la madera. Sin em-

bargo, por su estructura anatómica al final se obtienen superficies de buen acabado y lustre, razón por la cual la madera es muy codiciada para toda clase de aplicaciones. Estas apreciaciones coinciden en gran parte con lo expuesto por Metro (32).

6. Características de preservación

La madera de *E. saligna*, debido a su diferenciación de la albura y el duramen presenta distintos grados de preservación. La albura es fácil de impregnar y tiene una buena retención y penetración (100 %). El duramen es resistente a la preservación, difícil de preservar aún a altas presiones y por tiempo prolongado, la causa es posiblemente la presencia de canales con resina, sustancia que al secarse la madera tapona las cavidades de las puntuaciones de las células. Al ocurrir esto se obstruye el paso de la solución preservante; así mismo existe abundante tilosis con paredes gruesas que obstruyen las cavidades de los vasos, y que contribuyen a disminuir la permeabilidad de la madera. La retención del duramen es muy inferior a los considerados como normales para este tipo de tratamiento.

La albura bien tratada es durable y resistente; el duramen con poca retención es medianamente durable y resistente cuando la madera se encuentra en uso. Estos resultados son similares a los obtenidos por Cozzo (9) y González y Krones (19).

VI. RESUMEN

El *Eucalyptus deglupta* Blume y el *Eucalyptus saligna* Smith, constituyen dos de las especies maderables de amplia distribución en el mundo, de su hábitat natural (Australia y Asia) han sido introducidos en Africa, Europa, América Central y América del Sur. Esto se debe a que son especies forestales prometedoras, especialmente para los trópicos húmedos, debido a su adaptabilidad, rápido crecimiento y buen rendimiento en madera. Por tal razón, es necesario intensificar las investigaciones silviculturales y tecnológicas de estas especies como elementos prometedores para el desarrollo industrial de los países tropicales.

El presente estudio tiene como objetivo fundamental aumentar el conocimiento tecnológico de estas especies.

Las características estudiadas fueron: anatómicas, propiedades físicas, propiedades mecánicas, características de secado, preservación y trabajabilidad de la madera.

Las muestras para el estudio procedieron de seis árboles jóvenes diferentes para cada especie, de la formación "bosque muy húmedo premontano", correspondiente a las plantaciones experimentales del CATIE, Costa Rica (Turrialba).

Todas las pruebas se realizaron con base en las normas ASTM, en el Laboratorio de Productos Forestales UCR - CATIE, San José, Costa Rica.

Por su peso específico el *E. deglupta* (0.368) es moderadamente liviana y el *E. saligna* (0.486) moderadamente pesada. De acuerdo a estos parámetros, las propiedades mecánicas de estas especies son bajas y moderadamente altas respectivamente.

En general, las dos especies son fáciles de secar, preservar (excepto el duramen del *saligna* difícil de tratar) trabajar y de buena durabilidad.

Se recomiendan variados nuevos usos, además de los tradicionales para cada especie. *E. deglupta* carpintería general, construcciones livianas, entablado, revestimiento de buques, muebles de bajo costo, postes para cercas y postes para alumbrados tratados, construcción de interiores y exteriores en casos en que la resistencia no es factor importante, cajas y cajones para embalajes y pulpa para papel y *E. saligna* se puede emplear para carpintería general, construcciones internas y externas, muebles de buena calidad, ebanistería, parquet; puntales para minas, postes para cercas y alumbrados tratados, chapas y contrachapado, durmientes tratados para ferrocarriles, construcción de cubiertas y adornos de botes y barcos, y pulpa para papeles.

S U M M A R Y

Eucalyptus deglupta Blume and *E. saligna* Smith, natives of Australasia, have been introduced for wood production purposes to many parts of the world, including Africa, Europe, South and Central America. They are considered promising, especially for the humid tropics, due to their good adaptability, rapid growth and high yield of fiber. Intensified silvicultural and wood technological research is warranted for these species as promising elements of the industrial development of tropical nations.

The objectives of the present study was to resolve some unknowns concerning the technological aspects of the wood of these species. Characteristics studied were: anatomical, physical and mechanical properties, drying and preservation, and workability.

Samples used came from six different young trees of each species, grown in premontane wet life zone plantations of the experimental plots at CATIE, Turrialba, Costa Rica.

All tests were run according to the standards of ASTM, at the UCR - CATIE Wood Products Laboratory in San José, Costa Rica. Results show a specific gravity of moderately light (0.368) for *E. deglupta* and moderately heavy (0.486) for *E. saligna*. In agreement with these findings, the mechanical properties were shown to be low and moderately high, respectively. In general, the two species are easy to dry and preserve (except the heartwood of *saligna*, which is difficult to treat with preservative), easily worked, and of good durability.

Various new uses are recommended, in addition to the traditional ones, for each species. *E. deglupta* is good for general carpentry, light construction,

inexpensive furniture, posts and poles, interior and exterior (where resistance is not important) construction, boxes and crates, and paper pulp.

E. saligna can be used for general carpentry, internal and external construction, fine furniture, cabinet-making, parquet, mine timbers, posts and poles, veneer and plywood, sleepers (treated), boat decking and paper pulp.

VII. LITERATURA CITADA

1. ACOSTA, C.I. Descripción anatómica, propiedades físicas y algunos usos de 25 maderas de Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, IICA, 1967. 192 p. (mimeo.).
2. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. Standard methods of testing small clear specimens of timber. ASTM D 143-52. 1973. 978 p.
3. AMERICAN WOOD PRESERVERS' ASSOCIATION. Manual de estándares. Washington, D.C., 1972. p. irr.
4. BAKER, T. and SMITH, H.G. Woodfibres of some australian timbers. Sydney, Government Printer, 1924. 37 p.
5. BISSET, I.J., DADSWELL, H.F. and AMOS, G.I. Changes in fibre length within one growth ring of certain Angiosperms. Nature 165 (4192): 348-349. 1950.
6. BRAZIER, J.D. y FRANKLIN, G.L. Identification of Hardwoods, a microscopic key. Great Britain, Department of Scientific and Industrial Research. Bulletin N° 46. 1961. 96 p.
7. BROWN, H.P., PANSHIN, A.J. y FORSAITH, C.C. Textbook of wood technology New York, McGraw Hill, 1949. v. 1., 952 p.
8. _____. Textbook of wood technology. New York, McGraw Hill, 1952. v. 2., 783 p.
9. COZZO, DOMINGO. Eucalyptus y Eucaliptotecnia. Buenos Aires, El Ateneo, 1955. 393 p.
10. DESCH, H.E. Timber: its structure and properties. 3rd ed. London, McMillan, 1956. 350 p.
11. FERGUSON, J.H.A. *Eucalyptus deglupta* Bl. Tectona 40 (1): 51-61. 1950.
12. FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. Segunda conferencia mundial de eucalipto. Sao Paulo, Brasil, 1961. Informe y Documentos. Sao Paulo, 1961. 2 v.
13. GERHARDS, C.C. Physical and mechanical properties of *Saligna eucalyptus* grown in Hawaii. Madison, Wisc., Forest Products Laboratory, 1965. 12 p.
14. GHILARDI, E. y LADISLAU, G. Postes de eucaliptos preservados: estudio práctico de comportamiento al ataque de hongos y termitas. Conferencia mundial del eucalipto, 2a. Sao Paulo, Brasil, 1961. Informe y Documentos. Sao Paulo, 1961. pp. 1224-1230.

15. GONDELLES, A.R. El género *Eucalyptus* en Australia. Informe symposium sobre un viaje de estudios, Ministerio de Agricultura y Cría, Venezuela, 1954. 147 p.
16. GREAT BRITAIN. DEPARTMENT OF SCIENTIFIC AND INDUSTRIAL RESEARCH. Identification of hardwoods; a lens key. London. Forest Products Research. Bulletin N° 25. 1960. 126 p.
17. GRIJPIA, P. *Eucalyptus deglupta* Bl. Una especie forestal prometedora para los trópicos húmedos de América Latina. Turrialba (Costa Rica) 19 (2): 267-283. 1969.
18. GONZALEZ T., G. *et al.* Propiedades y usos de quince especies maderables del nordeste de Nicaragua. San José, Costa Rica, Laboratorio de Productos Forestales-CATIE, 1973. 202 p. (FO:SF/NIC 9. Informe técnico 8).
19. _____ y KRONES, M. Comparación de las propiedades de secado y preservación de postes de *Eucalyptus deglupta* y *saligna*. San José, Costa Rica, Laboratorio de Productos Forestales-CATIE, 1974. 9 p.
20. HALL, N., JOHNSTON, R.D. y MARRYATT, R. The natural occurrence of the *Eucalyptus*. Canberra, Australia, Dept. of National Development Forestry and Timber Bureau, 2nd Edition N° 65. 1963. 46 p.
21. HEATHER, W.A. The kamarere forests of New Britain. Empire Forestry Review 34 (3): 255-278. 1955.
22. HESS, R.W., WANGAARD, F.F. y DICKINSON, F.E. Properties and uses of tropical woods, II. Tropical Woods N° 97:1-131. 1950.
23. HOHEISEL, H. Estipulaciones para los ensayos de propiedades físicas y mecánicas de la madera. Mérida, Venezuela, Instituto Forestal Latinoamericano de Investigación y Capacitación, 1968. 56 p.
24. HUNT, G.M. y GARRAT, G.A. Preservación de la madera. Trad. de Abelardo Sachis Batalla. Barcelona, España, Salvat, 1962, 496 p.
25. JANE, F.W. The structure of wood. 2 ed. London, Black, 1970. 478 p.
26. KEIL, H.H. Mexico city meeting emphasizes Latin America. World Wood 11 (17):3. 1970.
27. KOLLMAN, F. Tecnología de la madera y sus aplicaciones. Trad. de 2 ed. alemana por el Instituto Forestal de Investigaciones y Experiencias y el Servicio de la Madera. Madrid, Ministerio de Agricultura, 1959. v. 1., 675 p.
28. LOAIZA, V.A. El efecto del uso de herbicidas y fertilizantes en el crecimiento inicial del *Pinus caribaea* Morelet var. *hondurensis* Barret y Golfari y *Eucalyptus saligna* Smith en plantación. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas, 1967. 106 p. (mimeografiado).

29. LLACH, C.L. Propiedades físicas y mecánicas de ciento trece especies. Panamá, FAO, 1971. v. 3, pp. 454-752. (FAO:SF/LAN 6. Informe técnico 3).
30. MARKWARDT, L.J. and WILSON, T.R.C. Strength and related properties of woods grown in the United States. USDA. Technical Bulletin N° 479. 1935.
31. MAZZEI, F.M. y OVERBECK, W. Investigacao da influencia da idade nos caracteristicos fisicos e quimicos do lenho e das pastas celulósicas da *Eucalyptus saligna*. Sao Paulo, Instituto de Pesquisas tecnológicas, 1966. 29 p. (Publicacao N° 758).
32. METRO, A. El eucalipto en la repoblación forestal. FAO. Estudios de Silvicultura y Productos Forestales N° 1. 1956. 431 p.
33. ORGANIZACION DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACION. La madera: tendencias y perspectivas mundiales. FAO, ROMA, 1967. 134 p.
34. PENFOLD, A.R. and WILLIS, J.L. The eucalyptus; botany, cultivation, chemistry and utilization. London, Leonard Hill, 1961. 551 p.
35. RENDLE, B.J. and CLARKE, S.H. The problem of variation in the structure of wood. Tropical Woods N° 38: 1-8. 1934.
36. RICO, C.J.E. Estudio tecnológico de tres especies maderables del trópico americano: *Hura crepitans* L., *Brosimum costaricanum* Liebm., y *Ceiba pentandra* (L) Gaertn. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, IICA, 1974. 103 p. (mimeo.).
37. RUNKEL, R.O.H. Pulp from tropical Woods. Tappi 35(4): 174-178. 1952.
38. SALAZAR, F.J.R. Comportamiento individual del *Eucalyptus deglupta* Blume, a seis niveles de NP durante el primer año de crecimiento. Tesis Ing. Agr. San José, Costa Rica, Universidad de Costa Rica, Facultad de Agronomía, 1970. 82 p.
39. SAO PAULO. INSTITUTO TECNOLOGICO DE SAO PAULO. Características físico-mecánicas da madeira de eucalipto. Conferencia mundial del eucalipto, 2a. Sao Paulo. 1961. Informe y documentos. Sao Paulo, 1961. pp. 1134-1135.
40. SLOOTEN, H.J. VAN DER. Report on a wood testing program carried out for UNDP 192, survey and development of selected forest areas, Costa Rica. San José, Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas, 1968. 133 P.
41. _____ y LLACH, C.L. Physical and mechanical properties of *Eucalyptus deglupta* Blume grown in Costa Rica. Turrialba 19 (2): 284-290, Turrialba, Costa Rica. 1969.

42. STANDARD SOIL COLOR CHART (Munsell). Explanation on its usage. Tokyo, Fujihira Industry, 1965. 16; 14 p.
43. THIRAWAT, S. The eucalyptus for tropical climates. Bangkok, Royal Forest Department, Thailand. 1954. 107 p.
44. TORTORELLI, L.A. Maderas y bosques argentinos. Buenos Aires, ACME. 1956. 910 p.
45. UNITED NATIONS, ECONOMIC COMMISSION FOR LATIN AMERICA. Trends and perspectives of forest products in Latin America. New York, Economic Commission for Latin America, Food and Agriculture Organization of the United Nations, 1962. 133 p.
46. U.S. FOREST PRODUCTS LABORATORY. Wood Handbook. U.S. Department of Agriculture. Agriculture Handbook N° 227. 1955. 167 p.
47. _____. Wood Handbook. U.S. Department of Agriculture. Agriculture Handbook N° 72. 1955. 528 p.
48. VENEZUELA. LABORATORIO NACIONAL DE PRODUCTOS FORESTALES. Estudio tecnológico de 104 maderas de los Altos Llanos Occidentales. Mérida, Venezuela, 1972. 175 p.
49. WESTOBY, J.C. Science and technology: III. Possibilities for developing countries. *Unasylva* 20(4):19-22. 1966.
50. WHITMORE, J.L. Density variation in the wood of Costa Rican balsa. Tesis M.F. Ann Arbor. University of Michigan, 1968. 79 p.
51. _____. and MACIA S., F. *Eucalyptus deglupta*, *E. dactyloides*, and *E. alba* provenances tested in Puerto Rico: two years after out planting. *Forest Science* 22, 1976. (Inpress).

Cuadro 7. Comparación de las propiedades físicas de la madera de *E. deglupta*, con madera de la misma especie y otras especies de peso específicos similar de diferentes procedencias.

E S P E C I E	Contenido de humedad verde %	DENSIDAD (gr/cm ³)	PESO ESPECIFICO		CONTRACCIONES				RAZON DE CONTRACCIONES		
			Peso seco al horno	Peso y volumen verde	Peso seco al horno	Radial (%)	Tangencial (%)	Radial (%)	Tangencial (%)	De Verde al aire*	De Verde al horno
<i>E. deglupta</i> Costa Rica	140	0.874	0.368	0.413	11.0	2.2	4.0	5.1	7.8	1/2.3	1/1.9
<i>E. deglupta</i> Costa Rica (41)	133	-	0.39	0.44	-	-	3.9	-	7.8	-	1/2.0
Jaul <i>Alnus ferruginea</i> Costa Rica (40)	95	-	0.41	0.44	-	-	4.1	-	6.9	-	1/1.7
Laurel <i>Cordia</i> sp. Panamá (29)	87	0.675	0.36	0.42	12.3	1.4	3.1	6.2	9.2	1/4.4	1/2.9
Mollejo <i>Viola</i> sp. Panamá (29)	76	0.728	0.36	0.41	12.3	1.5	3.5	5.4	9.0	1/3.6	1/2.6
Espavé <i>Anacardium excelsum</i> Panamá (29)	155	0.969	0.38	0.42	8.3	1.3	2.6	2.9	5.1	1/2.2	1/2.0
Alder, red <i>Alnus tubra</i> Estados Unidos (47)	98	-	0.37	0.41	12.6	-	4.4	-	7.3	-	1/1.7
Yellow Poplar <i>Liriodendron tulipifera</i> Estados Unidos (47)	83	-	0.40	0.42	12.3	-	4.0	-	7.1	-	1/1.8

* Al 12 % contenido de humedad.