

Ra Ximhai

Revista de Sociedad, Cultura y Desarrollo
Sustentable

Ra Ximhai
Universidad Autónoma Indígena de México
ISSN: 1665-0441
México

2005

**PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE LA MADERA EN *Quercus laeta*
Liemb. DE EL SALTO, DURANGO**

Juan Abel Nájera Luna; Zacarías Vargas Antonio; Jorge Méndez González y José de
Jesús Graciano Luna.

Ra Ximhai, septiembre-diciembre, año/Vol.1, Número 3
Universidad Autónoma Indígena de México
Mochicahui, El Fuerte, Sinaloa. pp. 559-576

PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE LA MADERA EN *Quercus laeta* Liemb. DE EL SALTO, DURANGO

PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF WOOD IN *Quercus laeta* Liemb. OF EL SALTO, DURANGO

Juan Abel Nájera-Luna¹; Zacarías Vargas-Antonio²; Jorge Méndez-González¹ y José de Jesús Graciano-Luna¹.

¹Profesor-investigador. Instituto Tecnológico Forestal No.1, Mesa del Tecnológico s/n El Salto P.N., Dgo., 34950, México. Correo electrónico: jalnajera@yahoo.com.mx. ²Tesista de Ingeniería Forestal con Orientación en Industrias Forestales ITF No.1.

RESUMEN

En este trabajo se dan a conocer resultados obtenidos en los ensayos físicos y mecánicos en la madera de *Quercus laeta* Liemb. de la región de El Salto, Durango. Los ensayos físicos y mecánicos se realizaron conforme a las normas COPANT (Comisión Panamericana de Normas Técnicas) siendo estos: densidad, contracción, punto de saturación de la fibra (PSF) y relación de anisotropía (RAN). Los ensayos mecánicos evaluados fueron: compresión perpendicular y paralela a la fibra, flexión estática, tensión perpendicular y paralela a la fibra, dureza, desgarrar y cizalla. Los resultados mostraron que la densidad de la madera es de 0.68 gr/cm³, la contracción volumétrica de 18.1%. El PSF se estableció en 30.1% de contenido de humedad y la RAN fue de 1.74 indicando poca estabilidad dimensional de la madera. La máxima resistencia de la madera fue en el esfuerzo de tensión paralela a la fibra con 1214.04 kgf/cm² mientras que la menor resistencia la mostró la prueba de tensión perpendicular a la fibra con 65.55 kgf/cm². En cuatro de los ocho ensayos mecánicos evaluados, la mayor resistencia fue observada en el plano tangencial de la madera, en tres, la mayor resistencia la presentó el plano radial y en uno la mayor resistencia se observó en el plano transversal.

Palabras clave: Madera, encino, propiedades físicas, propiedades mecánicas, Durango.

SUMMARY

In this work the results obtained on the mechanical and physical trials in *Quercus laeta* Liemb. wood of El Salto, Durango are showed. The mechanical and physical trials were developed under COPANT rules (Comisión Panamericana de Normas Técnicas), being these: density, volumetric shrinkage, fiber saturation point (FSP) and anisotropic relation (ANR). The mechanical trials were: perpendicular compression and parallel to grain, static bending, perpendicular and parallel tension to grain, hardness, cleavage and shear parallel to grain. The results showed that the wood density is 0.68 gr/cm³, the volumetric shrinkage were 18.1%. The FSP was established in 30.1% of content of humidity and the ANR was of 1.74 indicating low stability dimensional of the wood. The maximum resistance of the wood was in parallel tension to grain effort with 1214.04 kgf/cm², while the smaller resistance showed in the perpendicular tension to grain essay was 65.55 kgf/cm². In four of the eight mechanical trials evaluated the greater resistance was observed in the tangential face of the wood, in three trials the radial face showed the greater resistance and only in a trial the greater resistance was observed in the cross face.

Key words: Wood, oak, physical properties, mechanical properties, Durango.

INTRODUCCIÓN

México cuenta con vastos recursos forestales, pero falta mucho por hacer respecto al conocimiento integral de sus especies, de las cuales las más aprovechadas son las del género *Pinus*, sin embargo, existen grupos taxonómicos con un gran número de especies que no son menos importantes, tal es el caso de los encinos (Zavala, 1989).

Los encinos son uno de los grupos de especies forestales más abundantes en México, taxonómicamente identificadas existen entre 150 y 200 especies distribuidas en todo el país, excepto en los estados de Yucatán y Quintana Roo, se encuentran principalmente en las regiones templadas y frías o en lugares montañosos, aunque su rango altitudinal va desde el nivel del mar hasta los 3100 msnm (Rzendowsky, 1978). Los encinos crecen en condiciones variadas de clima, altitud, exposición y suelo, asociados con especies de coníferas como: *Pinus spp.* y *Abies spp.*, también habitan en regiones tropicales de escasa precipitación en altitudes bajas hasta de 50 msnm (Mass, 1977).

La madera de encino es poco utilizada, debido a que existe escaso conocimiento de sus características tecnológicas y la falta de equipo y tecnología apropiada para su procesamiento (Fuentes, 1990), ya que en términos generales, es una madera difícil de cortar y de secar (CNIF, 1989). Los usos y aplicaciones de una madera dependen en gran medida de sus propiedades físicas, como la densidad, contracción e hinchamiento, punto de saturación de la fibra, anisotropía entre otras, de las que en cada caso particular tiene requerimientos específicos (Fuentes, 1990; Honorato y Fuentes, 2001).

Es de gran importancia, contar con un sistema de clasificación estructural de las especies de interés económico y en base a análisis de laboratorio, asignarle a cada especie sus valores de resistencia más confiables, con el objeto de brindarles un mejor uso y desempeño (Peniche, 1990).

En la mayoría de los países desarrollados, es un requisito indispensable clasificar a las maderas de acuerdo a sus propiedades físicas y mecánicas para brindarles una óptima utilización (Robles y Echenique, 1983). La clasificación estructural, se deriva de las pruebas mecánicas, a las que son sometidas una serie de probetas de diferente confección y dimensiones, cuyo comportamiento a la aplicación de fuerzas mediante la

utilización de aparatos y aditamentos específicos, a la vez que proporcionan la carga requerida, registran la magnitud de la misma (ASTM, 1992). Por otra parte, el sector industrial forestal nacional, enfrenta de manera creciente retos cada vez más complicados, donde el tema de la calidad es pieza fundamental para subsistir en la competencia. Desafortunadamente, la industria forestal en su conjunto está en desventaja con sus eventuales competidores por no contar con el suficiente conocimiento tecnológico de la especies de interés comercial y si se cuenta con ello, no se le da el uso adecuado. Este rezago se ha debido en su mayor parte a que no se han realizado los estudios básicos que permitan asignar a cada especie de interés económico su uso más adecuado (Honorato y Fuentes, 2001).

Por lo que el presente trabajo pretende reunir los elementos necesarios para conocer el comportamiento físico y los niveles de resistencia en la madera de *Quercus laeta* Liemb. de la región de El Salto P.N., Dgo., como una contribución al conocimiento tecnológico de las especies forestales de interés comercial con lo cual se podrá sugerir, probar, validar y difundir las posibilidades de diversificación de los productos forestales de la región lo que repercutirá en un beneficio directo a los poseedores y transformadores del recurso.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El material vegetal procedió de 7 árboles de *Quercus laeta* Liemb. perteneciente al grupo de los encinos blancos, los cuales se seleccionaron en varias áreas de corta del Ejido San Esteban y Anexos, localizado aproximadamente a 30 km de la población de El Salto, Dgo., dentro del sistema montañoso denominado Sierra Madre Occidental. Las alturas sobre el nivel del mar fluctúan entre 1,400 y 2,600 metros. El clima es semi-húmedo templado o semi-frío, que se vuelve templado o semi-seco en el lado oriental de la sierra. La temperatura media anual oscila entre 11.7 °C, con una mínima en el mes más frío de 6.7 °C y 16 °C en el mes más cálido. Según el sistema de clasificación de Köppen, modificado por García (1988), la precipitación media anual es de 1200 mm. Los vientos dominantes de la región provienen del NW en la temporada de febrero a mayo. Por su ubicación geográfica, la zona presenta diversas condiciones de vegetación

que va desde masas puras de encino y pino y en su mayor parte bosques mezclados de pino-encino (UCODEFO 6, 1997).

Los ensayos físicos y mecánicos se realizaron en el Laboratorio de Tecnología de la Madera del Instituto Tecnológico Forestal No.1 de El Salto, P.N., Dgo. Las pruebas mecánicas se realizaron en una máquina Universal de ensayos mecánicos, marca INSTRON® con capacidad de 60 toneladas de presión.

Selección de los árboles muestra

Para la colecta del material se siguió las recomendaciones de la Norma COPANT 458 (Comisión Panamericana de Normas Técnicas) referida a la selección y colección de muestras destinadas al estudio de las propiedades físicas y mecánicas de la madera. La selección de los árboles muestra, se realizó partiendo del hecho de que las variaciones entre los árboles son más significativas que la variación dentro del mismo árbol, por tanto se tomaron más árboles muestra y menos muestras de cada árbol (Pearson y Williams, 1952). A cada árbol seleccionado se le midieron sus características dasométricas (Cuadro 1).

Cuadro 1. Características dasométricas de los árboles seleccionados para los ensayos físicos y mecánicos.

Árbol (n)	Diámetro Normal (cm)	Altura Total (m)	Volumen (m ³ r.t.a)
1	43.00	17.00	1.98
2	42.00	14.00	1.87
3	40.00	17.00	1.67
4	42.00	16.00	1.87
5	38.00	17.00	1.49
6	40.00	12.00	1.67
7	43.00	13.00	1.98
Promedio	41.14	15.14	1.79

De cada árbol, se obtuvieron dos trozas de cuatro pies de largo de las que se destinó una para elaborar probetas y ensayarlas en estado seco (12% de contenido de humedad) y la otra en estado verde, es decir, con un contenido de humedad arriba del punto de saturación de la fibra (PSF). Cada troza se dividió en cuadrantes (N, S, E, W) para que las probetas generadas tuvieran bien definidos los planos radial y tangencial de acuerdo a las recomendaciones de Quiñones (1974) (Figura 1). Cada vigueta consistió de un prisma de 7 X 7 cm de sección transversal por 122 cm de longitud, las cuales se enumeraron indicando el número del árbol y la troza correspondiente. La elaboración final de las probetas se realizó de acuerdo a lo indicado en las normas COPANT (COPANT, 1972).

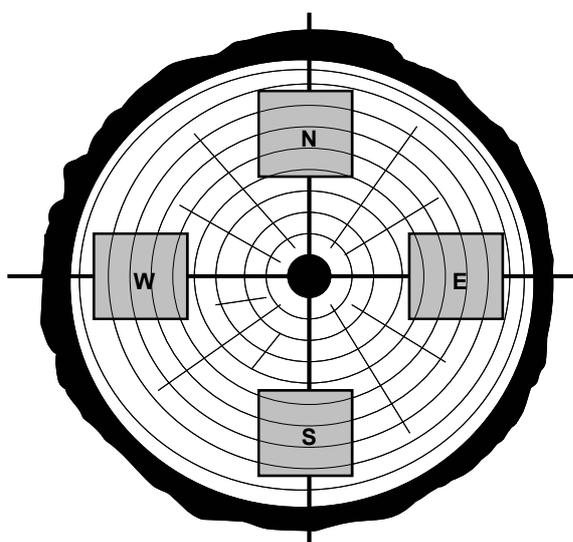


Figura 1. Obtención de las probetas para los ensayos físico- mecánicos.

Preparación de las probetas

Las trozas se aserraron en las instalaciones de la Unidad de Producción y Enseñanza Forestal (UPEF), mientras que en la Unidad de Tecnología de la Madera del ITF se elaboraron las probetas del ensayo. El material que se ensayó en seco, se apiló bajo techo y se acondicionó hasta alcanzar el 12% de contenido de humedad, estado en el cual se elaboraron las probetas definitivas. Se elaboraron ocho probetas por árbol para determinar la densidad de la madera de albura y ocho para la de duramen; cuatro probetas por árbol para determinar las contracciones de la madera y 4 probetas por troza para determinar el esfuerzo unitario máximo en ocho ensayos mecánicos de la madera en estado verde y seco. La mitad de las probetas se ensayaron en el plano radial y la otra mitad en el tangencial.

Determinación de propiedades físicas

Para la elaboración y ejecución de los ensayos físicos de la madera, se siguió la metodología sugerida por las normas: COPANT 459 (Acondicionamiento de las maderas destinadas a ensayos físicos y mecánicos); 460 (Método de determinación del contenido de humedad en maderas); 461 (Cálculo del peso específico en maderas) y 462 (Determinación de las contracciones en maderas) (COPANT, 1972).

Determinación de propiedades mecánicas

Para la realización de los ensayos mecánicos, se respetó la metodología recomendada en las normas: COPANT 459 (Acondicionamiento de las maderas destinadas a ensayos físicos y mecánicos); 463 (Método de determinación del cizallamiento paralelo al grano); 464 (Método de determinación de la compresión axial o paralela al grano); 465 (Método de determinación de la dureza); 466 (Método de determinación de la compresión perpendicular al grano); 555 (Método de determinación de la flexión estática); 741 (Método de determinación de la resistencia al clivaje o desgarre); 742 (Método de determinación de la tensión paralela al grano) y 743 (Método de ensayo de tracción perpendicular al grano) (COPANT, 1972).

Procedimiento estadístico

Los datos obtenidos de las pruebas físicas, se integraron con respecto a la media y coeficiente de variación, mientras que con los resultados de los ensayos mecánicos para identificar diferencias entre los estados de humedad (verde y seco), se realizaron pruebas de **t** así como análisis de varianza y pruebas de **Tukey** para la resistencia unitaria máxima por plano (radial y tangencial) y estado de humedad de la madera (verde y seco). Se utilizó el paquete estadístico SAS (1984) Versión 6.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Resultados de las pruebas físicas

Densidad

El valor medio encontrado en la densidad básica fue de 0.68 gr/cm^3 (Cuadro 2), que de acuerdo a la clasificación de Torelli (1982), se considera como alta y dentro del rango de valores de 0.69 a 0.76 gr/cm^3 , mencionados en la literatura para los encinos blancos (Honorato y Fuentes, 2001), excepto para la madera de albura quien observó la menor densidad, influenciada por un menor espesor de la pared celular, por tratarse de madera joven con elementos funcionales de conducción de nutrientes (Oliveira y Silva, 2003). La densidad básica de la madera de duramen, fue superior 11% respecto a la madera de albura.

Cuadro 2. Densidad básica general y por tipo de madera en *Quercus laeta* Liemb.

Variable	Madera	Probetas ensayadas (n)	Media (gr/cm^3)	C. V (%)
Densidad Básica	Albura y duramen	112	0.68	9.99
	Duramen	56	0.72	9.22
	Albura	56	0.64	4.87

Valores de 0.72 gr/cm^3 son reportados por Honorato y Fuentes (2001), para la madera de encinos blancos del estado de Guanajuato, los cuales se encuentran dentro del mismo rango de clasificación a los valores obtenidos en el presente estudio.

Contracciones

La contracción volumétrica total de la madera de *Quercus laeta*, la coloca dentro de la categoría de maderas con contracciones altas (Fuentes, s/f), es decir, sugieren una menor estabilidad dimensional (Honorato y Fuentes, 2001). La máxima contracción lineal, la experimentó el plano tangencial siendo 40% más contráctil en relación al plano radial (Cuadro 3). Las diferencias entre las contracciones lineales se explica por la gran cantidad y anchura de los rayos medulares y a la orientación de las fibrillas en la pared

celular y de las fibras (Kollman y Coté, 1968), así mismo, la menor contracción en el plano radial, obedece al papel que desempeñan los radios al restringir los movimientos dimensionales en esa dirección (Boyd, 1974).

Cuadro 3. Contracciones en la madera de *Quercus laeta* Liemb.

Variable	Probetas ensayadas (n)	Media (%)	C. V (%)
Contracción Volumétrica Total		18.2	19.4
Contracción Tangencial Total	28	10.7	16.5
Contracción Radial Total		6.4	25.8

Punto de saturación de la fibra, contenido de humedad y relación de anisotropía

El punto de saturación de la fibra, es el contenido crítico de humedad a partir del cual cambian drásticamente ciertas características, tales como la contracción, el hinchamiento, la rigidez, la resistencia mecánica, etc. Los valores del punto de saturación de la fibra (PSF), varían del 18 a 36% de contenido de humedad (Tarkow, 1979). En el presente estudio se determinó el PSF para *Quercus laeta* en 30.1% de contenido de humedad (Cuadro 4), lo cual corresponde a lo mencionado por Fuentes (s/f). Honorato y Fuentes, (2001), estimaron el PSF de 27.09 a 32% de contenido de humedad para 2 especies de encinos blancos de Guanajuato, estando los valores del presente estudio dentro de dicho rango.

Cuadro 4. PSF y RAN en la madera de *Quercus laeta* Liemb.

Variable	Probetas ensayadas (n)	Media	C. V (%)
Punto de Saturación de la Fibra (%)	28	30.1	14.6
Relación de Anisotropía (adimensional)		1.74	24.1

La razón entre la contracción tangencial y radial es llamada anisotropía y generalmente varía de 1.5 a 2.5 tornándose en un índice muy importante en los estudios de contracción de maderas ya que entre mayor sea esa relación, mayor tendencia a la presencia de rajaduras y agrietamiento de la madera en el proceso de secado (Oliveira y Silva, 2003). Los valores encontrados en la relación de anisotropía fue de 1.74 que de acuerdo con la clasificación de Fuentes (s/f), es alta, razón por la cual su madera no es

estable dimensionalmente y muy propensa a la aparición de grietas superficiales sobre todo en el plano tangencial.

Resultados de las pruebas mecánicas

Cizallamiento o Cortante

Los resultados mostraron en general, 7.58% mayor resistencia en estado seco respecto al estado verde, no indicando diferencias significativas en ambos estados de humedad. Referente a los planos de la madera y estados de humedad, la mayor resistencia en cizalla se observó en el plano tangencial seco, el cual presentó diferencias significativas respecto a los demás planos y estados de humedad. De tal manera que la resistencia del plano tangencial seco fue superior 16.93% respecto al estado verde y el plano radial verde fue superior 5.57% respecto al radial seco (Cuadro 5). Según la clasificación utilizada por Novelo (1964), la resistencia de la madera de *Q. laeta* al cizallamiento o cortante es alta en ambos estados de humedad, no así para la madera del plano radial en estado seco, a la que le corresponde una resistencia media.

Cuadro 5. Resistencia promedio en cizalla o cortante por plano y estado de humedad.

Plano y Estado	Probetas ensayadas (n)	Media* Kgf/cm ²	C. V (%)
Seco (12% de C.H)	28	116.34 a	25.78
Verde (43% de C.H)	28	107.52 a	13.45
Tangencial Seco	14	137.43 a	19.04
Tangencial Verde	14	114.16 b	7.78
Radial Verde	14	100.88 bc	16.00
Radial Seco	14	95.26 c	15.77

* Medias con la misma letra no son significativamente diferentes $P < 0.05$

Desgarre

Los resultados en desgarre, mostraron 13.91% mayor resistencia en estado verde respecto a la condición seca, no observando diferencias significativas en ambos estados de humedad, de igual forma, no se observaron diferencias significativas respecto a los planos tangencial y radial así como los estados de humedad de las probetas ensayadas (Cuadro 6). La variación observada en los ensayos en seco fue alta en relación a los ensayos en estado verde. Record (1914), señala que la menor resistencia y alta variación de la madera seca se debe a la presencia de pequeñas fisuras que se originan durante las

contracciones en el proceso de secado. La mayor resistencia se observó en el plano tangencial verde, la cual fue superior en 15%, respecto a la condición seca del mismo plano, mientras que el plano radial verde superó la resistencia respecto al estado seco en 14.39%.

Cuadro 6. Resistencia promedio en desgarre por plano y estado de humedad.

Plano y Estado	Probetas ensayadas (n)	Media* Kgf/cm	C. V (%)
Verde (42% de C.H)	28	68.06 a	16.85
Seco (12% de C.H)	28	58.59 a	54.05
Tangencial Verde	14	74.96 a	13.65
Tangencial Seco	14	63.70 a	46.19
Radial Verde	14	62.45 a	17.68
Radial Seco	14	53.46 a	63.71

* Medias con la misma letra no son significativamente diferentes $P < 0.05$

Compresión paralela a la fibra

La resistencia en compresión paralela en estado seco fue mayor 42% respecto al estado verde, observando diferencias significativas entre ambos estados de humedad (Cuadro 7). La clasificación de estos esfuerzos máximos, corresponde a una resistencia baja según la clasificación utilizada por Novelo (1964). Honorato y Fuentes (2001), determinaron valores de esfuerzo máximo de compresión axial en dos especies de encinos blancos del estado de Guanajuato entre 331.03 y 289.20 kg/cm² en condición saturada y de 590.11 a 558.38 kg/cm² en condición seca, siendo superiores a los encontrados en el presente estudio, lo cual se puede explicar las diferencias en condiciones de crecimiento de las especies, condiciones de sitio y una posible mezcla de madera de albura y duramen en las probetas que potencialmente influyen en los resultados.

Cuadro 7. Resistencia promedio en compresión paralela por estado de humedad.

Plano y Estado	Probetas ensayadas (n)	Media* Kgf/cm ²	C. V (%)
Seco (12% de C.H)	28	455.65 a	18.49
Verde (46% de C.H)	28	264.06 b	16.18

* Medias con la misma letra no son significativamente diferentes $P < 0.05$

Compresión perpendicular a la fibra

De acuerdo a las normas COPANT, la compresión perpendicular sólo se realiza en las caras radiales de las probetas (COPANT, 1972). Los resultados mostraron una mayor resistencia en estado seco con 15.43%, respecto al verde, mostrando además diferencias significativas en la resistencia de ambos estados de humedad (Cuadro 8). Los valores obtenidos ubican la madera como altamente resistente según la clasificación utilizada por Novelo (1964). Pérez y Dávalos (1995) reportaron para *Quercus affinis* y *Q. glabrescens* resistencias promedio de 352 kgf/cm² y 284 kgf/cm².

Cuadro 8. Resistencia promedio en compresión perpendicular a la fibra por estado de humedad.

Plano y Estado	Probetas ensayadas (n)	Media* Kgf/cm ²	C. V (%)
Seco (12% de C.H)	28	238.30 a	29.55
Verde (47% de C.H)	28	201.51 b	22.42

* Medias con la misma letra no son significativamente diferentes P< 0.05

Tensión paralela

Los resultados en tensión paralela, mostraron una resistencia mayor en estado seco del 52.25% respecto al estado verde, indicando además diferencias significativas en los dos estados de humedad y una alta variación que se debe a lo difícil que resulta la elaboración de las probetas en su parte más delgada, ya que la pieza cede por cizalla dada su menor resistencia (Fuentes, s/f), en relación a los planos de corte, sólo se observaron diferencias significativas respecto a los estados de humedad en ambos tipos de corte (Cuadro 9). De tal forma que la resistencia del plano tangencial seco fue superior en 48.98% respecto al estado verde y el radial seco en 46.47% que el verde. Aunque la madera, exhibe su mayor resistencia en tensión paralela a la fibra, en la práctica es raro que se aproveche plenamente esta característica.

Cuadro 9. Resistencia promedio en tensión paralela por plano y estado de humedad.

Plano y Estado	Probetas ensayadas (n)	Media* Kgf/cm ²	C. V (%)
Seco (12% de C.H)	28	1214.04 a	34.26
Verde (44% de C.H)	28	634.36 b	28.57
Tangencial Seco	14	1235.29 a	41.70
Radial Seco	14	1192.80 a	25.55
Radial Verde	14	638.47 b	26.09
Tangencial Verde	14	630.24 b	31.90

* Medias con la misma letra no son significativamente diferentes P< 0.05

Tensión perpendicular

La resistencia en estado seco fue mayor en 13.50% respecto al estado verde, no mostrando ambos estados de humedad diferencias significativas (Cuadro 10). Respecto a los diferentes planos de la madera y estados de humedad, el plano tangencial seco sólo mostró diferencias significativas con el plano radial verde, de tal forma que el plano tangencial seco fue superior de 8.45% respecto al estado verde, mientras que el plano radial seco observó 19.5% mas resistencia respecto al mismo plano en condición verde. En este esfuerzo la madera presenta su menor resistencia, ya que aquí se produce una separación de fibras, mientras que en la tensión paralela se requiere el rompimiento de ellas (Fuentes, s/f). Nájera *et al.* (2003), determinaron en *Quercus sideroxyla* de la región de El Salto, Dgo., valores de resistencia en tensión perpendicular de 76.02 Kgf/cm² con una desviación estándar de 23.00 Kgf/cm² en estado verde, mientras que Fuentes (1990) obtuvo valores de resistencias en *Quercus affinis* de 82 kgf/cm² en estado seco y 65 kgf/cm² en estado verde; en *Q. glabrescens* valores de 67 y 66 kgf/cm² en estado seco y verde, respectivamente; en *Quercus crassifolia* resistencias de 67 y 65 kgf/cm²; en *Q. mexicana* reportó valores de 64 y 63 kgf/cm² y en *Q. laurina* resistencias de 64 y 71 kgf/cm² en estado seco y verde, los cuales son sensiblemente iguales a los obtenidos en el presente ensayo, los cuales se clasifican según Novelo (1964), como de resistencia alta.

Cuadro 10. Resistencia promedio en tensión perpendicular a la fibra por plano y estado de humedad.

Plano y Estado	Probetas ensayadas (n)	Media* Kgf/cm ²	C. V (%)
Seco (12% de C.H)	28	65.55 a	33.56
Verde (48% de C.H)	28	56.70 a	25.44
Tangencial Seco	14	71.18 a	28.73
Tangencial Verde	14	65.16 ab	21.68
Radial Seco	14	59.93 ab	38.02
Radial Verde	14	48.24 b	18.36

* Medias con la misma letra no son significativamente diferentes P< 0.05

Flexión Estática

El ensayo de flexión estática mostró una resistencia mayor en el estado seco con respecto al estado verde de 22.54%, entre los estados de humedad y planos de la

madera, sólo el radial en estado seco mostró diferencias significativas, respecto a los demás planos y estados de humedad (Cuadro 11). La clasificación del módulo de ruptura según Torelli (1982), corresponde a una resistencia de media a alta. Pérez y Dávalos (2005), determinaron en *Quercus affinis* una resistencia promedio de 745 kgf/cm² y para *Quercus glabrescens* un promedio de 472 kgf/cm²; Dávalos y Pérez (1995) obtuvieron resistencias de 759 kgf/cm² y 703 kgf/cm² en *Quercus laurina* y *Q. crassifolia*, respectivamente; Fuentes (1990) en *Quercus affinis*, *Q. glabrescens*, *Q. crassifolia*, *Q. mexicana* y *Q. laurina* obtuvo valores de 667, 732, 692, 687, 723 kgf/cm² en estado verde y 2133, 1384, 1410, 1155, 1845 kgf/cm² en estado seco, los cuales son mas altos a los obtenidos en el presente ensayo.

Cuadro 11. Resistencia promedio en flexión estática por plano y estado de humedad.

Plano y Estado	Probetas ensayadas (n)	Media* Kgf/cm ²	C. V (%)
Seco (12% de C.H)	28	818.71 a	25.75
Verde (37% de C.H)	28	634.10 b	14.47
Radial Seco	14	880.17 a	19.55
Tangencial Seco	14	757.26 b	30.84
Tangencial Verde	14	654.05 b	13.05
Radial Verde	14	614.15 b	15.75

* Medias con la misma letra no son significativamente diferentes P< 0.05

Dureza

En términos generales, los valores del ensayo de dureza mostraron una resistencia mayor en estado seco de 33.80% respecto al estado verde, existiendo diferencias significativas en ambos estados de humedad. En lo referente al plano y estado de humedad, ésta última presentó diferencias significativas entre los diferentes planos de ambos estados de humedad (Cuadro 12). De tal forma que la mayor resistencia en dureza fue observada en el plano transversal seco con un 36% mayor respecto al mismo plano en condición verde, por su parte, el plano radial seco fue superior 29.7%, respecto al radial verde y el plano tangencial seco mostró una resistencia mayor en 35.82% respecto al estado verde. Los valores de dureza obtenidos en el presente estudio corresponden a una clasificación de alta a excepcionalmente alta de acuerdo con Torelli (1982). Ramos (1999) en *Quercus elliptica* Née, determinó una resistencia de 908.52 kgf en el plano radial, 906.26 kgf en el plano tangencial y 985.32 kgf en el transversal; Goché (1993) en *Quercus sideroxylla*, determinó en la cara transversal resistencias de

506.40 kgf en estado verde y 926.97 kgf en estado seco, en la cara tangencial 425.36 kgf y 725.59 kgf en estado verde y seco y en la cara radial 393.34 kgf en estado verde y 772.47 kgf en estado seco; Fuentes (1990), obtuvo valores de resistencia en *Quercus affinis* de 1180 kgf en estado seco y 583 kgf en estado verde, *Q. glabrescens* valores de 1042 y 696 kgf en estado seco y verde respectivamente, *Q. crassifolia* resistencias de 1169 y 665 kgf, *Q. mexicana* reportó valores de 1001 y 523 kgf y *Q. laurina* resistencias de 1094 y 646 kgf en estado seco y verde.

Cuadro 12. Resistencia promedio en dureza por plano y estado de humedad.

Plano y Estado	Probetas ensayadas (n)	Media* Kgf	C. V
Seco (12% de C.H)	84	1005.61 a	28.65
Verde (34% de C.H)	84	665.71 b	23.95
Transversal Seco	28	1048.74 a	21.36
Radial Seco	28	1038.55 a	31.00
Tangencial Seco	28	929.54 a	32.69
Radial Verde	28	730.10 b	25.56
Transversal Verde	28	670.43 b	20.47
Tangencial Verde	28	596.61 b	20.66

* Medias con la misma letra no son significativamente diferentes $P < 0.05$

CONCLUSIONES

- La densidad básica de la madera de *Quercus laeta* fue de 0.68 gr/cm³ clasificándose como alta.
- La contracción volumétrica fue de 18.1% siendo el plano tangencial el que más contracción experimentó con 10.7%.
- El Punto de Saturación de la Fibra (PSF) se estableció en 30.1% de contenido de humedad. La Relación de Anisotropía (RAN) fue de 1.74, clasificándose como alta indicando una baja estabilidad dimensional de la madera.
- El ensayo de cizalla mostró una resistencia unitaria máxima de 116.34 kgf/cm² en estado seco, siendo mayor 7.58% respecto al estado verde, el plano tangencial seco observó la más alta resistencia con 137.43 kgf/cm² siendo 16.93% más resistente respecto al estado verde.
- El ensayo de desgarre, mostró la mayor resistencia en estado verde con 68.06 kgf/cm siendo 13.91% más resistente respecto al estado seco. El plano

tangencial verde mostró la resistencia más alta con 74.96 kgf/cm superando en 15% al plano tangencial en estado seco.

- El ensayo de compresión paralela a las fibras, mostró su mayor resistencia en el estado seco con 455.65 kgf/cm² siendo superior un 42% respecto al estado verde.
- En cuanto a la compresión perpendicular al grano, la mayor resistencia fue observada en el estado seco con 238.30 kgf/cm² siendo 15.43% más resistente respecto al estado verde.
- El ensayo de tensión paralela a las fibras, mostró la mayor resistencia en estado seco con 1214.04 kgf/cm² siendo superior 52.25% respecto al verde, mientras que la mayor resistencia la exhibió el plano tangencial seco con 1235.29 kgf/cm² y 48.98% más resistencia respecto al plano tangencial verde.
- En el ensayo de tensión perpendicular a las fibras, el estado seco observó la mayor resistencia con 65.55 kgf/cm² superando al estado verde en 13.50%. En lo que respecta a los planos de la madera, el tangencial seco tuvo los valores más altos en resistencia con 71.18 kgf/cm² superando al estado verde en 8.45% respecto al plano tangencial verde.
- El ensayo de flexión estática, mostró su mayor resistencia en estado seco con 818.71 kgf/cm² superando en 22.54% al estado verde, mientras que el plano radial seco obtuvo la mayor resistencia con 880.17 kgf/cm² superando al plano tangencial seco en 13.96%.
- La dureza de la madera, de *Quercus laeta* se mostró en mayor proporción en el estado seco con 1005.61 kgf siendo superior respecto al estado verde en 33.80%.
- El plano transversal seco observó una dureza mayor con 1048.74 kgf superando al plano transversal verde en 36.07%.
- La mayor resistencia de la madera, se obtuvo al ensayar las probetas en estado seco excepto en el ensayo de desgarre, donde la mayor resistencia fue mostrada al estado verde.
- En cuatro de los ocho ensayos mecánicos evaluados, la mayor resistencia fue observada en el plano tangencial de la madera, en tres ensayos la mayor resistencia la presentó el plano radial y en un ensayo la mayor resistencia se observó en el plano transversal.

- La mayor variación en los ensayos mecánicos fueron observados para el plano radial seco en el ensayo de desgarre con 63%, seguido por el plano tangencial seco en el ensayo de tensión paralela al grano con 42%; mientras que la menor variación la mostraron el plano radial verde en el ensayo de desgarre con 6% seguido por el plano tangencial verde en el ensayo de cizalla con 8%.

LITERATURA CITADA

ASTM

- 1992 “**Standard methods of testing small clear specimens of timber**”. Book of ASTM Standard D 143. Vol. 04.09. Wood American Society for Testing and Materials. Philadelphia, PA, USA. pp.37-78.

Boyd, J.D.

- 1974 “**Anisotropic shrinkage of wood: Identification of the dominant determinants**”. Mokuzaï Gakkaishi 20:473-482.

CNIF

- 1989 “**Memoria Económica 1987-1988**”. Cámara Nacional de las Industrias Derivadas de la Silvicultura. México. 60 p.

COPANT

- 1972 “**Comisión Panamericana de Normas Técnicas (458, 459, 461, 462, 555, 464, 466, 742, y 743)**”. Buenos Aires, Argentina.

Dávalos, S. R. y Pérez, O. C.

- 2005 “**Estudio comparativo de las propiedades físicas y mecánicas de la madera de *Quercus laurina* Humb. & Bonpl. y *Quercus crassifolia* Humb. & Bonp**”. III Seminario Nacional sobre la utilización de los encinos. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma de Nuevo León. Linares, México. pp.496-503.

Honorato, S. J.A y Fuentes, L. M.E.

- 2001 “**Propiedades Físico-Mecánicas de la madera de cinco especies de encino del estado de Guanajuato**”. Revista Ciencia Forestal en México. Vol. 26(90):5-28.

Fronius, K.

- 1988 “**La comercialización de la madera en Europa y Estados Unidos de Norteamérica**”. Holz-Zentralblatt. Alemania Federal. 25-35 pp.

Fuentes, L. M E.

- 1990 “**Propiedades físico-mecánicas de cinco especies de encino *Quercus spp.* del Estado de Puebla**”. Tesis Profesional. Universidad Autónoma de Chapingo. División de Ciencias Forestales. México. 54 p.

Fuentes, S. M.

s/f “**Apuntes para el curso de Tecnología de la Madera**”. Departamento de Bosque, Universidad Autónoma de Chapingo. Serie académica No. 33. México. 100 p.

García, E.

1988 “**Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen**”. Cuarta Edición, México. 217 p.

Goché, T. J. R.

1993 “**Estudio tecnológico de la madera de *Quercus sideroxyla* del Estado de Durango**”. Tesis Profesional. División de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma Chapingo. México. 64 p

Kollman, F. And W.A. Coté.

1968 “**Principles of Wood Science and Technology. Vol 1: Solid Wood**”. New York, USA. 592 p.

Mass, P. J.

1997 “**Los encinos como fuente potencial de madera para celulosa y papel en México**”. Revista Ciencia Forestal en México. 9 (2):39-58.

Nájera, L. J. A., Méndez, G. J. y Rodríguez, R. I.

2003 “**Cinco propiedades mecánicas de *Quercus sideroxyla* Humb. & Bonpl. de El Salto, Durango**”. XIV Congreso Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico Agropecuario. Durango, Dgo., México.

Novelo, G.

1964 “**Posibles aplicaciones de la madera de cuatro especies tropicales con base a sus propiedades físicas y mecánicas**”. Tesis profesional. Escuela Nacional de Agricultura. Chapingo, México. 42 p.

Oliveira, J.T.S y Silva, J.C.

2003 “**Variacião radial da retratibilidade e densidades básica da madeira de *Eucalyptus saligna* Sm.**”. Revista Árvore, Vicoso-MG. 27(3):381-385.

Pearson, R. & Williams, J.

1952 “**Review of Methods for Sampling of Timber**”. Forest Products Journal 8(10):263-268.

Peniche, C.

1990 “**La madera y la arquitectura**”. División de Ciencias y Artes para el Diseño. Departamento de Procesos y Técnicas de Realización Universidad Autónoma Metropolitana. 137 p.

Pérez, O. C. y Dávalos, S. R.

- 1995 **“Relación estructura-propiedad de la madera de dos especies de *Quercus* de la Sierra Norte de Puebla, México”**. III Seminario Nacional sobre la utilización de los encinos. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma de Nuevo León. Linares, México. pp. 427-441 pp.

Robles, F. F. y Echenique, M. R.

- 1983 **“Estructuras de madera”**. Editorial LIMUSA. México. 367 p.

Quiñones, J.O.

- 1974 **“Características físicas y mecánicas de la madera de cinco especies mexicanas”**. Boletín Técnico No. 42. INIF. México. 19 p.

Record, S.J

- 1914 **“The mechanical properties of wood”**. Jhon Wiley & Sons, Inc. Ed. New York, USA. 165 p.

Rzedowski, J.

- 1978 **“Vegetación de México”**. Primera edición. Editorial LIMUSA. México. 283-313 pp.

Statistical Analysis System.

- 1985 **“User’s Guide: Statics”**. Ver. 6. 1028 p.

Tarkow, H.

- 1982 **“Wood and moisture”**. in wood, its structure and properties, Ed. F.F. Wangaard, Vol. I. Clark C. Heritage Memorial Series on Wood. EMMSE Project, Pennsylvania State University, University Park. 101-146 pp.

Torelli, N.

- 1982 **“Estudio promocional de 43 especies forestales tropicales mexicanas”**. Programa de Cooperación Científica y Técnica México-Yugoslavia. SARH. SFF. UEK. México. 73 p.

UCOFEFO 6.

- 1997 **“Memoria general de predios del programa de manejo forestal 1997-2007”**. El Salto, Durango, México 201 p.

Zavala, C.

- 1989 **“Identificación de Encinos de México”**. División de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma de Chapingo. Chapingo, Méx. 150 p.