

Ingeniería

Revista de la Universidad de Costa Rica
Enero/Junio 1996 VOLUMEN 6 N° 1



INGENIERIA

Revista Semestral de la Universidad de Costa Rica
Volumen 6, Enero/Junio 1996 Número 1

DIRECTOR

Rodolfo Herrera J.

CONSEJO EDITORIAL

Víctor Hugo Chacón P.

Ismael Mazón G.

Domingo Riggioni C.

CORRESPONDENCIA Y SUSCRIPCIONES

Editorial de la Universidad de Costa Rica
Apartado Postal 75
2060 Ciudad Universitaria Rodrigo Facio
San José, Costa Rica

CANJES

Universidad de Costa Rica
Sistema de Bibliotecas, Documentación e Información
Unidad de Selección y Adquisiciones-CANJE
Ciudad Universitaria Rodrigo Facio
San José, Costa Rica

Suscripción anual:

Costa Rica: ₡ 1 000,00

Otros países: US \$ 25,00

Número suelto:

Costa Rica: ₡ 750,00

Otros países: \$ 15,00



Edición aprobada por la Comisión Editorial de la Universidad de Costa Rica
© 1998 EDITORIAL DE LA UNIVERSIDAD DE COSTA RICA
Todos los derechos reservados conforme a la ley
Ciudad Universitaria Rodrigo Facio
San José, Costa Rica.

INGENIERIA

Revista Semestral de la Universidad de Costa Rica
Volumen 1, Número 1, Enero-Junio 1991

Revisión Filológica: *Lorena Rodríguez*

Diseño Gráfico, Diagramación y Control de Calidad:
Unidad de Diseño Gráfico de Revistas
Oficina de Publicaciones

DIRECTOR

Rodolfo Herrera J.

CONSEJO EDITORIAL

Víctor Hugo Chacón P.
Ismael Mazón G.
Domingo Riggioni C.

*Impreso en la Oficina de Publicaciones
de la Universidad de Costa Rica*

CORRESPONDENCIA Y SUSCRIPCIONES

Editorial de la Universidad de Costa Rica
Apartado Postal 75
2000 Ciudad Universitaria Rodrigo Facio
San José, Costa Rica

CARLES

Revista
620.005
I-46i

Ingeniería / Universidad de Costa Rica. —
Vol. 1, no. 1 (ene./jun. 1991). — San José, C. R. : Editorial
de la Universidad de Costa Rica, 1991. — (Oficina de Publicaciones
de la Universidad de Costa Rica)
v. : il

Semestral.

1. Ingeniería - Publicaciones periódicas.

CCC/BCUR—250



ESTUDIO TECNICO DE DOS ESPECIES DE ROBLE (QUERCUS SP.) CRECIENDO EN COSTA RICA

Flor de Ma. Muñoz U.
Berny Valverde C.

SUMMARY

Oak timber (genus: *Quercus*) is well known for its mechanical strength and its beautiful look. It is attributed, however, with serious drying problems which highly limit its commercialization.

The mechanical and physical properties of *Quercus costaricensis* and *Quercus copeyensis*, growing between 2600 m to 2800 m - holm oak and white oak, respectively - are determined according to the ASTM standard D 143-83. Such information is complemented with an anatomic and structural study for both species, as well as with an analysis of drying properties, both in open air and with an industrial drier.

The physical properties of oak timber studied here are: basic specific weight, contraction (radial, tangencial and volumetric), dry and green density, point of fiber saturation, and contraction ratio. Mechanical properties are measured both green and dried to 12% humidity, and comprise: static flexure, shear, hardness, parallel compression and perpendicular compression.

Two potential uses in civil construction are valued as of immediate application†: narrow boards for ceilings and floor parquet. Due to their dimensions, these pieces yielded excellent results in an industrial drier. The defects and deformations produced by drying which characterize this species were reduced in nearly 100%.

RESUMEN

De la madera de roble (género *Quercus*), se conoce su fortaleza desde el punto de vista mecánico y su bonita apariencia; sin embargo, se le atribuyen serios problemas de secado que limitan en alto grado su comercialización.

Utilizando como base las normas ASTM D-143-83, se determinan las propiedades físicas y mecánicas del *Quercus costaricensis* y *Quercus copeyensis*, roble encino y roble blanco respectivamente, creciendo a altitudes entre los 2600 m y 2800 m; información que se complementa con un estudio anatómico y estructural para ambas especies. Se incluye también el análisis de secado al aire y en secador industrial.

Las propiedades físicas estudiadas son: peso específico básico, contracción radial, tangencial y volumétrica, densidad seca y verde, punto de saturación de fibra y razón de contracción. Las propiedades mecánicas valoradas, tanto en condición verde como seca al 12% de contenido de humedad corresponden a: flexión estática, cortante, dureza, compresión paralela y compresión perpendicular.

Como aplicación inmediata, se valoran dos usos potenciales para la construcción civil: la tablilla para cielo raso y el parqueté para piso. Por sus dimensiones, ambos dieron excelentes resultados en secador industrial, y se redujo casi en 100% los defectos y deformaciones por secado característicos de esta especie durante el proceso de secado.

1. DISTRIBUCION Y HABITAT DE LOS ROBLEDALES EN COSTA RICA

La mayoría de robles en Costa Rica se localizan en las zonas de altura del país. Predominan en altitudes superiores a los 2000 m, como es el

caso de la Cordillera de Talamanca y de la Cordillera Volcánica Central. No obstante, se han registrado otras especies en zonas de menor altitud como es el caso del *Quercus brenesii* que se extiende desde Monteverde, provincia de Puntarenas a 600 m hasta San Ramón, provincia de Alajuela a 1500 m de altitud. Por su parte, el *Quercus oleoides* se ha desarrollado a altitudes inferiores a los 450 m en la provincia de Guanacaste (referencia 11).

* Investigadores del Instituto de Investigaciones en Ingeniería. Universidad de Costa Rica.

De este modo, en Costa Rica - a excepción del *Quercus oleoides* - las zonas de vida de los robles son: el bosque húmedo, muy húmedo y pluvial premontano, el bosque húmedo y pluvial montano bajo y el bosque muy húmedo y pluvial montano.

El piso montano posee una composición de flora que es menos compleja que la de los pisos premontano o montano bajo. Por esta razón, los bosques que cubren la Cordillera de Talamanca son comparativamente homogéneos, ya que los constituyen fundamentalmente especies del género *Quercus*; de ahí se desprende el uso de la palabra "roble-dales" para categorizar a esas zonas boscosas.

En la zona de San Gerardo de Dota, entre los 2400 a 2800 m de altitud, cerca de la carretera Interamericana Sur, se encuentran como especies más frecuentes y de mayor densidad en la zona, las siguientes: *Quercus copeyensis*, *Quercus costaricensis*, *Quercus seemanii* y *Quercus gulielmi-trealease*.

La madera del género *Quercus*, a pesar de su bonita apariencia y excelentes propiedades mecánicas, ha tenido usos poco variados en construcción civil, a saber: postes para cercas, fuente energética (principalmente calórica en forma de leña y carbón), y como durmientes para ferrocarril. Otros usos se han visto limitados por los problemas de colapso y agrietamiento severo que presentan las especies del género *Quercus* durante el secado.

Existiendo una cantidad de roble comercialmente explotable y creciendo en bosques con planes de manejo, como es el caso del bosque primario que aportó el material para este estudio, se consideró necesario valorar sus propiedades tecnológicas e investigar para obtener una metodología de secado apropiada.

El material utilizado en el estudio fue aportado por el proyecto "Silvicultura de Bosques Naturales" (CATIE/COSUDE/DGF), y fue extraído del bosque primario ubicado en Villa Mills- Siberia (Cerro de la Muerte: 2600 a 2800 m de altitud).

Para efectuar las pruebas se eligieron las especies *Quercus costaricensis* y *Quercus copeyensis* por cuanto estas representaban el 35% del total de especies comerciales sembradas (36 especies sembradas identificadas) y el 70% de los árboles en edad comercializable.

2. Alcance

El estudio se limitó a la determinación de las propiedades tecnológicas de la madera de las especies *Quercus costaricensis* y *Quercus copeyensis*, y el establecimiento de una metodología para lograr un secado apropiado que permita extender sus aplicaciones en la construcción civil. Para ello se cumplió con los objetivos siguientes:

- Caracterización anatómica de la madera.
- Valoración experimental de las propiedades físicas: peso específico básico, contracción volumétrica, radial y tangencial, densidad e índice de contracción.
- Valoración experimental de las principales propiedades mecánicas, tanto en condición verde como seca: flexión estática, dureza, cortante, compresión paralela y compresión perpendicular al grano.
- Búsqueda y aplicación de un programa de secado.
- Aplicaciones específicas como material para piso (parqué) y cielo raso.

3. METODOLOGIA

3.1 Anatomía de la madera

3.1.1. Descripción macroscópica

Se llevó a cabo siguiendo el esquema de la "Guía para la descripción de la madera" (referencia 8). Se caracterizó la forma y distribución de los poros, radios, cantidad y disposición del parénquima longitudinal y otros elementos que permiten identificar la especie.

El material para estudio se extrajo de una pieza de 20 cm de espesor y aproximadamente 25 cm de arco.

Se efectuaron las observaciones de la estructura por medio de una lupa 10X y un estereoscopio, utilizando las guías de descripción para especies latifoliadas del Laboratorio de Productos Forestales de la Universidad de Costa Rica (referencia 8).

3.1.2 Descripción microscópica

La descripción microscópica de cada especie se basó en el estudio de muestras de madera, orientadas adecuadamente de acuerdo con el sistema de radios y con un tamaño de 16.4 cm³. Se disociaron los elementos que componen la madera siguiendo el método de *Jeffry* (referencia 13).

Para el estudio ultraestructural se efectuaron cortes de 150 micras de grosor en sentido radial, tangencial y transversal. Las micrografías fueron tomadas en un microscopio electrónico de barrido.

La "Guía para la descripción de la madera" (referencia 8) permitió definir la estructura microscópica de las muestras. Las fibras se caracterizaron de acuerdo con su diámetro tangencial promedio, longitud, diámetro del lumen y grosor de la pared.

Finalmente, en adición a los objetivos iniciales planteados, se calculó el coeficiente de flexibilidad y el factor Runkel para conocer la posibilidad de utilizar las fibras de estas especies en la producción de pulpa para la fabricación de papel.

3.2 Propiedades físicas y mecánicas

Las pruebas físicas y mecánicas se realizaron siguiendo la norma ASTM D-143-83: Ensayos en especímenes pequeños de madera libre de defectos, elaborada por la Sociedad Americana de Pruebas y Materiales.

Las pruebas físicas consistieron en: contracción radial y tangencial, punto de saturación de fibra tanto radial como tangencial, peso específico básico, densidad verde, densidad seca y contracción volumétrica del material.

La condición verde se refiere al contenido de humedad de la madera en estado natural (recién cortada), y la condición seca en los siguientes estados: a) seca al aire a una condición de humedad aproximada del 12% y b) seca en estufa.

Las pruebas mecánicas comprendieron: flexión estática, cortante paralelo al grano, compresión paralela y perpendicular al grano y dureza. Las pruebas se aplicaron tanto en especímenes en condición verde como en condición seca (12% de humedad aproximadamente).

El secado al 12% de humedad se alcanzó en un cuarto de condiciones ambientales controladas (humedad relativa 60% y 17°C de temperatura), con el propósito de acelerar el proceso y mantenerlo a ritmo estable (referencia 4), evitando, en lo posible, contracciones no deseadas en los especímenes.

3.3 Secado

3.3.1 Secado al aire

La caracterización de secado de los *Quercus costaricensis* y *Quercus copeyensis*, se hizo con base en la técnica de secado al aire.

El material utilizado se preparó ajustándose a la norma estándar ASTM D143-83. La escogencia se hizo de tal forma que el número de muestras fuera significativa para cada punto de orientación (norte, sur, este y oeste).

El secado al aire se hizo bajo techo y dejando 40 cm sobre el nivel del piso, el cual está chorreado en concreto. Las muestras se orientaron de norte a sur para que recibieran la ventilación adecuada. Las dimensiones de los especímenes fueron en promedio: 5 cm x 5 cm x 80 cm. (referencias 2,12,19).

Antes de ser apiladas, las muestras fueron pesadas y se tomó nota de los defectos originales que presentaban, a saber: longitud y ancho de rajaduras y grietas, tanto de las cabezas como de las caras laterales, número de huecos, deformaciones por pandeo, giro axial y alabeo de canto, así como otras características de importancia.

Se llevó un control de secado quincenal, anotando cada defecto mencionado en el párrafo anterior y realizando una observación bastante amplia y detallada para detectar cualquier aspecto relevante que sucediera durante el secado. El proceso finalizó una vez que las muestras alcanzaron el punto de equilibrio con el medio ambiente (17.5 % de contenido de humedad).

3.3.2 Secado en secador industrial

Después de una exhaustiva investigación y análisis de programas de secado desarrollados para otras especies que presentan problemas de secado similares a los *Quercus* (fuerte contracción y agrietamiento), y gracias a la colaboración de la

empresa Promaderas S.A., se obtuvieron buenos resultados en piezas de 1.25 cm (8.75 cm de sección, dimensiones establecidas para la tablilla de construcción. Basados en lo anterior, se procedió a elaborar el diseño del programa de secado empleando el procedimiento recomendado por Rice para el *Quercus* spp. (referencia 21).

El material a secar se aserró efectuando cortes en el sentido radial, tal y como lo recomiendan varios autores (referencia 21).

Se extrajo parqué para piso y tablilla de construcción, esta última con dimensiones de 1.25 cm de espesor (1/2") (8.75 cm de ancho (3.5") (3.35 m ó 2.5 m de longitud (3 ó 4 varas).

Se utilizó un horno secador de compartimiento, con sistema de calefacción a vapor, válvulas de control automático, paredes de mampostería tipo túnel y una capacidad de almacenaje de 71875 dm³.

Para variar las condiciones en el secador, se llevó un control de humedad en el apilamiento, utilizando para ello muestras testigo y según el procedimiento siguiente:

- Primero se escogieron tres muestras por pila de secado de la carga total y, usando un controlador eléctrico, se midió el contenido de humedad.
- Seguidamente, y según el programa de secado establecido, una vez iniciado el proceso de secado, los cambios en las condiciones de humedad se fueron variando en el horno secador de acuerdo con el secado de las muestras testigo.
- Por último, una vez alcanzado el nivel de humedad deseado (según el programa de secado), se procedió a la igualación y acondicionamiento que requería la carga.

4. RESULTADOS

4.1 Caracterización anatómica de las especies¹

Nombre científico:	<i>Quercus costaricensis</i>	<i>Quercus copeyensis</i>
Nombre común:	Roble Encino	Roble Blanco
Familia:	Fagaceae	Fagaceae
Procedencia:	Villa Mills-Siberia (Cerro de la Muerte)	

¹ Realizada por la Lic. Isabel Ma. Carpio Malavassi. Bióloga del Laboratorio de Productos Forestales. Universidad de Costa Rica.

4.1.1 Descripción macroscópica

Quercus costaricensis

Los poros presentan una distribución semi-circular; que en algunos sectores se muestra difusa. La concentración cambia cuando consideramos toda la superficie transversal desde la albura hasta el centro. Algunos poros se encuentran solitarios, mientras que otros se encuentran de 2 en 2, predominando la concentración radial (aproximadamente un 90%). Tienen un tamaño moderadamente pequeño (0.05 a 0.1 (m), con un cambio de tamaño que se da a lo largo de toda la superficie transversal desde la albura hacia el centro, prescindiendo de los anillos de crecimiento. En cuanto a su forma, son predominantemente ovales y abundantes.

Los radios son de dos tipos: los excesivamente anchos, visibles a simple vista y que poseen varias filas de células; luego, los finos, no visibles a simple vista, con radios de una sola hilera de células. El número de radios anchos en 5 mm lineales es de 2 a 3.

Quercus copeyensis

La porosidad de la especie es semicircular, con varias hileras de poros alineados en cadenas generalmente radiales. Los poros son de tamaño moderadamente grande (0.2 a 0.5 mm), pueden verse fácilmente a distancia normal de lectura y aún a la longitud del brazo. También se observan poros de tamaños muy pequeños. Respecto a la forma, son predominantemente redondos y abundantes. En su mayoría se localizan poros solitarios, aunque también los hay múltiples, en números de 2 y 3, y también de tipo racemiforme.

En cuanto a los radios, los hay de dos tipos: anchos con varias filas de células, muy conspicuos y visibles; y los angostos, que son radios de ancho de una sola hilera de células, mucho más numerosos que los primeros y prácticamente indistinguibles a simple vista.

4.1.2 Descripción microscópica

Quercus costaricensis

Los elementos de los vasos son poco numerosos, de tamaño pequeño a muy grandes.

Los elementos vasculares son de longitud mediana, con placas perforadas predominantemente horizontales, con perforaciones simples con la apertura interna incluida.

Se localizan traqueidas de tipo vasicéntrico mezcladas con el parénquima longitudinal.

El parénquima es abundante, de tipo paratraqueal y apotraqueal; el paratraqueal es escaso, mezclado con las traqueidas vasicéntricas y el apotraqueal es difuso y en líneas o columnas de una célula de ancho, ocasionalmente se observan algunos biseriados.

Los radios no son estratificados, son homogéneos, constituidos enteramente por células horizontales o procumbentes de tamaño mediano a muy ancho (tipo *Quercus*) de tipo multiseriado y muy finos, numerosos y espaciados de tipo uniseriado, ocasionalmente biseriados solo en la parte central. Se observan depósitos gomosos en la célula radial y longitudinal.

Las fibras son libriformes, y se localizan algunas fibrotraqueidas, con una longitud promedio de 1325 (m, un diámetro tangencial promedio de 25 (m; un grosor promedio de lumen de 9.0 (m y grosor promedio de la pared de 16 μ m. Poseen puntuaciones simples y en ocasiones de tipo areolado.

Quercus copeyensis

Los elementos de los vasos son de pequeños a moderadamente grandes (longitud promedio = 431(m y ancho promedio = 160 (m), distribuidos en cadenas en toda la superficie transversal, y en agrupaciones cortas con orientación tangencial. Los elementos vasculares son de longitud mediana. Las placas perforadas son inclinadas, con puntuaciones simples y opuestas, de forma ovalada, con aperturas extendidas de forma lenticular y dispuestas verticalmente respecto del resto de las puntuaciones.

Se observan algunas traqueidas vasicéntricas mezclándose con el parénquima y los vasos formando bandas tangenciales. El parénquima es abundante, de tipo paratraqueal y apotraqueal. El parénquima paratraqueal es escaso y el apotraqueal se localiza en forma difusa en bandas tangenciales onduladas con una célula de ancho que va de radio a radio, y también como células aisladas.

Los radios son de tipo homogéneo, uniseriados, y ocasionalmente multiseriados, constituidos fundamentalmente por células procumbentes; son de tamaño mediano a muy anchos y no estratificados.

En ocasiones se localizan depósitos gomosos en los poros formando tílides. Las fibras son libriformes y se localizan algunas fibrotraqueidas con una longitud promedio de 1105 (m, un diámetro tangencial promedio de 26 mm; un grosor promedio de lumen de 11 (m) y las paredes gruesas de 15 (m).

4.2 Propiedades físicas y mecánicas

4.2.1 Resultados generales

En el cuadro No 1 se muestra el resumen de los resultados promedio obtenidos para las pruebas físicas y mecánicas en condición verde y seca (12% de contenido de humedad), de las especies de roble *Quercus costaricensis* y *Quercus copeyensis*, provenientes del bosque primario ubicado en las cercanías de Villa Mills - Siberia (2600-2800 m de altitud), del proyecto "Silvicultura de Bosques Naturales".

4.2.2 Propiedades físicas

Para el *Quercus costaricensis*, el peso específico básico (PEB) es de 0.59, mientras que el *Quercus copeyensis* presenta un PEB de 0.71, lo que los clasifica como una madera pesada y muy pesada, respectivamente.

Los resultados promedio obtenidos para las propiedades físicas se muestran en el cuadro No 2, donde también se incluye una comparación con las propiedades conocidas de otros tipos de roble de la especie *Quercus*.

Analizando las distintas propiedades físicas, se tiene que, el *Quercus costaricensis* presenta contracciones radiales y tangenciales más bajas que para los otros *Quercus*, mientras que el *Quercus copeyensis* presenta contracciones más altas respecto del *costaricensis* pero similares a las otras especies. No obstante esto, la razón de contracción de verde a seco al horno es mayor para el roble encino que para los otros robles.

Cuadro N° 1

Resultados promedio de las propiedades físicas y mecánicas en condición verde y seca al 12% de contenido de humedad ASTM D-143-83

Especies: *Quercus copeyensis* (1) y *Quercus costaricensis* (2)
 Procedencia: Villa Mills - Siberia (Cerro de La Muerte)

PROPIEDADES FISICAS	UNIDAD	RESULTADO (1)	RESULTADO (2)
Densidad verde	g/cm ³	1.22	1.08
Densidad seca	g/cm ³	0.71	0.73
Peso específico básico	g/cm ³	0.88	0.59
Contracción volumétrica	%	20.0	18.45
Contracción radial (verde a seco al aire)	%	3.75	2.95
Contracción radial (verde a seco al horno)	%	5.97	4.19
Punto de saturación de fibras en el sentido radial	%	29.0	26.13
Contracción tangencial (verde a seco al aire)	%	12.77	9.50
Contracción tangencial (verde a seco al horno)	%	17.04	12.76
Punto de saturación de fibras en el sentido tangencial	%	45.0	31.35
Punto de saturación de fibras (promedio)	%	37.0	28.74
Razón de contracción de verde a seco al aire		1/3.40	1/3.27
Razón de contracción de verde a seco al horno		1/2.85	1/3.07
PROPIEDADES MECANICAS EN CONDICION VERDE			
Esfuerzo al límite proporcional en flexión estática	kg/cm ²	366	248
Módulo de ruptura en flexión estática	kg/cm ²	642	476
Módulo de elasticidad en flexión estática	kg/cm ²	119789	92664
Trabajo al límite proporcional en flexión estática	kg-m/dm ³	0.61	0.35
Trabajo a la máxima carga en flexión estática	kg-m/dm ³	3.54	2.70
Esfuerzo máximo en cortante paralelo al grano (tangencial)	kg/cm ²	113	92
Dureza en el extremo	kg	598	460
Dureza en el lado	kg	718	577
Esfuerzo máximo en compresión paralela al grano	kg/cm ²	289	197
Esfuerzo al límite proporcional en compresión perpendicular	kg/cm ²	100	69
PROPIEDADES MECANICAS EN CONDICION SECA			
Esfuerzo al límite proporcional en flexión estática	kg/cm ²	723	570
Módulo de ruptura en flexión estática	kg/cm ²	1308	1029
Módulo de elasticidad en flexión estática	kg/cm ²	164485	130710
Trabajo al límite proporcional en flexión estática	kg-m/dm ³	1.67	1.31
Trabajo a la máxima carga en flexión estática	kg-m/dm ³	9.45	9.25
Esfuerzo máximo en cortante paralelo al grano (tangencial)	kg/cm ²	193	139
Dureza en el extremo	kg	947	651
Dureza en el lado	kg	1145	792
Esfuerzo máximo en compresión paralela al grano	kg/cm ²	647	445
Esfuerzo al límite proporcional en compresión perpendicular	kg/cm ²	111	93

CUADRO N° 2

Comparación de los resultados promedio de las propiedades físicas del *Quercus costaricensis* y el *Quercus copeyensis* respecto a otras especies de roble

Nombre Común	CH (%)	r		Radial (%) seca (g/cm3)	Tangencial Cont. Vol.	Contracción		Razón de				
		r (g/cm3)	P.E.B (g/cm3)			v - sa	v - sh	v - sa	v - sh	v - sa	v - sh	
Roble Encino (**)												
<i>Quercus costaricensis</i>	80	1.06	0.59	0.72	17.9	2.79	3.97	8.93	12.11	1/3.27	1/3.07	
Roble Blanco (+)												
<i>Quercus copeyensis</i>	74	1.22	0.71	0.88	20	3.75	5.97	12.77	17.04	1/3.4	1/2.85	
Encino (*)												
<i>Quercus eugeniaefolia</i>	83	1.21	0.67	no	no	no	5.80	no	19.90	no	1/2.9	
Roble Colorado (*)												
<i>Quercus aaata</i>	70	1.22	0.71	no	no	no	6.60	no	17.70	no	1/2.7	

Fuente: referencia 9,19 (*), referencia 18 (+), referencia 23 (**)

Como se observa en el cuadro No 2, la contracción volumétrica que presenta esta especie respecto al roble blanco es ligeramente menor (una variación de un 2%), lo que sugiere que estas dos especies pueden presentar comportamientos semejantes, por ejemplo durante el secado. Sin embargo, como lo establece la teoría, a más altas contracciones, habrá mayor tendencia a mostrar problemas de secado (referencia 21).

En la figura No 1 se comparan, de acuerdo con el PEB las contracciones radial y tangencial (de verde a seco al horno), para los distintos tipos de roble *Quercus* que se muestran en el cuadro No 2. Se observa como las contracciones radiales difieren en un porcentaje más pequeño que para el caso de las contracciones tangenciales, siendo la más notoria la alta contracción tangencial que presenta el encino (*Quercus eugeniaefolia*). A pesar de que el roble encino (*Quercus costaricensis*) es el que presenta la menor contracción tangencial, sigue siendo bastante elevada (12.11%), lo que provoca, al igual que el roble blanco (*Quercus copeyensis*) que las grietas y rajaduras que se presentan durante el secado se den en este sentido y no en el radial.

4.2.3 Propiedades Mecánicas

4.2.3.1 Resultados en condición verde

De las pruebas físicas se obtuvo que el *Quercus costaricensis* posee un P.E.B. de 0.59 frente a un P.E.B. de 0.71 para el *Quercus copeyensis*, de ahí que las propiedades mecánicas del primero sean inferiores al segundo.

Los resultados del módulo de ruptura (flexión), el esfuerzo último en compresión y cortante paralelo al grano se muestran en el figura No 2.

En la figura se han destacado solo tres parámetros, el resto de las propiedades presentan un patrón similar, es decir, mejores propiedades mecánicas en condición verde para el *Quercus copeyensis*.

4.2.3.2 Resultados en condición seca al 12% de humedad

Como era de esperar, se logra mejor comportamiento mecánico en ambas especies para la condición seca. El *Quercus copeyensis* sigue ofreciendo mejores propiedades mecánicas que el *Quercus costaricensis*.

Fig. No. 1

Comparación entre especies de roble del género *Quercus* Peso específico básico v.s. contracción radial y tangencial

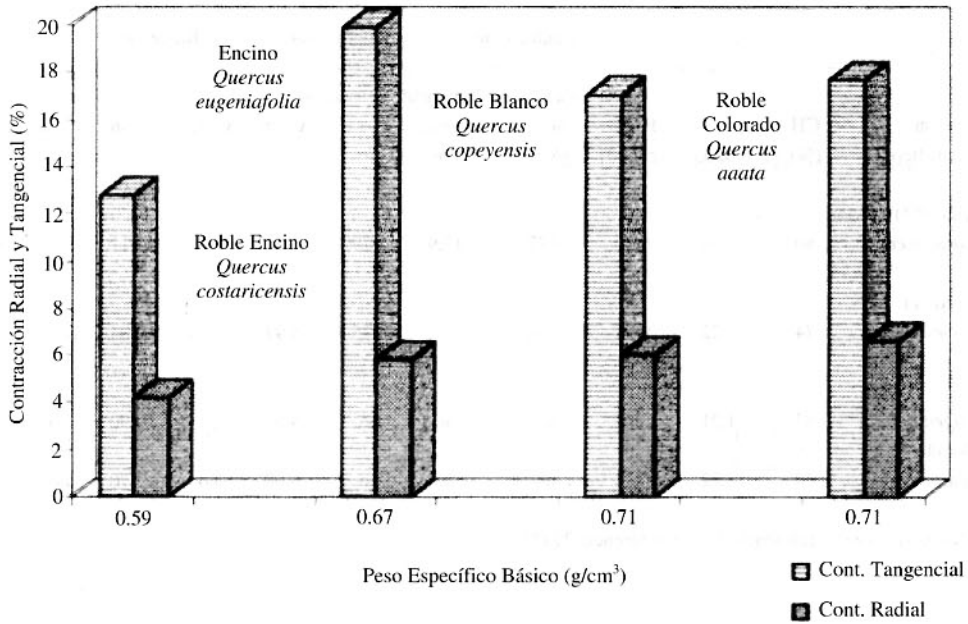
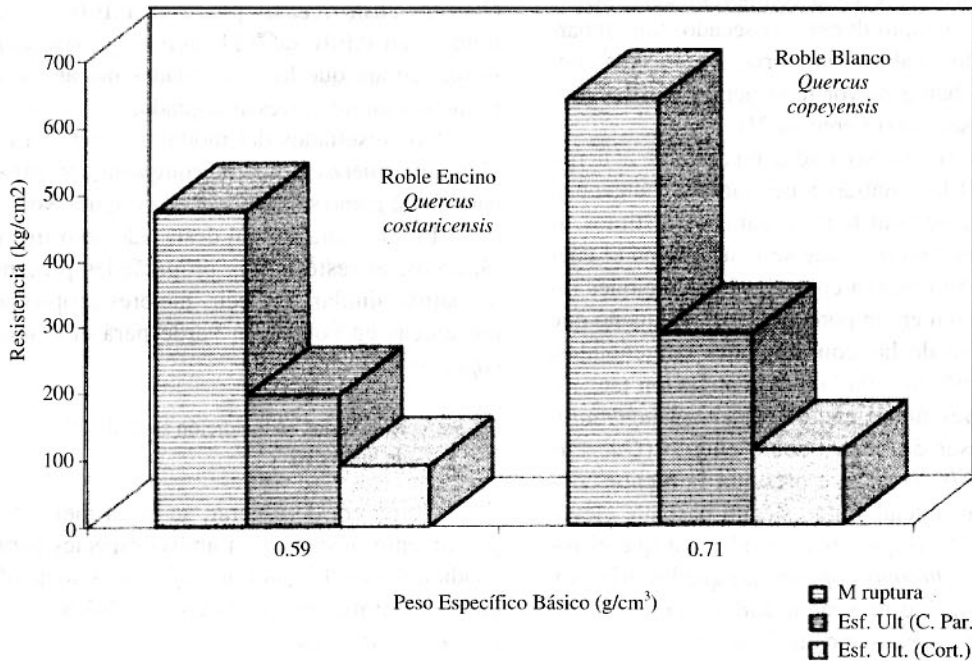


Fig. No. 2

Comparación de algunas propiedades mecánicas en condición verde del *Quercus costaricensis* y el *Quercus copeyensis*



Para la condición seca al 12% de humedad, se tomó información proveniente de investigaciones realizadas en otras especies de robles

nacionales. Para todas ellas, los datos comparables se muestran en el cuadro No 3.

CUADRO N° 3

Comparación de los resultados promedio de las propiedades mecánicas en condición seca (12% de humedad) del *Quercus costaricensis* y el *Quercus copeyensis* respecto a otras especies de roble

Nombre Común Nombre Científico	PEB g/cm ³	s kg/cm ²	Flexión				Dureza	
			Mrup kg/cm ²	E kg/cm ²	Wlp kgm/dm ³	Wu kgm/dm ³	Ext. kg	Lad. kg
Roble Encino (**) <i>Quercus costaricensis</i>	0.59	597	1029	130710	1.31	9.25	651	792
Roble Blanco (+) <i>Quercus copeyensis</i>	0.71	723	1308	164485	1.67	9.45	947	1145
Encino (*) <i>Quercus eugeniaefolia</i>	0.67	621	1154	200000	1.17	9.90	965	985
Roble Colorado (*) <i>Quercus aaata</i>	0.71	720	1276	205000	1.48	11.40	1070	1087

Fuente: referencia 9,19(*), referencia 18(+), referencia 23(**)

A pesar de que el *Quercus costaricensis* presenta propiedades mecánicas inferiores al resto de los *Quercus* con que se compara, esta madera se considera como de muy buenas propiedades mecánicas.

Como se aprecia, el módulo de ruptura y el esfuerzo al límite proporcional para todas las especies de *Quercus* tienen bastante similitud, presentando en todos los casos altas resistencias. Se observa además, como la energía necesaria para que estas especies alcancen el límite proporcional (Wlp) es semejante, mientras que la energía requerida para que se llegue a la falla (W último) es muy similar para los tres primeros *Quercus*, siendo un poco más alta para el *Quercus aaata*, lo cual guarda relación con las mejores características mecánicas reportadas por esta última especie (Ver cuadro No 3).

4.3 Secado

4.3.1 Secado al aire

El secado al aire bajo condiciones controladas (17°C y 60% de humedad relativa) duró 121

días y el punto de equilibrio en los especímenes se dio para una humedad del 17.5 %.

En la primera etapa se presentaron principalmente fuertes contracciones tangenciales (aproximadamente en el 85% de los especímenes), extensas rajaduras laterales (hasta 40 cm de largo) y grandes grietas en los extremos. El pandeo fue común en todos los especímenes, mientras que el alabeo de canto y el giro axial casi no se dieron.

En la etapa de secado lento, las rajaduras y grietas se fueron cerrando exteriormente hasta ser poco visibles días antes de alcanzar el equilibrio con el medio.

4.3.2 Secado en secador industrial

El programa de secado se describe en el cuadro No 4. En él se distinguen varios pasos durante el proceso: al inicio (paso de temperatura 1) se emplearon temperaturas bajas con humedades altas, para controlar la degradación de la superficie; luego (pasos de temperatura 2, 3 y 4), se usaron temperaturas moderadas y se disminuyó las humedades relativas, con el fin de minimizar las

fallas internas; finalmente (paso de temperatura 3), se aumentó la temperatura a altos niveles y se redujo la humedad relativa hasta el nivel de humedad más bajo, con el objeto de llegar al contenido de humedad requerido.

El programa de temperatura T3 y el de humedad C2 corresponden, respectivamente a la temperatura "3" que debe tener el bulbo seco cuando se requiera un cambio de temperatura, según los programas de temperaturas generales para latifoliadas; y al contenido de humedad que debe de existir cuando se requiera un cambio de depresión, según los programas generales para

depresión de bulbo húmedo en latifoliadas. El largo que se indica como "A" corresponde a la longitud de las piezas, el cual puede variar.

En la parte inferior del cuadro No 4, se indican las condiciones de temperatura y humedad necesarias para ejecutar la igualación del material, esto es, uniformar el contenido de humedad en la carga. Así mismo, se presentan las condiciones de humedad y temperatura necesarias para lograr el acondicionamiento, cuyo objetivo es obtener una distribución uniforme entre la superficie y el núcleo de cada pieza.

CUADRO N° 4

Programa de secado para las especies:
Quercus costaricensis y *Quercus copeyensis*

Programa de temperatura No T3 Programa de humedad No C2

Tamaño:

Groeso: 1.25 cm (1/2") Ancho: 8.75 cm (3 1/2") Largo: 2.50 a 3.35 m

Clasificación por humedad: Verde Tiempo en patio: 7 días

Defectos naturales: Ninguno.

Uso de la carga: Tablilla para cielo raso y parquet para pisos.

Región donde se usará el artículo terminado: San José, Costa Rica.

Contenido de humedad final:

Promedio: 10% Mínimo: 8% Máximo: 12%

Condiciones de secado:

Paso de Temp.	Paso de humedad	C.H desde %	C.H. hasta %	Temp. B.S. (F)	Dep. B.H. (F)	Temp	HR.	CHE
1	1	verde	40	110	4	106	87	17.5
1	2	40	35	110	5	105	84	16
1	3	35	30	110	8	102	75	13
2	4	30	25	120	14	106	62	10
3	5	25	20	130	30	100	21	4
4	6	20	15	140	50	90	14	2.5
5	6	15	8	160	50	110	24	3
Igualación: ¹		8	10	160	20	140	60	8
Acondicionamiento: ²		10	10	160	7	153	84	13.5

CH: contenido de humedad

Temp. B.S. temperatura de bulbo seco

Dep. B.H. depresión de bulbo húmedo

Temp B.H. temperatura de bulbo húmedo

HR humedad relativa

CHE contenido de humedad de equilibrio

- Empiece a igualar cuando la muestra más seca llegue a CH de 8% y continúe hasta que la muestra más húmeda alcance un 10% de CH.
- Empiece a acondicionar cuando la muestra más húmeda alcance un 10% de CH y continúe hasta que la madera esté libre de esfuerzos (aproximadamente 24 horas).

En el cuadro No 5, se muestran los resultados obtenidos para el secado industrial del *Quercus costaricensis* y el *Quercus copeyensis*, aplicado a piezas para tablilla y parqué. El contenido de humedad alcanzado al final del proceso fue de 10% para el roble encino y 9% para el roble blanco, valores aceptables puesto que el programa toleraba un contenido de humedad con un ámbito entre 8 y 10%.

El proceso de secado fue rápido. El material en ambos casos tuvo un comportamiento bastante bueno, ya que los defectos presentados fueron mínimos; de esta forma se anularon los problemas de agrietamiento, rajaduras y deformaciones que son característicos de esta especie.

CUADRO N° 5

Datos generales registrados durante la ejecución del programa de secado para la especies: *Quercus costaricensis* y *Quercus copeyensis*

<i>Quercus costaricensis</i>		<i>Quercus copeyensis</i>	
Fecha de medición	Contenido de humedad	Fecha de medición	Contenido de humedad
03/06/96	65%	16/10/95	67%
10/06/96	50%	21/10/95	40%
14/06/96	30%	24/10/95	30%
19/06/96	14%	27/10/95	16%
21/06/96	10%	30/10/95	9%

Conclusiones

El uso en construcción del *Quercus costaricensis* y del *Quercus copeyensis*, no está limitado por sus propiedades mecánicas, ni por su trabajabilidad o durabilidad, sino más bien por los severos problemas de contracciones, rajaduras y grietas durante el proceso de secado.

El secado al aire, definitivamente, no es apropiado, aún cuando se trate de piezas con poco espesor; bajo este sistema se pierde el control de las fuerzas internas que dan lugar a los defectos por secado.

La escasa o ninguna viabilidad técnica y económica del secado al aire obliga al uso de un secador industrial.

Para el programa de secado diseñado, los defectos y deformaciones se eliminaron casi por

completo; sin embargo, se advierte que para obtener tales resultados fue necesario utilizar piezas de 1.25 cm (8.75 cm (2.5 m. Entonces, considerando un programa de secado adecuado en horno industrial y piezas más bien delgadas, se recomienda la madera de estas especies en la elaboración de tablilla para cielo raso, tabloncillo y parqué para piso.

Uno de los principales factores a los que se atribuyen los problemas durante el secado de estas especies, es su propia estructura anatómica, ya que al poseer radios muy anchos, el agua libre fluye muy rápidamente por gravedad o evaporación durante el proceso de secado inicial, lo que provoca una llegada más rápida al punto de saturación de fibra. De esta forma, se inician fuertes contracciones y deformaciones debido a la salida del agua ligada que se encuentra en las cavidades celulares.

Finalmente, se recomienda que el aserrío en ambas especies se realice en el sentido radial, ya que aquí ocurren contracciones más bajas durante el secado.

Bibliografía

1. American Society for Testing and Materials. *Annual Book of ASTM Standards specimens of timber*. ASTM D-143-83, ASTM D-1666, ASTM D-3345-74. USA, 1983.
2. Blanco, M.L. *Pautas Generales sobre Cuidados, Protección y Uso de Madera Aserrada para Construcción*. Laboratorio de Productos Forestales, Universidad de Costa Rica. San José, 1995.
3. Brown, N. y Bethel, J. *La Industria Maderera*. Limusa. Mexico, 1983.
4. Carpio M., I. et al. *Estudio de 10 Especies Forestales de Sarapiquí*. Universidad de Costa Rica, Ministerio de Agricultura y Ganadería, Agencia Internacional para el Desarrollo. San José, Costa Rica, 1985.
5. _____. *Estudio Para Determinar Los Ciclos de Secado y Los Procedimientos de Preservación más Adecuados Para Maderas*

- Centroamericanas*. Instituto Centroamericano de Investigación y Tecnología Industrial (ICAITI). Guatemala, 1980.
6. Flores V, E.M. *La Planta: Estructura y Función*. 2da Edición. Cartago: Editorial Tecnológica de Costa Rica, 1994.
 7. Forest Products Laboratory. *Wood Handbook*. Wisconsin: USDA, Forest Service, 1974. (Agriculture Handbook No. 72).
 8. ———. *Guía para la descripción de la Madera*. Laboratorio de Productos Forestales, Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica, 1968.
 9. González, M. y González G. *Propiedades Físicas, Mecánicas, usos y otras características de algunas maderas comercialmente importantes en Costa Rica*. Parte I. San José: Universidad de Costa Rica, Laboratorio de Productos Forestales. San José, 1973.
 10. González, G. y González D. *Clave para la identificación de algunas maderas comercialmente importantes en Costa Rica*. Universidad de Costa Rica: Laboratorio de Productos Forestales, 1980.
 11. Holdridge L.R. y Poveda L.J. *Arboles de Costa Rica*. Vol. I. Centro Científico Tropical, San José, Costa Rica, 1975.
 12. Herrero, R. y Tadashi L. *Manual de Secagen Da Madeira*. Instituto de Pesquisas Tecnológicas. Brasília, 1985.
 13. Johansen, D.A. *Plant Microtechnique*. Mc Graw Hill. New York, 1940.
 14. Krones, M. *Tablas de Secado para 40 Maderas Nativas de Costa Rica*. Universidad de Costa Rica: Laboratorio de Productos Forestales, San José, 1975.
 15. Llach C., L. *Madera Laminada Encolada*. San José: Universidad de Costa Rica, Facultad de Ingeniería, Tesis de Licenciatura, 1970.
 16. Llach C., L. *Propiedades Físicas y Mecánicas de Ciento Trece Especies*. Parte 3. Universidad de Costa Rica. San José, 1978.
 17. Markwardt, L.J. y Heck, G.E. *Standart terms for describing Wood*. En: Journal For. 36(1): 3-11 p., USA, 1978.
 18. Medina, Ezequiel. *Uso del Roble Blanco "Quercus copeyensis" en Construcción Civil*. San José: Universidad de Costa Rica, Facultad de Ingeniería, Tesis de Licenciatura, 1996.
 19. Monge, Rodolfo. *Propiedades Físicas y Mecánicas de la Madera*. Cartago: Instituto Tecnológico de Costa Rica, Centro de Investigaciones de Ingeniería de Maderas, 1980.
 20. ———. *Inventarización y demostraciones forestales: Propiedades y usos de ciento trece especies maderables de Panamá*. Parte I,II,III. Laboratorio de Productos Forestales, San José, Costa Rica, 1971.
 21. ———. *Seminario sobre el Secado de la Madera*. Cartago: Instituto Tecnológico de Costa Rica, 1974.
 22. ———. *Standart soil color chart*. Explanation on its usage. Fujihira Industry, Tokio, 1965.
 23. Valverde, Berny. *Uso Potencial del Roble Encino "Quercus costaricensis" en la Construcción Civil*. San José: Universidad de Costa Rica, Facultad de Ingeniería, Tesis de Licenciatura, 1996.
 24. Van Der Slooten, H.J. *et al. Informe sobre el programa de ensayo de maderas realizado para el proyecto UNDP 192; investigación y desarrollo de las zonas forestales selectas de Costa Rica*. Laboratorio de Productos Forestales, San José, Costa Rica, 1971.
 25. Weyl, R. *Geología de la Cordillera de Talamanca*. San José: Instituto Geográfico Nacional, 1957.