

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES



PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE LA MADERA DE LAS ESPECIES

Quercus mexicana Y Quercus muehlenbergii

POR

ING. JESÚS JAIME MARTÍNEZ RODRÍGUEZ

Como requisito parcial para obtener el grado de

MAESTRO EN CIENCIAS FORESTALES

Linares, Nuevo León, México

Diciembre, 2012

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES

PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE LAS ESPECIES

Quercus mexicana Y Quercus muehlenbergii

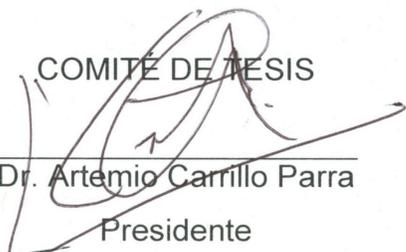
TESIS DE MAESTRÍA

Para obtener el grado de
MAESTRO EN CIENCIAS FORESTALES

Presentada por:

Ing. Jesús Jaime Martínez Rodríguez

COMITÉ DE TESIS



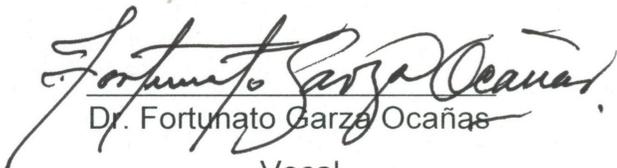
Dr. Artemio Carrillo Parra

Presidente



Dr. Enrique Jurado Ybarra

Secretario



Dr. Fortunato Garza Ocañas

Vocal

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	4
2. ANTECEDENTES	6
3. OBJETIVOS	9
3.1. Objetivo general	9
3.2. Objetivos particulares.....	9
4. HIPÓTESIS	10
5. METODOLOGÍA	11
5.1. Área de Estudio.....	11
5.2. Ubicación del sitio	12
5.3. Especies seleccionadas.....	14
6. RESULTADOS	26
6.1. Propiedades físicas.....	26
6.2. Propiedades mecánicas.....	34
7. CONCLUSIONES	39
8. RECOMENDACIONES	40
9. BIBLIOGRAFÍA	43
10. ANEXOS	48

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Coordenadas del Predio Particular Rancho el Novillo, Iturbide, Nuevo León.....	12
Tabla 2. Características dasométricas y coordenadas UTM de los árboles seleccionados.....	17
Tabla 3. Distribución de tablonces pre-aserrados de las dos especies de Quercus según su dimensión.....	19
Tabla 4. Número de probetas, dimensiones y normas empleadas para determinar las propiedades físicas.	20
Tabla 5. Número de probetas, dimensiones y normas empleadas para determinar las propiedades mecánicas.....	23
Tabla 6. Análisis de varianza de los valores de hinchamiento y contracción entre especies Q. mexicana y Q. muehlenbergii.....	33
Tabla 7. Módulo de elasticidad de Q. mexicana y Q. muehlenbergii.....	34
Tabla 8. Modulo de ruptura de Q. mexicana y Q. muehlenbergii.....	35
Tabla 9. Compresión de Q. mexicana y Q. muehlenbergii.....	36
Tabla 10. Dureza Janka de Q. mexicana y Q. muehlenbergii.....	37

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación del Predio Particular el Novillo, ubicado en el Municipio de Iturbide, Nuevo León.....	11
Figura 2. Regiones y cuencas hidrológicas, ríos y almacenamiento de agua.....	13
Figura 3. Árbol adulto de <i>Q. mexicana</i>	15
Figura 2. Follaje de <i>Q. muehlenbergii</i>	16
Figura 3. Aplicación de sellador en troza de <i>Q. mexicana</i>	18
Figura 6. Esquema que representa las secciones aserradas de cada troza de acuerdo a lo establecido por Ramos-Alvarez y Diaz-Gomez., (1981).....	18
Figura 7. Tablas de <i>Q. Mexicana</i> dimensionadas.....	19
Figura 4. Esquema que representa el lugar donde se obtuvieron las probetas en cada tabla para las propiedades físicas y mecánicas.....	20
La Figura 9 muestra los valores de densidad verde para las especies estudiadas.....	27
Figura 5.. Densidad básica para <i>Q. mexicana</i> y <i>Q. munhlenbergii</i>	28
Figura 6. Densidad anhidra de <i>Q. mexicana</i> y <i>Q. munhlenbergii</i>	29
Figura 7. Contenido de humedad de la madera en porcentaje a diferentes intervalos de tiempo.....	29
Figura 8. Valores de contracción de <i>Q. mexicana</i> en las diferentes secciones.....	31
Figura 9. Valores de contracción de <i>Q. munhlenbergii</i> en las diferentes secciones.....	31
Figura 10. Valores de hinchamiento de <i>Q. mexicana</i> en las diferentes secciones.....	32
Figura 11. Valores de hinchamiento de <i>Q. munhlenbergii</i> en las diferentes secciones.....	32
Figura 12. Valores de contenido de humedad de <i>Q. mexicana</i> y <i>Q. munhlenbergii</i>	33
Figura 13. Módulo de elasticidad de <i>Q. mexicana</i> y <i>Q. munhlenbergii</i>	35
Figura 14. Módulo de ruptura <i>Q. mexicana</i> y <i>Q. munhlenbergii</i>	36
Figura 15. Compresión de <i>Q. mexicana</i> y <i>Q. munhlenbergii</i>	37
Figura 16. Dureza de <i>Q. mexicana</i> y <i>Q. munhlenbergii</i>	38

ÍNDICE DE FÓRMULAS

Fórmula 1. Densidad básica _____	21
Fórmula 2. Contenido de humedad _____	21
Fórmula 3. Hinchamiento de la madera _____	22
Fórmula 1. Contracción de la madera _____	23
Fórmula 2. Contenido de humedad en equilibrio _____	23
Fórmula 3. Módulo de elasticidad (MOE) _____	24
Fórmula 4. Módulo de ruptura (MOR) _____	24
Fórmula 5. Compresión _____	25

1. INTRODUCCIÓN

A lo largo de la historia, y particularmente en la actualidad, las selvas y bosques ofrecen muy diversos servicios, en los cuales podemos distinguir la captación y conservación de agua, captura de carbono, generación de energía y su contribución más importante son los productos maderables, de los cuales podemos describir la madera de escuadría aprovechada para la fabricación de tablonés, vigas, tablas y material de empaque, así como papel, chapa y triplay

La producción maderable en nuestro país promedió entre 1986 a 2007 los 7.7 millones de metros cúbicos en rollo al año y las especies básicas aprovechadas son el pino con 6.26 millones de metros cúbicos en rollo promedio y el encino con 0.65 millones de metros cúbicos en rollo promedio al año en el periodo de 1990 a 2007 (SEMARNAT ,2009).

En México a las especies del género *Quercus* se les conoce comúnmente como encinos, existen aproximadamente 140 especies, 46% son del subgénero *Lepidobalanus*, 51 % de *Erythrobalanus* y 3% de *Protobalanus* (Zabala 1998). México como país mega diverso cuenta con una amplia distribución de especies del genero *Quercus* de las cuales algunas son endémicas y otras son de amplia distribución y rebasan las fronteras. La gran incógnita o problemática que se enfrenta respecto a esta especie es la falta de información sobre la distribución e identificación de encinos en México, muchos autores concuerdan que numerosas especies son totalmente desconocidas (Zabala 1998).

La madera de encino es poco utilizada comparada con la madera de pino debido a que existe escaso conocimiento de sus características tecnológicas provocado por la falta de equipo y tecnología apropiada para su procesamiento (Fuentes, 1990) Otro de los motivos que provoca el poco aprovechamiento de la madera de encino son las dificultades que se presentan durante la corta y el secado de la madera considerándola como una madera difícil de trabajar (CNIF, 1989).

Como ejemplo se tiene a la mayoría de los países desarrollados que solicitan durante el aprovechamiento la clasificación de las maderas de acuerdo a sus propiedades físicas y mecánicas para brindarles una adecuada utilización (Robles y Echenique, 1983).

La implementación de pruebas es necesaria para evaluar cada una de las propiedades físicas y mecánicas de la madera, proporciona así una idea muy clara del comportamiento de la madera bajo las diferentes condiciones de uso y servicio. Por lo que conocer los valores de estas propiedades y su variación proporciona datos de gran valor que permiten encontrar los usos más adecuados a las especies que aún se desconocen sus características tecnológicas.

2. ANTECEDENTES

En México el género *Quercus* se encuentra principalmente en comunidades vegetales de las zonas montañosas con clima templado y semihúmedo, no obstante no se limita a estas zonas, también se encuentran en regiones de clima caliente y en las zonas semiáridas en forma de matorral. Se encuentra en toda la República con excepción del estado de Yucatán y Quintana Roo desde el nivel del mar hasta 3100 msnm y la gran mayoría (95%) de sus individuos se presentan en altitudes entre 1200 y 2800 m. y con rangos de precipitación que oscilan entre los 600 y 1200mm (Rzedowski, J 2006).

Los encinos de Norteamérica han sido apreciados y aprovechados como recursos de alto valor por siglos. El encino es conocido en Europa, EE.UU. y Canadá como árboles que aportan importantes productos maderables. Por su abundancia y predominancia en los bosques templados, han sido estudiados extensivamente y se las reconocen como componentes significativos de la biodiversidad que aportan importantes elementos en los ecosistemas (Bacon 2003).

Guzmán *et al.*, (1992) presentan un trabajo sobre las propiedades anatómicas y las propiedades físico-mecánicas de la madera del encino *Quercus castanea* obteniendo para las propiedades físicas los siguientes valores: contenido de humedad inicial 58.49%, densidad 0.79 g/cm³, hinchamiento máximo para el eje radial 4.3% y para el eje tangencial 14.6%. Respecto a las propiedades mecánicas obtuvieron los siguientes resultados: flexión tangencial 138.37 N/mm², compresión longitudinal 73.54 N/mm² y dureza Brinell longitudinal 71.39 N/mm², radial 50 N/mm² y tangencial 55.95 N/mm². Asimismo se comparan los resultados con los de algunas maderas de interés comercial. Se siguieren algunos usos para la madera de este encino en función a los resultados obtenidos.

Los resultados de ensayos físicos y mecánicos en la madera de *Quercus laeta* Liemb de la región de el Salto, Durango son presentados por (Nájera *et al* 2005). Los ensayos físicos y mecánicos se realizaron conforme a las normas COANT (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, desgarré y cizalla. Los resultados mostraron que la densidad de la madera es de 0.68 g/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 las fibras con 11905.72 N/cm² mientras que la menor resistencia fue la prueba de tensión perpendicular a las fibras con 642.82 N/cm². En cuatro de los ocho ensayos mecánicos evaluados, la mayor resistencia fue observada en el plano tangencial de la madera, en tres de la mayor resistencia la presento el plano radial y en uno la mayor resistencia se observó en el plano transversal (Nájera *et al* 2005).

Pérez, *et al* (2005) presentaron la relación del parénquima radial (radios uniseriados y multiseriados) con la contracción volumétrica y las propiedades mecánicas de flexión, compresión paralela y perpendicular y el cortante paralelo de la madera de ocho especies de encinos de Durango, México. Para determinar la relación de los radios con las propiedades tecnológicas, se hizo un análisis de regresión multivariado en donde las variables dependientes fueron los valores anatómicos y las independientes los valores físicos y mecánicos. Los resultados muestran que la altura y anchura de los radios multiseriados son los caracteres anatómicos de mayor influencia en las propiedades tecnológicas. Se resalta que en la selección de la madera de encino para su aprovechamiento, se deben considerar las características anatómicas, físicas y mecánicas, que influyen en su manejo para aprovechar de manera óptima este recurso y lograr la conservación de los encinares y preservar el equilibrio ecológico de los sitios donde crecen.

Pérez *et al.* (2008) presentaron las características anatómicas, físicas y mecánicas de la madera de 24 especies de *Quercus* de la sección *Lobatae* (encinos rojos) y de la sección *Quercus* (encinos blancos) recolectadas en varios estados de la República Mexicana. Muestrearon de uno a cinco ejemplares por especie en bosques de pino-encino para los estudios físicos y mecánicos prepararon probetas de diferentes dimensiones de acuerdo con los métodos de prueba de la ASTM. Todo el material se obtuvo en los planos: transversal, tangencial y radial. A los elementos mensurables se les hizo un análisis estadístico univariado y se clasificaron conforme a la media. Los ensayos se hicieron en probetas saturadas (condición verde). Con base en bibliografía se incluyen otras características tecnológicas de la madera. De acuerdo con los resultados obtenidos se sugieren establecer criterios de usos.

3. OBJETIVOS

3.1. Objetivo general

- Determinar las propiedades físicas y mecánicas de las especies *Quercus mexicana* y *Q. muehlenbergii*, que crecen de manera natural en el municipio de Iturbide, Nuevo León, México.

3.2. Objetivos particulares

- Determinar las propiedades físicas: densidad, contenido de humedad, expansión e hinchamiento de las especies.
- Determinar las propiedades mecánicas: dureza Janka, compresión, módulo de elasticidad y ruptura.
- Con base a los resultados obtenidos, determinar posibles usos.

4. HIPÓTESIS

Ho: Existen diferencias en las propiedades físicas y mecánicas entre las especies de *Quercus* analizadas.

Ha: No existen diferencias significativas en las propiedades físicas y mecánicas entre las especies de *Quercus* analizadas.

5. METODOLOGÍA

5.1. Área de Estudio

La madera para realizar las pruebas físicas y mecánicas de las especies *Q. mexicana* y *Q. muehlenbergii*, fue obtenida en el Predio Particular el Novillo, ubicado en el Municipio de Iturbide, Nuevo León. La Figura 1 muestra la ubicación este predio.

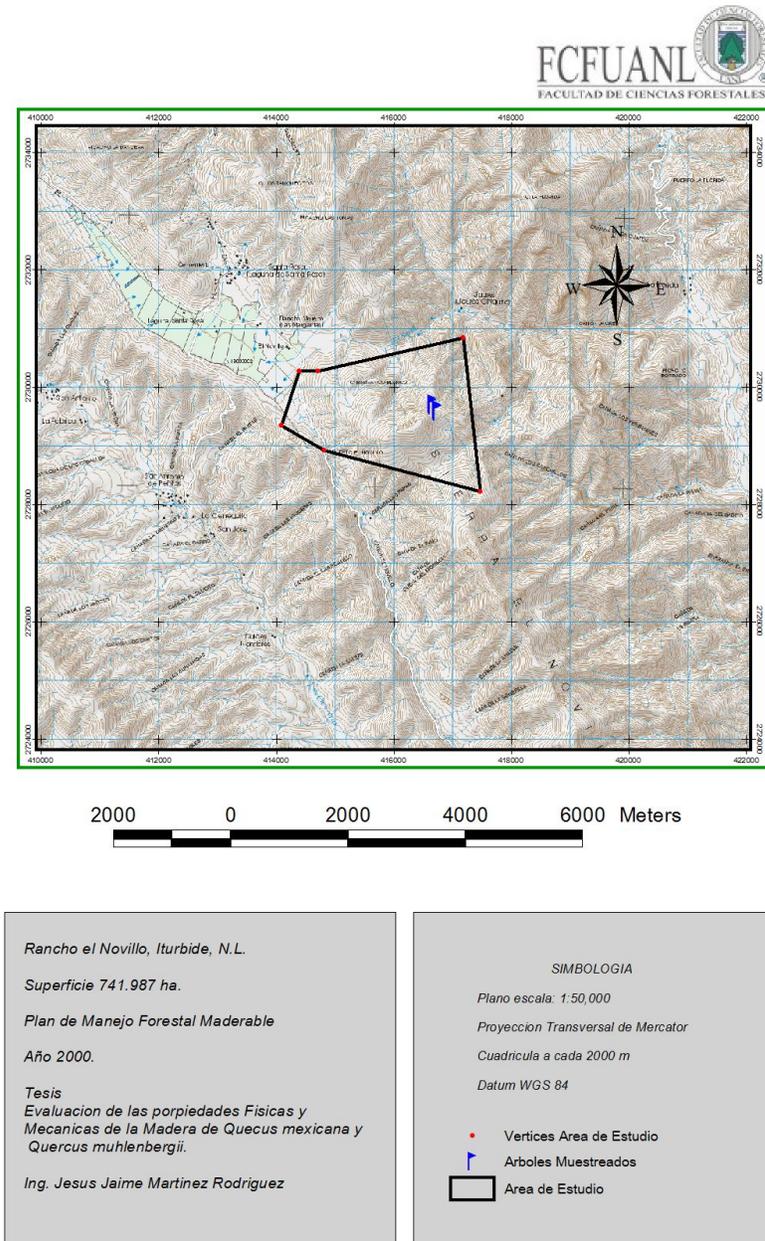


Figura 17. Ubicación del Predio Particular el Novillo, ubicado en el Municipio de Iturbide, Nuevo León.

5.2. Ubicación del sitio

Los árboles para la obtención de la madera se colectaron en el Predio Particular "Rancho el Novillo", Municipio de Iturbide, Nuevo León. La superficie total del mismo es de 741.987 ha de las cuales 286 ha corresponden a arbolado con altura y diámetro susceptible de aprovechamiento de especies de *Quercus spp.* (Plan de Manejo Forestal Maderable, 2000). Las coordenadas del rancho se encuentran en la Tabla 1.

Tabla 1. Coordenadas del Predio Particular "Rancho el Novillo", Iturbide, Nuevo León.

V	Latitud Norte			Longitud Oeste		
	G	M	S	G	M	S
1	24	41	04	99	50	35
2	24	41	23	99	49	07
3	24	39	58	99	48	56
4	24	39	25	99	50	31
5	24	40	20	99	50	57
6	24	40	34	99	50	46

Hidrología

El P.P. Rancho el Novillo se localiza en la región hidrológica RH-25, denominada como San Fernando-Soto la Marina, conocida también como Golfo Norte y corresponde a todas las corrientes que desembocan en el Golfo de México, de las cuales pertenecen las cuencas Río Bravo y Pánuco. Aproximadamente el 20% de esta cuencas corresponde al estado de Nuevo León, El Rancho el Novillo pertenece a la cuenca hidrográfica D con un área de 8,839 Km², cuyo principal afluente es el río San Fernando (INEGI 2012).

Fisiografía

El "Rancho el Novillo" se ubica en la provincia Sierra Madre Oriental la cual corre desde sus límites con el eje Neovolcánico, en sentido paralelo a la costa del Golfo de México (Plan de Manejo Forestal Maderable, 2000).

Topografía

El predio en general presenta una topografía accidentada con rangos de altura que varía de los 1,500 a 2,125 msnm, con pendientes de los 15° a 50° con poca superficie planas, sierra compleja asociada con lomeríos con pendientes moderadas hasta accidentadas (Plan de Manejo Forestal Maderable, 2000).

Clima

De acuerdo con la clasificación de Köppen, modificado por E. García 1988, el tipo de clima corresponde a un BS1 hw que es un clima seco semicalido templado con lluvias en el verano, con porcentaje de precipitación invernal entre 5 y 10.1. La temperatura media anual es 18.6°C, temperatura mínima promedio 10.7°C con temperatura máxima promedio 26.5°C. La precipitación media anual corresponde a 700mm, precipitación mínima mensual 1mm, precipitación máxima mensual 233mm. Los periodos de lluvias están conformados por dos picos, uno en el mes de Mayo y otro en el mes de Agosto u Octubre y el periodo más seco se presenta a finales de Diciembre y hasta Marzo (Plan de Manejo Forestal Maderable, 2000).

5.3. Especies seleccionadas

Las especies para realizar la caracterización física y mecánica se seleccionaron con base a la disponibilidad en el predio y a las características del arbolado, que generalmente cuando son árboles adultos presentan diámetros superiores a los 0.3 m y alturas mayores a 10 m.

***Quercus mexicana* H et B**

Es un árbol de 3 a 15 m de altura, en ocasiones puede alcanzar los 20 m, ramillas de 2mm de diámetro, poco pubescentes; estípulas lineares, membranosas de 3.5mm de largo; hojas con el pecíolo de 5mm de largo, pubescente, limbo algo rígido, elíptico u oblongo, de 3.5 a 10cm de largo por 1.5 a 2.5 cm de ancho, ápice agudo, borde entero y algo revoluto, base cordada o redondeada, haz glabro excepto a lo largo del nervio central, envés glabro o tomentoso, tomento a manera de puntaciones amarillentas, epidermis lisa; amentos masculinos de 2.5 a 5cm de largo; flores femeninas de 1 a 3 en pedúnculos de 1 a 1.5cm de largo; fruto solitario ó por pares en un pedúnculo de 5mm de largo, cúpula hemisférica de 10 a 15 mm de diámetro por 8 mm de alto, bellota ovoide de 15mm de largo por 10mm de diámetro incluida hasta la mitad de su largo (García, 1992).



Figura 19 Árbol adulto de *Q. mexicana*

***Quercus muehlenbergii* Engelm.**

Árbol caducifolio que alcanza los 30 m de altura, con una copa redondeada y delgada, con escamas o descamada, corteza, hojas lanceoladas a obovadas, a veces repandas, comúnmente agudas y más o menos crenado-dentadas. Las bellotas son 1.5 a 2 cm de largo, y maduran en aproximadamente 6 meses después de la polinización (Zabala, 1989) Ver Figura 4.



PlantSystematics.org

Figura 20. Follaje de *Quercus muehlenbergii*.

5.4. Colecta del material de estudio

En base al plan de aprovechamiento forestal del Rancho el Novillo, se seleccionaron tres árboles de cada especie presentes en el área de corta para la anualidad 2010. Los árboles seleccionados estaban libres de plagas, enfermedades y sin daños físicos aparentes. De cada árbol seleccionado se registraron las siguientes

características: ubicación geográfica, diámetro a la altura del pecho (DAP), altura total del individuo (H), pendiente, exposición y altitud. Los valores de cada árbol aprovechado por especie se encuentran en la Tabla 2.

Tabla 2. Características dasométricas y coordenadas UTM de los árboles seleccionados

Especies	Arbol	Diámetro altura de pecho (cm)	Altura (m)	Exposición	Pendiente (°)	Coordenadas	
<i>Q. mexicana</i>	A	41.1	17.0 m	sur	35°	R140416754	2729594
	B	32.4	19.0 m	sur	35°	R140416753	2729581
	C	35.8	21.3 m	sur	35°	R140416753	2729590
Media		36.43	19.1m				
<i>Q. muehlenbergii</i>	A	29.6	24.8 m	sur	40°	R140416739	2729605
	B	40.5	21.6 m	sur	40°	R140416773	2729693
	C	29	19.7 m	sur	35°	R140416756	2729722
Media		33.03	22.03m				

Los árboles se derribaron a partir de los 30 cm y obtuvo una troza con una longitud de 1m; en la sección transversal de cada troza se aplicó pintura a base de acrílico y se colocó una malla de acero, para evitar rajaduras por la rápida pérdida de humedad (Figura 5 y 6).



Figura 21. Aplicación de sellador en troza de *Q. mexicana*

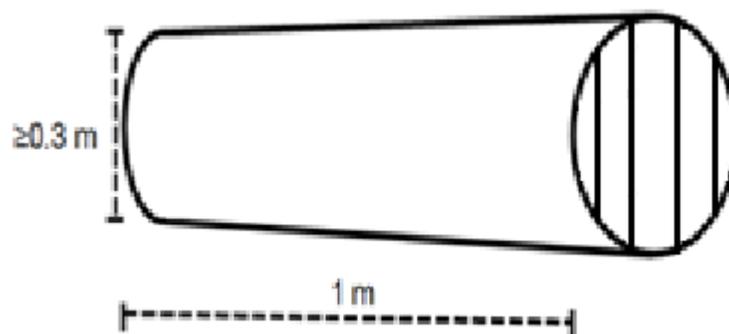


Figura 22. Esquema que representa las secciones aserradas de cada troza de acuerdo a lo establecido por Ramos-Álvarez y Díaz-Gómez., (1981)

Las trozas se transportaron al aserradero, y se colocaron en condiciones controladas para facilitar la pérdida de humedad, después de 1 mes de acondicionamiento se procedió a un pre-aserrado donde se obtuvieron tabloncillos con las dimensiones que se señalan en la Tabla 3. Los tabloncillos pre aserrados se

transportaron a las instalaciones de la Facultad de Ciencias Forestales para proceder a determinar el contenido de humedad con un xilohigrómetro .

Tabla 3. Distribución de tablonces pre-aserrados de las dos especies de *Quercus* según su dimensión.

<i>Q. mexicana</i>				<i>Q. muehlenbergii</i>			
Árbol A	Largo (cm)	Ancho (cm)	Espesor (cm)	Árbol A	Largo (cm)	Ancho (cm)	Espesor (cm)
1	99	20	6	1	98	17.5	6
2	98.5	20	6	2	99	18	5.5
3	97.5	20	6.5	3	100	18	5
Árbol B				Árbol B			
1	102.5	19.5	5	1	93	14.8	4.3
2	103.5	20	5.5	2	92.5	15	5
3	103.5	20	7.5	3	93	15	5
Árbol C				Árbol C			
1	103.5	21	7.5	1	93	13.5	4.8
2	103.5	21.5	4.5	2	93	14	5.5
3	103	21	6.5	3	92	23	6
				4	93	24	6



Figura 23. Tablas de *Q. mexicana* dimensionadas.

5.5. Propiedades físicas

Al obtener un contenido de humedad estable al 12% se procedió a elaborar las probetas para realizar las pruebas físicas (Tabla 4) de acuerdo a las normas American Society for Testing and Materials International ASTM D 1037-99, ASTM D 143-94 y la norma DIN 52 182 del Instituto Alemán de Normalización (Deutsches Institut für Normung). La Figura 8, muestra la distribución de las probetas obtenidas de cada tablón de madera.

Tabla 4. Número de probetas, dimensiones y normas empleadas para determinar las propiedades físicas.

Propiedad	No. De Probetas	Dimensiones (cm)			Norma
		R	L	T	
Densidad	245	2x2x2			ASTM D 1037-99
Contenido de humedad	245	2x2x2			ASTM D 1037-99
Contracción	279	2x2x1			DIN 52 182
Expansión	279	2x2x1			DIN 52 182

En cada tablón se obtuvieron probetas para todas las pruebas físicas y mecánicas

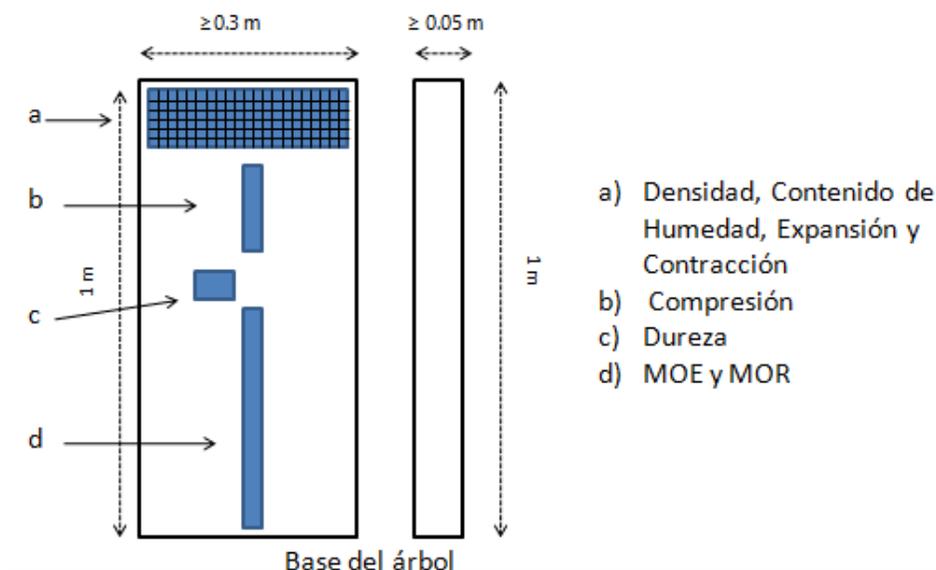


Figura 24. Esquema que representa el lugar donde se obtuvieron las probetas en cada tabla para las propiedades físicas y mecánicas.

Densidad Básica

La densidad se define como la masa por unidad de volumen, es un buen indicador en lo que respecta a la resistencia de la madera y la cantidad de sustancia de la pared celular. El valor de la densidad depende de muchos factores endógenos y exógenos, incluyendo la tasa de crecimiento. Hay una fuerte correlación entre la densidad y las propiedades mecánicas (Kollmann y Cote, 1968; Laboratorio de Productos Forestales de 1999). La densidad básica se determinó con la Fórmula 1 que involucra valores de masa anhidra de la madera (probeta colocada en estufa de secado a 103 ± 3 °C hasta masa constante) y el volumen de la madera en condición de saturación. También se determinó la densidad a un contenido de humedad de 12%, para lo cual se colocarán las probetas en una cámara de climatización a 20 ± 1 °C, y $65 \pm 3\%$ de humedad relativa (HR) hasta alcanzar una masa constante.

Fórmula 6. Densidad básica

$$DB = P_0 / V_v$$

Donde:

DB = Densidad básica (gcm^3)

P_0 = Masa anhidra (g)

V_v = El volumen de la probeta en condición de saturación (cm^3)

Contenido de humedad

El contenido de humedad (CH), es la cantidad de agua que existe en una pieza de madera, expresada como un porcentaje del peso de ésta en condición totalmente seca (anhidra). Éste valor se determinó en probetas obtenidas inmediatamente después derribado el árbol y se calculó siguiendo la Fórmula 2.

Fórmula 7. Contenido de humedad

$$CH = \frac{P_h - P_o}{P_o} \cdot 100$$

Donde:

CH = Contenido de humedad (%)

P_h = El peso de la madera húmeda (g)

P_o = El peso anhidro de la madera (g)

Contracción y expansión

Todos los materiales higroscópicos se expanden y se contraen a un grado mayor o menor dependiendo de las condiciones climáticas, pero las proporciones son diferentes en cada tipo de material (Kollmann y Cote, 1968; Mantanis et al. 1994). Cuando la madera es expuesta al incremento en humedad del aire circundante, presenta un aumento en sus dimensiones, por lo que se expande, en caso contrario, cuando el aire está seco, la madera se contrae. La absorción y la liberación de los diferentes porcentajes de humedad en la madera producen cambios en las secciones tangencial, radial y longitudinal. La magnitud en el cambio, también puede ser influenciado por las características anatómicas, contenido de celulosa, densidad de la madera, el espesor de la pared celular y la proporción de madera temprana y tardía (Sekhar y Rajput 1967; Cueva 1972; Eligon *et al.*, 1992).

El hinchamiento se calculó de acuerdo a la Fórmula 3. Esta fórmula está relacionada al cambio de dimensión en cada dirección en por ciento. La contracción se calculó utilizando la Fórmula 4, para cada una de las tres direcciones. Todos los cálculos se realizaron después de presentarse la masa constante.

Fórmula 8. Hinchamiento de la madera

$$\alpha = \frac{l_w - l_o}{l_o} \cdot 100$$

Donde:

α = Hinchamiento máximo (%)

l_w = Dimensión de la muestra en el punto de saturación (cm)

l_o = Dimensión de la muestra en condiciones anhidra (cm)

La contracción se determinará siguiendo la Fórmula 4.

Fórmula 9. Contracción de la madera

$$\beta = \frac{l_w - l_o}{l_w} \cdot 100$$

Donde:

β = Contracción máxima (%)

l_w = Dimensión de la muestra en condición húmeda (cm)

l_o = Dimensión de la muestra en condición anhidra (cm)

El contenido de humedad se determino por la Fórmula 5.

Fórmula 10. Contenido de humedad en equilibrio

$$EMC = \frac{m_c - m_o}{m_o} \cdot 100$$

Donde:

EMC = Contenido de humedad en equilibrio (%)

m_c = Masa de la muestra en el contenido de humedad específica (g)

m_o = Masa de la muestra en horno de condiciones secas (g)

5.6. Propiedades Mecánicas

Las propiedades mecánicas de desarrollaron con base a las normas descritas en la Tabla 5.

Tabla 5. Número de probetas, dimensiones y normas empleadas para determinar las propiedades mecánicas

Propiedad	No. de Probetas	Dimensiones (cm)			Norma
		R	L	T	
Módulo de elasticidad	81	2.5x2.5x41			ASTMD 143-94
Módulo de ruptura	81	2.5x2.5x41			ASTMD 143-94
Compresión	105	2.5x2.5x10			ASTMD 143-94
Dureza Janka	79	5x5x5			ASTMD 143-94

Módulo de elasticidad (MOE)

La elasticidad se define como la propiedad que permite que un material cargado pueda recuperar su forma original después que se retira la carga. Las propiedades de elasticidad, así como la densidad, son fundamentales para determinar la calidad de la madera (Ilic, 2003). Se determina al medir el grado de deformación que muestra una pieza de madera cuando se le aplica una carga, en la parte inicial de la prueba se presenta la deformación elástica, si la carga se sigue aplicando, el material muestra una deformidad plástica, si continúa incrementándose la carga, la madera puede llegar a la ruptura.

El módulo de elasticidad será determinada mediante la Fórmula 6.

Fórmula 11. Módulo de elasticidad (MOE)

$$MOE = \frac{l^3}{4 \cdot b \cdot h^3} \cdot \frac{\Delta F}{\Delta f} \text{ (N mm}^{-2}\text{)}$$

Donde:

MOE = Módulo de elasticidad (N mm⁻²)

ΔF = Carga (N) 1lb f = 4.448 N

l = Longitud de la pieza (mm)

Δf = Deformación (mm)

b = Ancho de la pieza (mm)

h = Espesor de la muestra (mm)

Módulo de ruptura (MOR)

Módulo de rotura se define como la capacidad máxima de carga que puede soportar un material antes de la ruptura, (Kollmann y Cote 1968). Esta será determinado mediante la Fórmula 7.

Fórmula 12. Módulo de ruptura (MOR)

$$MOR = \frac{3 * F * l}{2 * b * h^2} \quad (\text{N mm}^{-2})$$

Donde:

MOR = Módulo de ruptura (N mm^{-2})

F = Fuerza (N)

l = Longitud (mm)

b = Ancho de la pieza (mm)

h = Espesor de la muestra (mm)

Compresión

Cuando la muestra se tensa ó fatiga (σ) bajo la acción de las fuerzas F , los esfuerzos resultantes se denominan tensiones de tracción, si el sentido de las fuerzas se invierte se origina una compresión de la barra apareciendo los denominados tensiones de compresión.

Tradicionalmente a las tensiones de tracción se les da signo positivo y a las de compresión signo negativo. En el supuesto que el esfuerzo tiene una distribución uniforme sobre la sección transversal se divide entre el área de la sección por medio de la siguiente formula obteniendo las tensiones de compresión.

Fórmula 13. Compresión

$$\sigma = F/A \quad (\text{N/mm}^{-2})$$

Donde:

σ = Compresión (N/mm^{-2})

F = Fuerza (N)

A = Área (mm^2)

Dureza Janka

La dureza se define como la resistencia que ofrece un cuerpo sólido a la penetración por otro cuerpo sólido. La Dureza Janka se propuso desde 1906 y ésta prueba usa una bola de acero con un diámetro de 11.284 mm, la probeta es penetrada a una profundidad equivalente a la mitad de de la bola de acero, produciendo un área de proyección de 1 cm². La carga aplicada necesaria para ésta deformación, es igual al valor de la dureza Janka (Hirata *et al.* 2001).

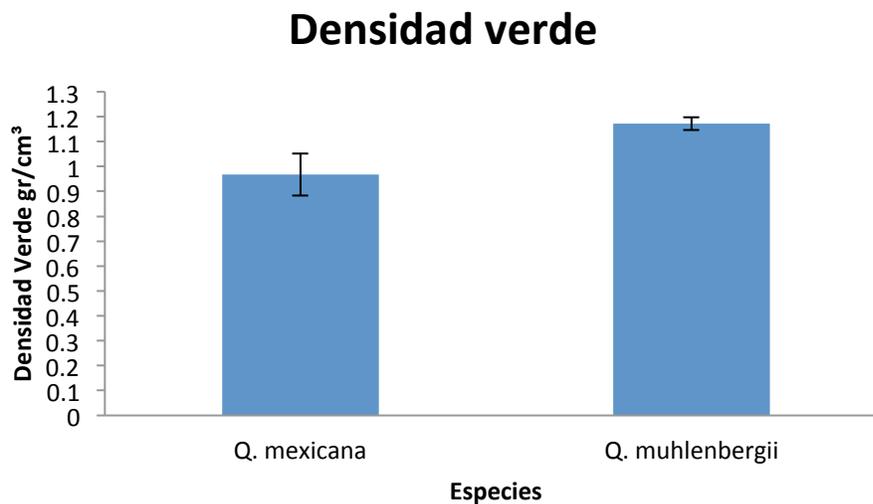
6.RESULTADOS

6.1. Propiedades físicas

Densidad

La densidad es una propiedad físico-mecánica muy importante, pues influye directamente en la trabajabilidad, secado y propiedades de la madera. En el siguiente análisis se obtuvieron los siguientes resultados para las densidades en verde, básica y anhidra de las especies *Q. mexicana* y *Q. muehlenbergii*.

Figura 9



El valor medio encontrado en la densidad verde para *Q. mexicana* fue de 0.96 gcm^{-3} y para *Q. muehlenbergii* es de 1.17 gcm^{-3} (Figura 9), de acuerdo a Sotomayor, *et al* (2003) son valores de densidad con la clasificación “Muy alta” en ambos casos.

La Figura 9 muestra los valores de densidad verde para las especies estudiadas.

Respecto a la densidad básica se obtuvieron los siguientes valores, 0.87 gcm^{-3} para *Q. mexicana* y 1.13 gcm^{-3} para *Q. muehlenbergii*. Con estos valores respecto a la densidad básica son valores considerados muy altos en la clasificación descrita por Sotomayor *et al.*,(2003).

También podemos observar en la Figura 10 que las desviaciones estándar para ambas especies son muy pequeñas. Así mismo si comparamos la densidad Verde con la densidad Básica se observa una diferencia en densidades, con mayor densidad la densidad verde en ambas especies.

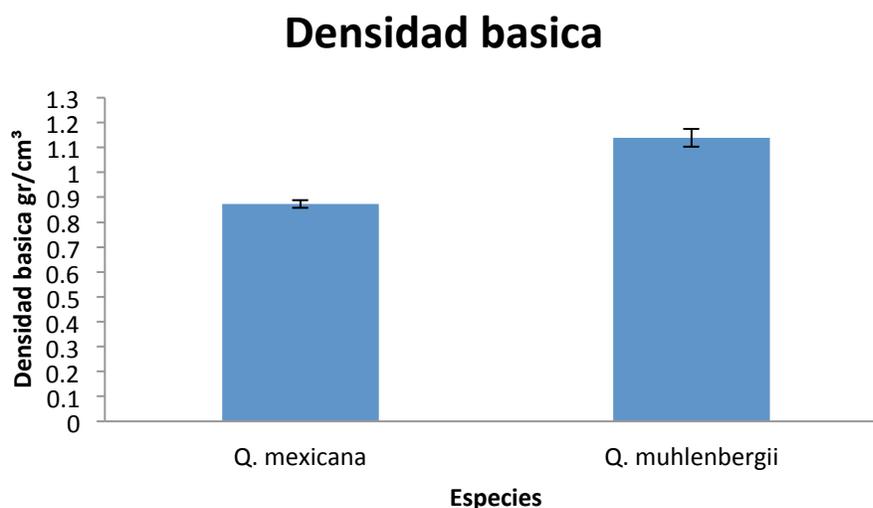


Figura 25.. Densidad básica para *Q. mexicana* y *Q. muehlenbergii*

La densidad anhidra presentó los siguientes resultados: 0.76 gcm^{-3} para *Q. mexicana* y 0.96 gcm^{-3} para *Q. muehlenbergii*. Respecto a la clasificación de Sotomayor *et al.*,(2003), los valores de *Q. mexicana* son clasificados como alta y *Q. muehlenbergii* continua en muy Alta. Se puede observar que la densidad de *Q. mexicana* se redujo en la clasificación, no obtente continúa siendo una especie con grandes cualidades físicas. La Figura 11 muestra la densidad anhidra de ambas especies.

Densidad anhidra

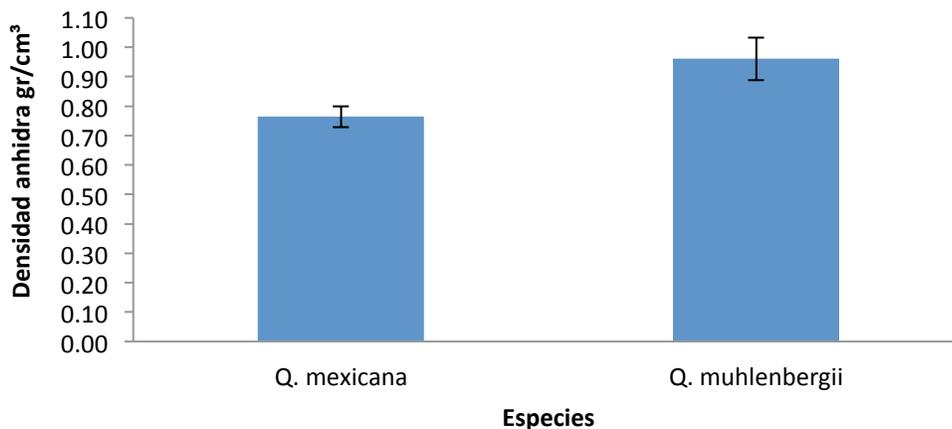


Figura 26. Densidad anhidra de *Q. mexicana* y *Q. muehlenbergii*

Contenido de Humedad

El contenido de humedad (CH), es la cantidad de agua que existe en una pieza de madera, expresada como un porcentaje del peso de ésta en condición totalmente seca (anhidra) y determina una propiedad física de la madera que afecta y determina el tratamiento para su secado.

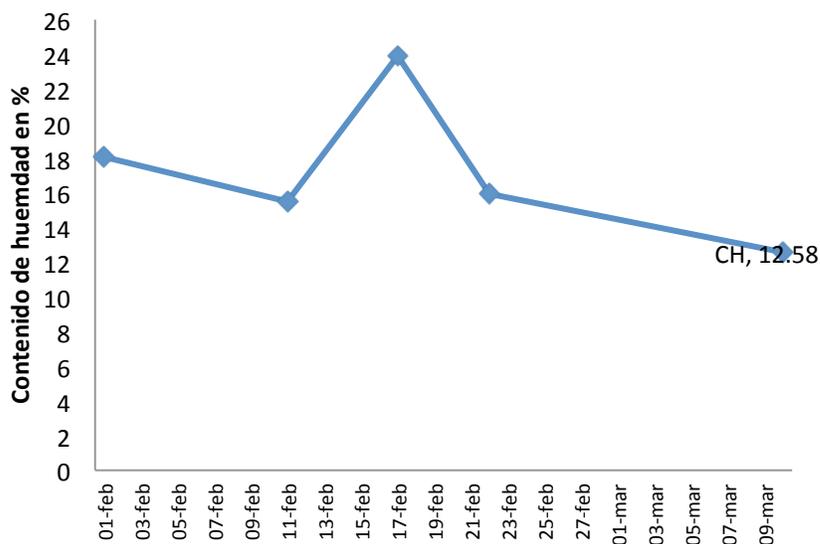


Figura 27. Contenido de humedad de la madera en porcentaje a diferentes intervalos de tiempo.

La madera colectada para análisis se colocó a secado en la intemperie en forma de trozas para evitar rajaduras en la madera, cuando ésta presentó un contenido de humedad de un 20%, se aserraron en tablas teniendo una elevación en el contenido de humedad el día 15-feb-2011 por unas precipitaciones.

El contenido de humedad en piezas de madera que fueron sometidas al secado natural de las especies *Q. mexicana* y *Q. muehlenbergii* presentaron valores de 14.2 % y 11.45% respectivamente.

Hinchamiento y contracción

Todos los materiales higroscópicos se expanden y se contraen a un grado mayor o menor dependiendo de las condiciones climáticas, pero las proporciones son diferentes en cada uno (Kollmann y Cote, 1968; Mantanis *et al.* 1994). Cuando la madera es expuesta al incremento en humedad del aire circundante, presenta un aumento en sus dimensiones, por lo que se expande, en caso contrario, cuando el aire está seco, la madera se contrae. La absorción y la liberación de los diferentes porcentajes de humedad en la madera producen cambios en las secciones tangencial, radial y longitudinal. La magnitud en el cambio, también puede ser influenciado por las características anatómicas, contenido de celulosa, densidad de la madera, el espesor de la pared celular y la proporción de madera temprana y tardía (Sekhar y Rajput 1967; Cueva 1972; Eligon *et al.* 1992).

Los valores de contracción en sus diferentes planos nos dio los siguientes resultados para *Q. mexicana*: 8.7% radial, 11.99% tangencial y 5.8% longitudinal, y para *Q. muehlenbergii*: 7.2% radial, 12.4% tangencial y 5.2% longitudinal, colocándolas como maderas de contracción alta en la categoría de acurdo con Fuentes, (s/f) así mismo podemos encontrar leves diferencias entre especies en los planos radial con una diferencia de 1.5% radial, 0.5% tangencial y %0.6 longitudinal (Figura 13).

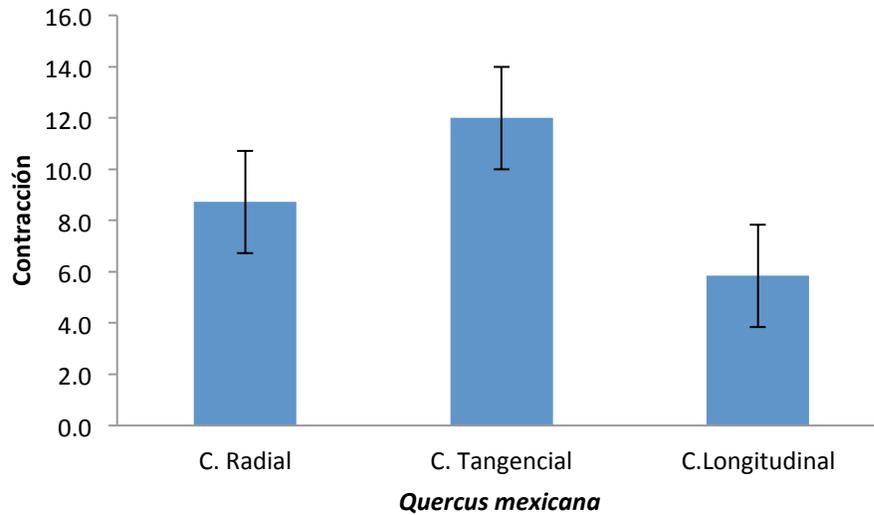


Figura 28. Valores de contracción de *Q. mexicana* en las diferentes secciones.

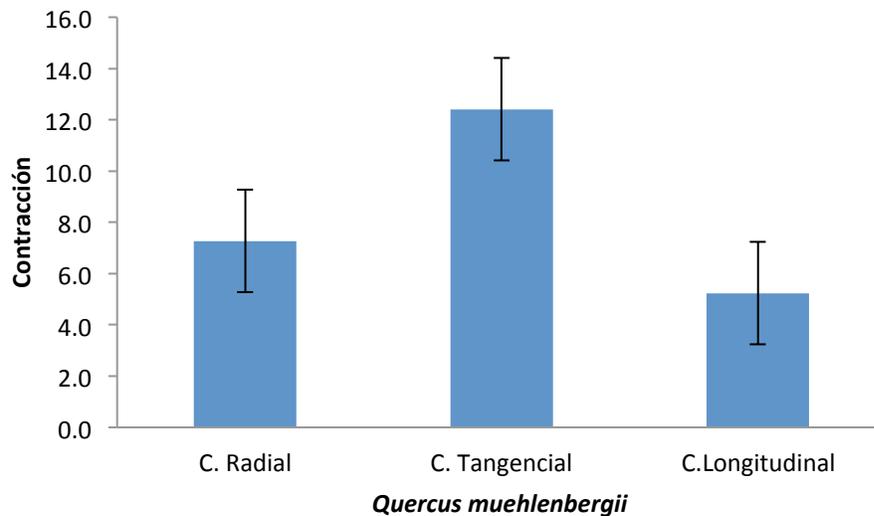


Figura 29. Valores de contracción de *Q. muehlenbergii* en las diferentes secciones.

Los valores obtenidos de hinchamiento en los diferentes planos se muestra en la Figura 15, *Q. mexicana*: 8.8% radial, 12.3% tangencial, 5.8% longitudinal y para *Q. muehlenbergii*: 7.3% radial, 12.8% tangencial y 5.2% longitudinal, si comparamos estos valores entre especie podemos observar que existe una diferencia de 1.5% radial, 0.5% tangencial y 0.6% longitudinal, exactamente igual que en el análisis de contracción.

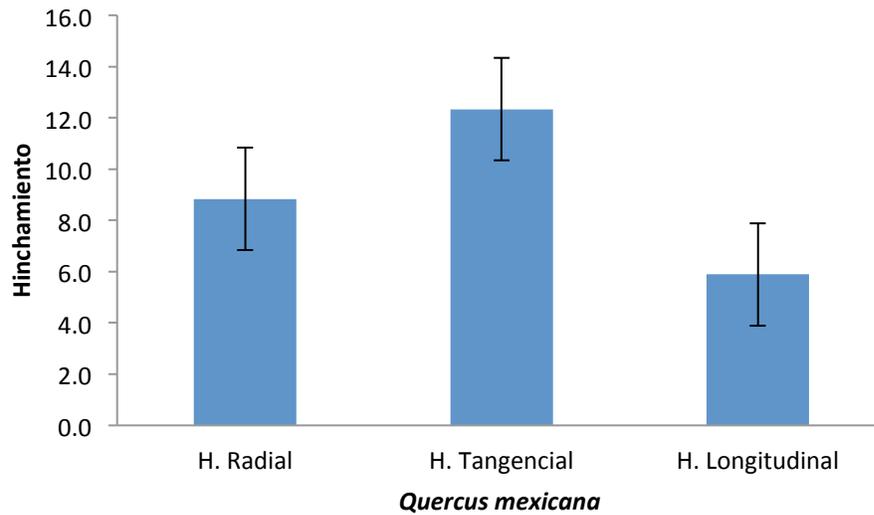


Figura 30. Valores de hinchamiento de *Q. mexicana* en las diferentes secciones

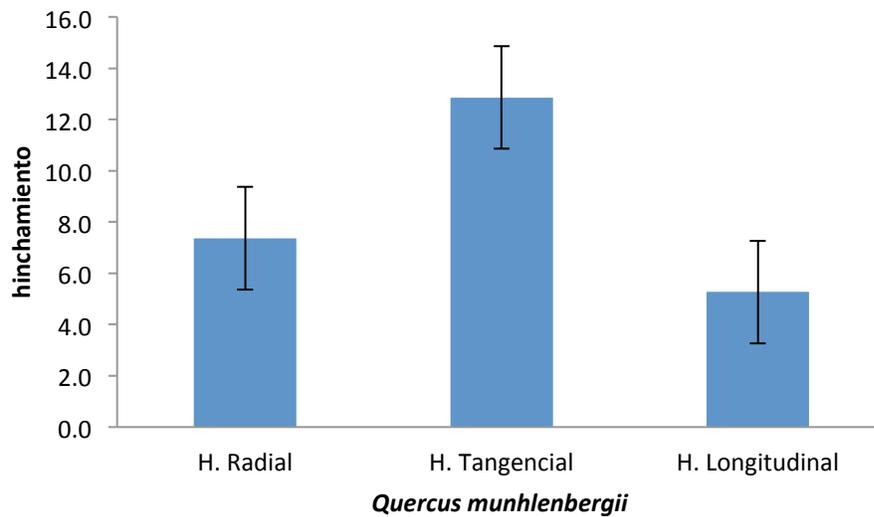


Figura 31. Valores de hinchamiento de *Q. muehlenbergii* en las diferentes secciones.

Los resultados del análisis de varianzas ($p < 0.05$) de confiabilidad demuestra que existen diferencias significativas entre las especies *Quercus* analizadas encontrando el valor de F calculado mayor que F tabulado (Tabla 8).

Tabla 5. Análisis de varianza de los valores de hinchamiento y contracción entre especies *Q. mexicana* y *Q. muehlenbergii*

	Variable	N	F	probabilidad	Valor critico para F
Hinchamiento	Radial	103	135	0.0001	4.57
	Tangencial	102	135	0.0001	2.06
	Longitudinal	135	103	0.7194	1.07
Contracción	Radial	103	135	0.0001	4.67
	Tangencial	102	135	0.0004	1.92
	Longitudinal	135	103	0.8025	1.05

Contenido de humedad en equilibrio

El contenido de humedad en equilibrio para *Q. mexicana* fue de 34.64% y para *Q. muehlenbergii* fue de 29.83 % a una humedad relativa de 65% y temperatura de 20°C (Figura 17). Si comparamos los valores entre especie *Quercus mexicana* es una especie con mayor contenido de humedad en equilibrio; si comparamos estos resultados con los resultados publicados en el Wood Handbook del servicio forestal de Madison, Wisconsin en 1999 los encinos rojos son especies con mayor C.H. que los encinos blancos como en nuestro caso.

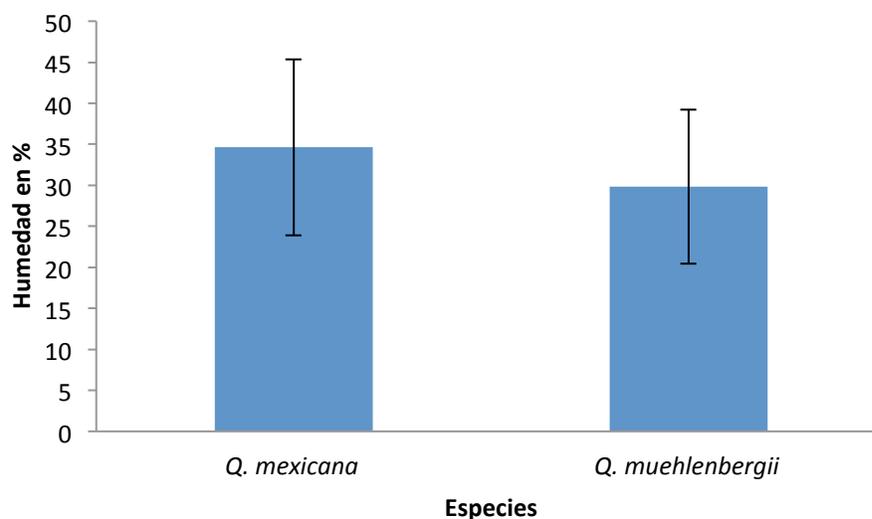


Figura 32. Valores de contenido de humedad de *Q. mexicana* y *Q. muehlenbergii*.

6.2. Propiedades mecánicas

Módulo de elasticidad y módulo de ruptura

La elasticidad se define como la propiedad que permite que un material cargado pueda recuperar su forma original después que se retira la carga. Las propiedades de elasticidad, así como la densidad, son fundamentales para determinar la calidad de la madera (Ilic, 2003). El módulo de rotura se define como la capacidad máxima de carga que puede soportar un material antes de la ruptura (Kollmann & Cote 1968).

A continuación se puede observar los valores obtenidos para el módulo de elasticidad en las especies estudiadas

Tabla 6. Módulo de elasticidad de *Quercus mexicana* y *Quercus muehlenbergii*.

Árbol	Valor medio(N mm ⁻²)		Desviación estándar	
	<i>Q. mexicana</i>	<i>Q. muehlenbergii</i>	<i>Q. mexicana</i>	<i>Q. muehlenbergii</i>
A	9538.18	12737.08	1832.41	2092.42
B	10388.63	8305.47	1692.74	1270.71
C	14823.17	9253.19	2313.66	2580.71

Se puede observar que los valores obtenidos para módulo de elasticidad son muy similares en ambas especies teniendo un poco mas de elasticidad para la madera de *Quercus mexicana*, sin embargo con respecto a las características mecánicas de la madera en su clasificación de Sotomayor *et al.*, (2003) son maderas con características media con un promedio de 11,583 Nmm⁻² para *Quercus mexicana* y 10098 Nmm⁻² para *Quercus muehlenbergii* (Figura 18).

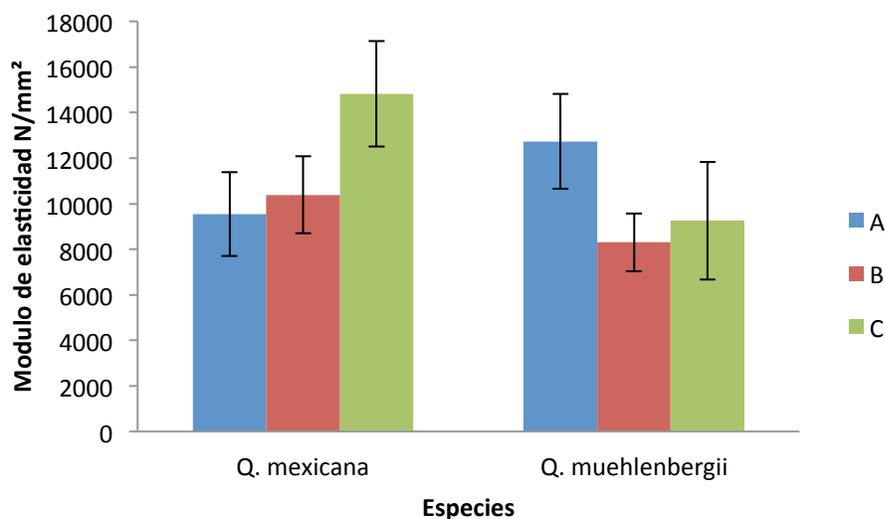


Figura 33. Módulo de elasticidad de *Q. mexicana* y *Q. muehlenbergii*.

Respecto al módulo de ruptura se obtuvieron los siguientes resultados que a continuación observaremos en el Tabla 8. Si comparamos los resultados entre especies (Figura)podemos decir que *Q. mexicana* obtiene mayor resistencia a la ruptura que *Q. muehlenbergii* con valores promedio de 120 Nmm^{-2} y 108 Nmm^{-2} respectivamente. Además estos valores respecto a la clasificación de Sotomayor *et al* (2003) podemos decir que son dos especies con características mecánicas altas respecto a la resistencia a la ruptura.

Tabla 7. Módulo de ruptura *Quercus mexicana* y *Quercus muehlenbergii*.

Árbol	Valor medio ($N mm^{-2}$)		Desviación estándar	
	<i>Q. mexicana</i>	<i>Q. muehlenbergii</i>	<i>Q. mexicana</i>	<i>Q. muehlenbergii</i>
A	98.52	134.72	21.59	20.04
B	110.57	98.92	17.89	14.94
C	150.08	89.98	22.99	22.64

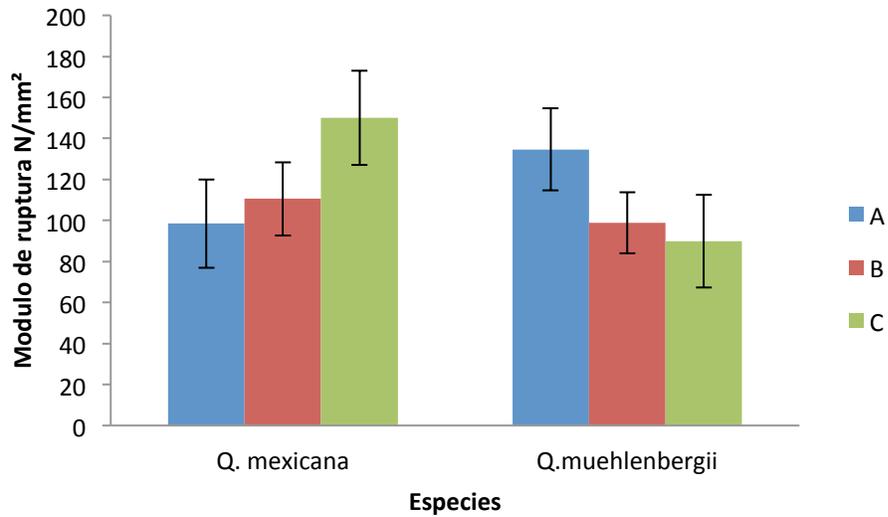


Figura 34. Módulo de ruptura *Q. mexicana* y *Q. muehlenbergii*.

Compresión

En las pruebas de compresión se ensayaron 40 muestras para la especie *Quercus mexicana* y 30 muestras para *Quercus muehlenbergii* obteniendo los siguientes resultados (Tabla 9): 27.28 Nmm⁻² para la especie *Quercus mexicana* y 40.87 Nmm⁻² para la especie *Quercus muehlenbergii*. Teniendo una mayor resistencia a la compresión perpendicular *Quercus muehlenbergii* (Figura 20).

Tabla 8. Compresión de *Q. mexicana* y *Q. muehlenbergii*.

	<i>Q. mexicana</i>	<i>Q. muehlenbergii</i>
N	40	30
Media	27.289	40.870
D. Estándar	2.875	8.43

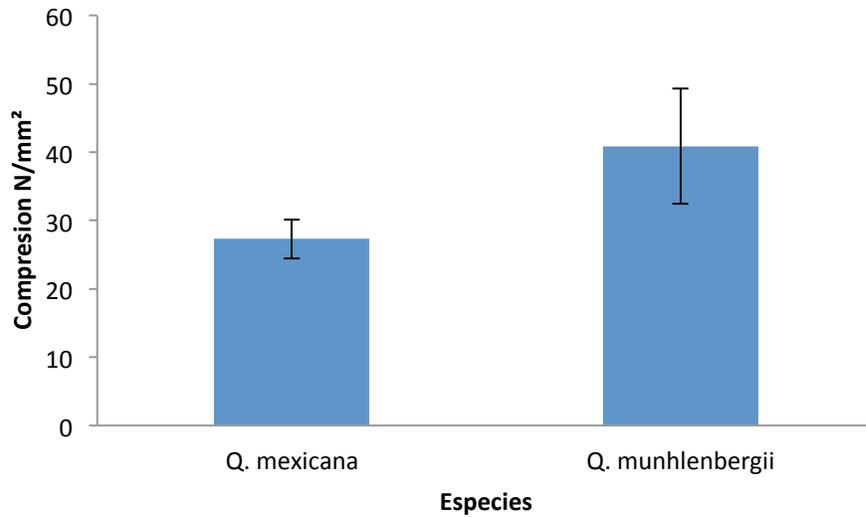


Figura 35. Compresión de *Q. mexicana* y *Q. muehlenbergii*.

En base a los resultados obtenidos y comparados con los criterios de clasificación para las características mecánicas publicados por Sotomayor *et al.*(2003); la especie *Q. mexicana* en compresión paralela presenta una resistencia baja y para la especie *Q. muehlenbergii* la resistencia a la compresión perpendicular es media.

Dureza Janka

La dureza se define como la resistencia que ofrece un cuerpo sólido a la penetración por otro cuerpo sólido, esta propiedad se mide en tres direcciones sobre la cara trasversal, radial y tangencial de la muestra obteniendo los siguientes valores para la especie *Quercus mexicana* que podremos observar en la Tabla 10 y Figura 21.

Tabla 9. Dureza Janka de *Q. mexicana* y *Q. muehlenbergii*.

	Trasversal	radial	Tangencial
N	28	28	28
Media	10434.985	8771.117	9326.206
D. Estándar	1144.306	1896.641	1601.944

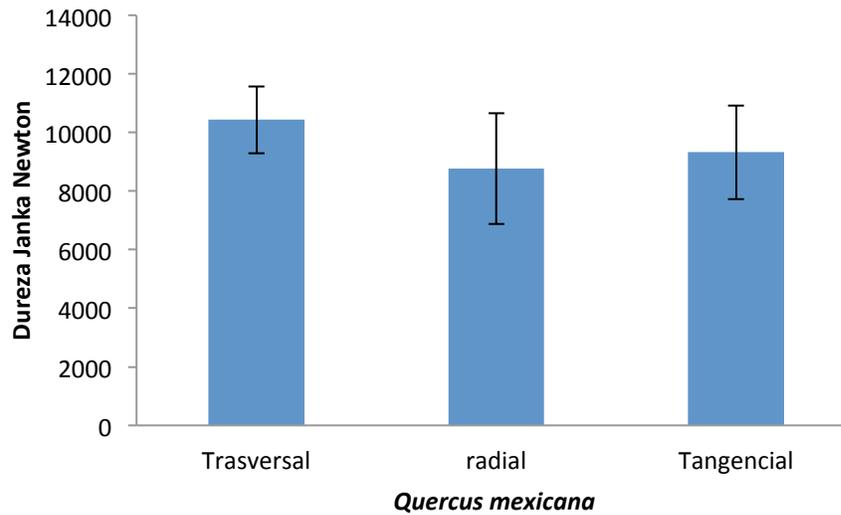


Figura 36. Dureza de *Q. mexicana* y *Q. muehlenbergii*

Con respecto a los criterios de clasificación para las características mecánicas publicado por Sotomayor *et al.* (2003) se encuentra que la madera de *Q. mexicana* es una madera con muy alta dureza en sus tres secciones. Además estos resultados fueron comparados con los resultados publicados por el Servicio Forestal de Madison, Wisconsin en The Wood Handbook en 1999, publicando valores mínimos para el género en 4,000 N y máximos hasta 6,500 N.

7. CONCLUSIONES

Quercus mexicana

- En base de los resultados obtenidos sobre las características tecnológicas de la madera de *Q. mexicana*, con un correcto secado de la misma , puede ser utilizada en la construcción de muebles y herramientas.
- Posee una densidad alta
- Contracción alta (afecta en el secado)
- Modulo de elasticidad y ruptura valor medio
- Compresión paralela, resistencia baja
- Dureza janka , alta

Quercus muehlenbergii

- En base de los resultados obtenidos sobre las características tecnológicas de la madera de *Q. muehlenbergii*, con un correcto secado de la misma , puede ser utilizada en la construcción de muebles simples, mangos de herramientas, cajas, vigas y polines.
- Posee una densidad alta
- Contracción alta (afecta en el secado)
- Modulo de elasticidad y ruptura valor medio
- Compresión paralela, resistencia medio
- Dificil trabajabilidad

8. RECOMENDACIONES

- Es importante el aprovechamiento adecuado de cualquier recurso natural; al lograrlo se traduce en una fuente de riqueza e ingresos, por lo tanto es una prioridad el conocimiento adecuado de las características físico-mecánicas de la madera aunado a que la madera del género *Quercus* es el segundo recurso maderable utilizado en nuestro país. Como recomendación principal es la ampliación de estos tipos de estudios pues existe un desconocimiento de las características de la madera del género *Quercus*
- En relación a los valores obtenidos de la especie *Quercus mexicana*, observamos que:
 - Es una especie con una densidad alta, esto respalda que es una madera dura.
 - Tiene una contracción alta esto afecta directamente en el secado pues con una alta contracción e hinchamiento puede deformar las piezas ó tablas torciéndolas, rajándolas, agrietándolas y provocar el colapso.
 - Contenido de humedad en equilibrio: El agua que se encuentra contenida dentro de las paredes celulares se llama agua higroscópica o agua límite, las maderas duras tienen paredes gruesas y cavidades celulares pequeñas, y por tanto su contenido de humedad máximo que pueden tener es menor del 100%. Cuando la madera alcanza un contenido de humedad tal que el agua libre ha sido evaporada y solo contiene agua higroscópica se dice que ha alcanzado el punto de saturación de las fibras (P.S.E), el cual tiene gran importancia para el proceso del secado y corresponde a valores de contenidos de humedad del 24 al 32%; para casos prácticos se toma como 30% de contenido de humedad. Por lo tanto es una madera sensible para el correcto secado.
 - Módulo de elasticidad y ruptura: según la caracterización de (Sotomayor, *et al* 2003) esta madera entra en la categoría media esto refiere que es una madera con flexibilidad ó elasticidad adecuada pudiendo ser utilizado en construcción de cajas aunado a una alta resistencia a la ruptura.

- Sin embargo los resultados de la compresión paralela indican que se obtuvo una resistencia baja, esto significa que no es una buena madera para polines.
 - En las pruebas de dureza podemos decir que es una madera con alta dureza, sugiriendo que se puede utilizar para mangos de herramientas como hachas y martillos.
- Con relación a los valores obtenidos de la especie *Quercus muehlenbergii*, observamos que:
 - Es una especie con una densidad alta, esto respalda que es una madera dura y sugiere un bajo contenido de humedad.
 - Contracción alta esto afecta directamente en el secado pues con una alta contracción e hinchamiento puede deformar las piezas ó tablas torciéndolas, rajándolas, agrietándolas y provocar el colapso.
 - Contenido de humedad en equilibrio: El agua que se encuentra contenida dentro de las paredes celulares se llama agua higroscópica o agua límite. Las maderas duras tienen paredes gruesas y cavidades celulares pequeñas, y por tanto su contenido de humedad máximo que pueden tener es menor del 100%. Cuando la madera alcanza un contenido de humedad tal que el agua libre ha sido evaporada y solo contiene agua higroscópica se dice que ha alcanzado el punto de saturación de las fibras (P.S.E), el cual tiene gran importancia para el proceso del secado y corresponde a valores de contenidos de humedad del 24 al 32%; para casos prácticos se toma como 30% de contenido de humedad. Por lo tanto es una madera sensible para el correcto secado.
 - Módulo de Elasticidad y ruptura: según la caracterización de (Sotomayor, *et al* 2003) esta madera entra en la categoría media esto refiere que es una madera con flexibilidad ó Elasticidad pudiendo ser utilizado en construcción de cajas aunado a una alta resistencia a la ruptura.

- Sin embargo en la compresión paralela se obtuvo una resistencia media, esto significa que es una buena madera para la construcción cajas, polines, vigas y herramientas.
- Estas dos especies analizadas nos dan una gran idea del potencial que existe en el género *Quercus* ssp. en el estado de Nuevo León, y enciende un foco donde existe un gran recurso que no está siendo aprovechado de la mejor manera para nuestro mejor beneficio, por eso es importante continuar con los estudios necesarios para ampliar el conocimiento y así poder divulgar la información a los futuros manejadores de nuestros recursos nacionales.

9. BIBLIOGRAFÍA

ASTM D 1037-99, Standard Test Methods For Evaluating Properties of Wood-Base Fiber and Particle Panel Materials. 7 - 136.

ASTM D 143-94, r. 2000. Standard Test Methods for Small Clear Specimens of Timber. 5 - 23

ASTM D 4761-02a, Standard Test Methods for Mechanical Properties of Lumber and Wood-Base Structural Material. 30-35.

Bacon, J., 2003, Los Encinos: Importantes Elementos de la Biodiversidad Latinoamericana. Instituto de silvicultura e Industria de la Madera, Universidad Juarez del Estado de Durango, Area de Ecología Forestal. 1- 6

Braun, E. Lucy. 1950. Deciduous forests of eastern North America. Blakiston, Philadelphia, PA. 596 p.

Carrillo, P. A., 2007. Technological Investigation of *Prosopis Laevis* wood from northeast México. Tesis Doctoral, The Faculty of forest Sciences and Forest Ecology of the University of Göttingen. 137 - 137

Carrillo, P. A., Hapla, F., Mayer, I., Koch, G., Foroughbakhch, R., 2010. Differences in Physical and Mechanical Wood Properties of Mesquite (*Prosopis Laevis*) in four locations in Northeast Mexico. Artículo, IJAE: 3(2) June 2010. 225-234.

Cerón C. M., Araujo M. O. y Solís R. L. (1993). "Norma de Clasificación Visual para Maderas Latifoliadas de Uso Estructural". Boletín Académico No. 22. Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Yucatán. Mérida, Yucatán

Chan Martín, M. H., O. Araujo Molina y M. Azueta García. (2002) Los defectos naturales en la madera aserrada. Ingeniería 6-1: 29-38

Green D, M. Begel & W. Nelson *et al* 2006, United States Department of Agriculture USDA, Janka Hardness Using Nonstandard Specimens, Forest Service 1- 17

Eligon, A.M., A. Achong & R. Saunders. 1992. Moisture adsorption and desorption properties of some tropical woods. Journal of materials science 27: 3442-3446.

Eyre, F. H., ed. 1980. Forest cover types of the United States and Canada. Society of American Foresters, Washington, DC. 148 p.

Fuentes, S. M. s/f. Apuntes para el curso de Tecnología de la madera 1, Departamento de Bosques, Universidad Autónoma de Chapingo. Serie académica No. 33. México. 100 p.

Forest Products Laboratory. 1999. Wood Handbook-Wood as an engineering material. Gen. Tech. Rep. FPL-GTR-113. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory. 463 p.

García, S., F. 1992. Los encinos del Valle de San Luis Potosí. Laboratorio de botánica. Instituto de Investigación de Zonas Desertificadas. U.A.S.L.P. Pp12 - 132

Green, D., Marshall, B., Nelson, W., 2006. Janka Hardness Using Nonstandard Specimens, United States department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, Research, Note, FPL-RN-0303. p. 13.

GDF. 2004. Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Madera. México, D.F. cg.servicios.df.gob.mx/prontuario/vigente/740.doc

Guzmán, J., Talavera, F., Montes, E., 1992, Propiedades Físico-Mecánicas de la madera de encino (*Quercus Castanea*). Artículo, Instituto de Madera, Celulosa y

Papel, Universidad de Guadalajara, III Seminario Nacional sobre Utilización de Encinos, Linares, N.L. del 4 al 6 de Noviembre de 1992. Pp. 504-514

Hutcheson, H. L., Jr. 1965. Vegetation in relation to slope exposure and geology in the Arbuckle Mountains. Dissertation Abstracts 26(4):1880-1881

Kollmann, F.F.P. & W.A. Cote. 1968. Principles of wood science and technology. I. Solid wood. Springer-Verlag. New York. 592 p.

Limstrom, G. A. 1965. Chinkapin oak (*Quercus muehlenbergii* Engelm.). In Silvics of forest trees of the United States. p. 577-580. H. A. Fowells, comp. U.S. Department of Agriculture, Agriculture Handbook 271. Washington, DC.

Ilic, J. 2003. Dynamic MOE of 55 species using small wood beams. Holz als Roh- und Werkstoff 61: 167-172

Nájera, L. J., Zacarías, V. A., González, M. J., Luna, G. J., 2005. Propiedades físicas y mecánicas de la madera en *Quercus laeta* Liemb. de El Salto, Durango. Artículo, Ra Ximhai, Universidad autónoma Indígena de México, ISSN: 1665-0441, México. Vol. 1. N° 3, Sep-Dic, 2005, Pp. 559-576

Müller, Using B. 1994 Contribuciones al conocimiento de los bosques de encino y pino-encino en el Noroeste de México. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma de Nuevo León. Linares, Nuevo León. 194 p.

Plan de Manejo Forestal Maderable tipo Persistente, predio El Novillo, Iturbide, N.L. México(2000) fuente SEMARNAT, Delegación Nuevo León. pp 1 - 120

Pérez, O. C., Dávalos, S. R., Quintanar, I. P., 2005. Influencia de los radios en algunas propiedades físicas y mecánicas de la madera de ocho encinos *Quercus* de Durango, México., Artículo, Madera y Bosques 11(2), 2005:49-68.

Pérez, O. C., Dávalos, S. R., 2008. Algunas características anatómicas y tecnológicas de la madera de 24 especies de Quercus (encinos) de México., Artículo, Maderas y Bosques 14(3): 43-80.

Pérez, O. C., Dávalos, S. R., Guerrero, C. E., 2000. Aprovechamiento de la madera de encino en México. Artículo, Maderas y bosques, Vol. 6, N°001, Instituto de Ecología A.C., Xalapa, México, pp. Pp 3-13

Rzedowski, J.,2006. Vegetación de México. 1ra. Edición digital, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México, 504 p.

Ramos-Álvarez, C. H. y Díaz-Gómez, V. 1981. Instructivo para recolectar muestras de madera para estudios tecnológicos. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, SARH, México. Boletín Divulgativo No. 54: 15 .

Salazar J. & Fuentes M. 2001 Rev. Cien. For. En México. Ciencia Forestal en México Vol. 26 Num. 90 120p. México , DF. Jul-dic 2001 inifap Pp 3-5

Sekhar, A.C. & S.S. Rajput. 1967. Some studies on the shrinkage behavior of wood. Wood Science and Technology 1: 99-108.

SEMARNAT (2006) Anuario Estadístico de la Producción Forestal. Pp.1- 66

SECOFI. 1999. Norma Mexicana NMX-C-409-1999. Clasificación visual para maderas latifoliadas de uso estructural. México D. F. tema 1.0 al 8.2.2

Sotomayor J, M. Herrera & J. Cruz de León. 2003, Clasificación mecánica de la madera de 100 especies mexicanas, XII World Forestry Congress, 2003, Québec City, Canadá. 1054-B4

United States Department of Agriculture, Soil Conservation Service. 1975. Soil taxonomy: a basic system for soils classification for making and integrating soil surveys. Soil Survey Staff, coord. U.S. Department of Agriculture, Agriculture Handbook 436. Washington, DC. 754 p.

Valencia S. et al 1997, Método empírico para estimar la densidad básica en muestras pequeñas de madera, Maderas y Bosques, primavera, año/vol. 3, número 001, Instituto de ecología A.C. Xalapa, México Pp. 81-87

Zacarías V. A., 2004. Determinación de las Propiedades Físicas y Mecánicas en la madera de *Quercus laeta* de la región de El Salto, Durango, Tesis profesional, Subsecretaría de educación e Investigación Tecnológicas, Dirección General de educación Tecnológica Agropecuaria, Instituto Tecnológico Forestal N° 1. 76p

Zavala, C. F., 1998. Observaciones sobre la distribución de encinos en México. Artículo, Departamento de Ecología y silvicultura, División de Ciencias forestales, Universidad Autónoma de Chapingo. Polibotánica N° 8:47-64, 1998. Pp

Zavala, C. F., 1989. Identificación de encinos de México. Departamento de Ecología y Silvicultura, División de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma de Chapingo. Pp

10. ANEXOS

Anexo A1

Clasificaciones para densidad básica (Po/Vv)

Densidad (gr/cm ³)	Clasificación
Debajo de 0.26	Excepcionalmente baja
0.26 - 0.38	Baja
0.39 - 0.56	Media
0.57 - 0.70	Alta
0.71 - 0.89	Muy Alta
Arriba de 0.89	Excepcionalmente alta

Tabla tomada de Torelli, 1982

Anexo A2

Criterios de clasificación para las características mecánicas de maderas mexicanas

Calificación	Densidad (kg / m ³) [Peso-Seco/Volumen-Verde]	Dureza Janka	
		Cara Lateral (kg)	Cara Transversal (kg)
Muy baja	Menor de 200	Menor de 200	Menor de 200
Baja	201 - 400	201 - 400	201 - 400
Media	401 - 600	401 - 600	401 - 600
Alta	601 - 800	601 - 800	601 - 800
Muy alta	Mayor de 800	Mayor de 800	Mayor de 800
Flexión Estática			
Calificación	Módulo de Elasticidad (kg / cm ²)	Resistencia al Límite Elástico (kg / cm ²)	Resistencia a la Ruptura (kg / cm ²)
Muy baja	Menor de 40 000	Menor de 200	Menor de 350
Baja	40 001 - 80 000	201 - 400	35 - 700
Media	80 001 - 120 000	401 - 600	701 - 1 050

Alta	120 001 - 160 000	601 - 800	1 051 - 1 400
Muy alta	Mayor de 160 000	Mayor de 800	Mayor de 1 400

Compresión Paralela			
Calificación	Módulo de Elasticidad (kg / cm ²)	Resistencia al Límite Elástico (kg / cm ²)	Resistencia a la Ruptura (kg / cm ²)
Muy baja	Menor de 50 000	Menor de 100	Menor de 150
Baja	50 001 - 100 000	101 - 180	151 - 300
Media	100 001 - 150 000	181 - 260	301 - 450
Alta	150 001 - 200 000	261 - 340	451 - 600
Muy alta	Mayor de 200 000	Mayor de 340	Mayor de 600
Compresión Perpendicular Resistencia al Límite Elástico (kg / cm ²)		Cortante Paralela Resistencia a la Ruptura (kg / cm ²)	
Muy baja	Menor de 200	Menor de 160	
Baja	201 - 400	161 - 320	
Media	401 - 600	321 - 480	
Alta	601 - 800	481 - 640	
Muy alta	Mayor de 800	Mayor de 640	

Anexo A3

Clasificación de las contracciones en la madera, según su intensidad (%) (Fuentes, s/f).

Clasificación	Tangencial		Radial		Volumétrico	
	Tv a To	Tv a T ₁₂	Rv a Ro	Rv a R ₁₂	Vv a Vo	Vv a V ₁₂
Muy Baja	<3.5	<2.5	<2.0	<1.0	<7.5	<4.1
Baja	3.6 - 5.0	2.6 - 4.0	2.1 - 3.0	1.1 - 2.0	7.6 - 10	4.2 - 5.6
Mediana	5.1 - 6.5	4.1 - 5.5	3.1 - 4.0	2.1 - 3.0	10.1 - 15	5.7 - 8.5
Alta	6.6 - 8.0	5.6 - 7.0	4.1 - 5.0	3.1 - 4.0	15.1 - 19	8.6 - 10.8
Muy alta	>8.1	>7.1	>5.1	>4.1	>10.9	>10.9

Tv, Rv, Vv = Dimensiones en el estado verde

To, Ro, Vo = Dimensiones en el estado Anhidro

T₁₂, R₁₂, V₁₂ = Dimensiones al 12% de C. H.

Anexo A4

Bacula



Anexo A5 Estufa



Anexo A6 Muestras para ensayo de densidad



Anexo A7 Muestras para ensayo de contracción e hinchamiento



Muestras para módulo de elasticidad y módulo de ruptura

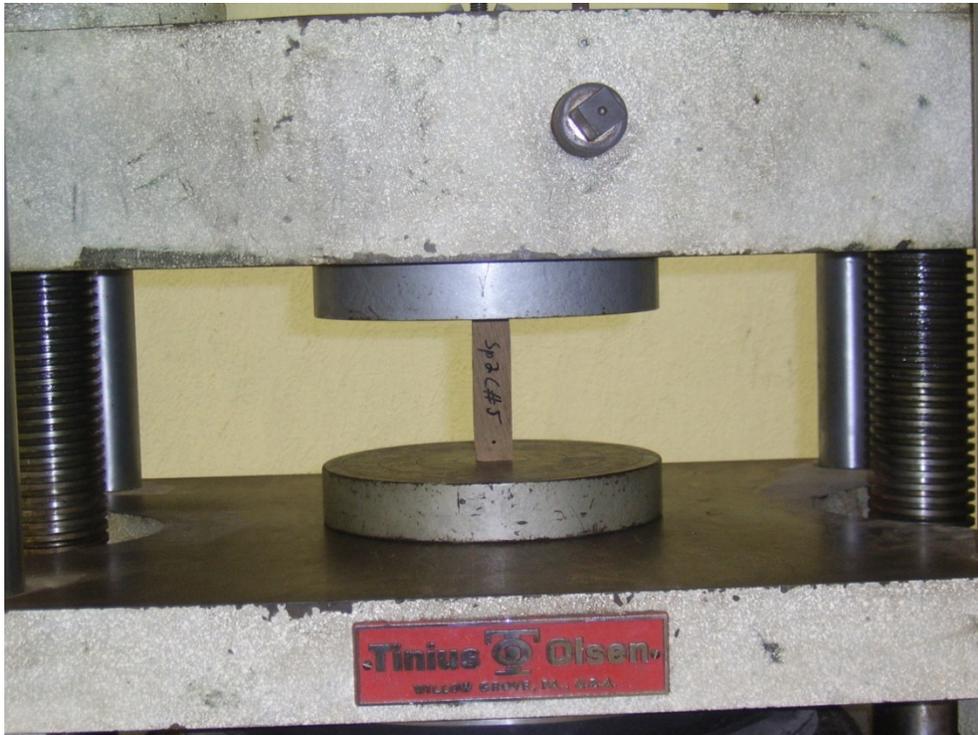


Anexo A8 Ensayos para MOE y MOR





Anexo A9 Ensayos para compresión



Anexo A10 Muestras para ensayo de dureza

