



ARTÍCULO / ARTICLE

MAQUINADO DE CUATRO ESPECIES MADERABLES DE ENCINO DE LA SIERRA DE JUÁREZ, OAXACA

MACHINING OF FOUR TIMBER OAK SPECIES FROM SIERRA DE JUAREZ, OAXACA

Rogelio Flores Velázquez¹, Martha Elena Fuentes López¹,
Juan Quintanar Olguín¹ y Juan Carlos Tamarit Urías¹

RESUMEN

Se determinaron las características de maquinado con base en la norma ASTM D 1666-87 en las operaciones de cepillado, barrenado, moldurado, torneado y lijado de la madera de *Quercus crassifolia*, *Q. laurina*, *Q. rugosa* y *Q. scitophylla*. En la primera, los mejores resultados se obtuvieron al combinar todos los ángulos de corte probados con la velocidad de alimentación de 7.5 m min⁻¹, lo cual significa que este factor no influyó notablemente en la calidad de cepillado, y que el número de marcas de cuchilla por centímetro (determinado por la velocidad de alimentación) fue el que la definió. El defecto más frecuente, pero de manera superficial, fue el grano astillado. En el barrenado, moldurado, torneado y lijado, la madera de las cuatro especies analizadas mostró excelentes características de maquinado. En el barrenado y lijado, el defecto más común fue el grano apelmusado, mismo que no incidió en la clasificación final, por producirse de modo superficial, debido, en gran medida, a la uniformidad del tamaño de los poros y al hilo recto de la madera, los cuales contrarrestaron la característica de textura gruesa de los taxa estudiados. Por su excelente comportamiento ante las máquinas y herramientas, la madera de los encinos incluidas en el presente trabajo es apropiada para utilizarse en la elaboración de productos terminados con un mayor valor agregado como molduras, lambrines, parquet y muebles.

Palabras clave: Encino, maquinado, *Quercus crassifolia* Humb. & Bonpl., *Quercus laurina* Humb. & Bonpl., *Quercus rugosa* Née, *Quercus scitophylla* Liebm.

ABSTRACT

Machining characteristics in the planing, boring, shaping, turning and sanding operations were assessed in four oak species, *Quercus crassifolia*, *Q. laurina*, *Q. rugosa* and *Q. scitophylla*. Tests were made according to the ASTM-D 1666-87 standard. Best results of planing were obtained by combining all cutting angles tested with 7.5 m min⁻¹ of feed speed, which means that the cutting angle had no marked influence on planing quality, and that the number of knife marks per inch (which is determined by the feed rate) was the factor that defined the quality that was obtained. The defect that occurred more frequently in this test was chipped grain, but in a superficial way. In boring, shaping, turning and sanding operations of the four species that were studied showed excellent machining characteristics. In boring and sanding the most frequent defect was "fuzzy" grain, which did not influence the final classification as it appeared in a superficial way, due, mainly, to the uniform size of the pores and the straight thread of wood, which counteract the characteristic coarse texture character of the taxa. For their excellent performance in regard to machines and tools, the wood of the four species is suitable to be used in the fabrication of finished products with a higher added value such as frames, wainscot, parquet flooring and furniture.

Key words: Oak, wood machining, *Quercus crassifolia* Humb. & Bonpl., *Quercus laurina* Humb. & Bonpl., *Quercus rugosa* Née, *Quercus scitophylla* Liebm.

INTRODUCCIÓN

Las características de maquinado son de gran importancia dentro de las propiedades tecnológicas de la madera, pues determinan la facilidad o dificultad de su procesamiento durante las distintas operaciones de labrado y maquinado; su desconocimiento ha sido una de las causas por las cuales los encinos (*Quercus* spp.) están subutilizados y no se destinan a la elaboración de productos de mayor valor agregado (Flores *et al.*, 2007).

En México son escasas las investigaciones sobre ese tema, particularmente en especies de madera dura como los encinos, lo cual ocasiona que esta se trabaje de forma similar a las maderas suaves (pino) y, en consecuencia, se reduzca la calidad de su tersura. Ello se debe en esencia a que el equipamiento de la industria nacional no está diseñada para operar maderas duras, lo que dificulta aún más su procesamiento (Flores *et al.*, 2001; Flores *et al.*, 2007). Así, a pesar de que los encinos son el segundo grupo (solo después de los pinos) más numeroso de especies forestales en los bosques de clima templado-frío, en cuanto a su distribución y abundancia, su aprovechamiento es reducido y su madera se destina principalmente a la producción de celulosa para papel, leña y carbón. De acuerdo con los datos registrados por Semarnat (2012), en 2011 su volumen extraído fue de 523 335 m³ en la república mexicana, que representó 9.5 % de la producción nacional; en el estado de Oaxaca, su valor alcanzó 11 351 m³.

La necesidad de utilizar los encinos a nivel industrial, mediante la incorporación de un mayor volumen de madera y destinarla para la obtención de productos con un valor agregado más alto requiere de nuevas alternativas de extracción y procesamiento.

En el cepillado de la madera de encino se recomienda emplear un ángulo de corte entre 10 y 20°, en función de su contenido de humedad, y una profundidad de corte de 1/16" (Herrera, 1981; Quiñones y Herrera, 1984; Wengert, 1988; Flores y Fuentes, 1995; Flores y Fuentes 2002; Flores *et al.*, 2002; Flores *et al.*, 2007); con ángulos de corte de 30° es necesario reducir la profundidad de corte a 1/32" y la madera deberá tener un contenido de humedad entre 6 y 10%, con la ventaja de que al utilizar un ángulo de corte más grande, el consumo de energía y el desafilado disminuyen (Wengert, 1988).

La velocidad de alimentación es otra variable significativa en el cepillado de la madera, pues se ha comprobado que mientras se reduce, la calidad de la superficie cepillada se incrementa, ya que el número de marcas de cuchilla por unidad de superficie es mayor; es decir, la cantidad de madera que removerá cada cuchilla al cortar es menor (Herrera, 1981; Torelli, 1982; Quiñones y Herrera, 1984; Flores y Fuentes, 1995; Flores y Fuentes, 2002; Flores *et al.*, 2002; Flores *et al.*, 2007). Con base en lo anterior, la mejor calidad de cepillado en la madera de encino se alcanza mediante la combinación de un ángulo de corte y una velocidad de alimentación reducidos.

INTRODUCTION

Machining characteristics have great importance within the technological properties of wood, as they determine the facility or difficulty to be processed during the different operations of carving and machining; lack of knowledge has been one of the causes that explains why oaks have been underused and are not addressed to the elaboration of products with a higher added value (Flores *et al.*, 2007).

In Mexico there is a small number of research studies on the topic, particularly on hardwood species such as oaks, which provokes that it is handled in a similar way as softwoods (pine), and consequently, the quality of its smoothness is lowered. Essentially it is due to the fact that the equipment of the national industry is not designed to operate hard woods, this makes its processing more difficult (Flores *et al.*, 2001; Flores *et al.*, 2007). Therefore, even if oaks are the second greatest group (only after pines) in the mild-weather forests in terms of distribution and abundance, their harvest is small and its timber is majorly destined for cellulose paste, firewood and carbon. According to the data of Semarnat (2012), in 2011 the extracted volume of oaks was 523 335 m³ in Mexico, which meant 9.5 % of national production; in the state of Oaxaca, its value only reached 11 351 m³.

The need to use oaks at an industrial scale, by including a greater volume of wood and direct it to obtain products with a higher added value demands new option of extraction and processing.

In oak wood planing it is advised to use a cutting angle between 10 and 20°, in regard to moisture content and a cutting depth of 1/16" (Herrera, 1981; Quiñones and Herrera, 1984; Wengert, 1988; Flores and Fuentes, 1995; Flores and Fuentes, 2002; Flores *et al.*, 2002; Flores *et al.*, 2007), with cutting angles of 30° it is necessary to reduce the cutting depth at 1/32" and timber must have a moisture content between 6 and 10%, with an advantage of a reduction of energy consumption and blunting when using a bigger cutting angle (Wengert, 1988).

Feeding speed is another significant variable in timber planing as it has been proved that when it is reduced, the quality of planed surface becomes higher because the number of marks of the tooth by surface area is greater; that is, the amount of wood that the blade will remove by cutting is smaller (Herrera, 1981; Torelli, 1982; Quiñones and Herrera, 1984; Flores and Fuentes, 1995; Flores and Fuentes, 2002; Flores *et al.*, 2002; Flores *et al.*, 2007). Based in the former argument, the best planing quality of oak wood is obtained by combining a small cutting angle and a low feeding speed.

In boring, shaping, turning and sanding of *Quercus* timber, in general, results are from good to excellent (Herrera, 1981; Torelli, 1982; Quiñones and Herrera, 1984; Flores and Fuentes, 1995; Flores and Fuentes, 2002; Flores *et al.*, 2002; Flores *et al.*, 2007) are strongly influenced by the existence of irregular thread caused by

En el barrenado, moldurado, torneado y lijado de la madera de *Quercus*, en general, los resultados son de buenos a excelentes (Herrera, 1981; Torelli, 1982; Quiñones y Herrera, 1984; Flores y Fuentes, 1995; Flores y Fuentes, 2002; Flores *et al.*, 2002; Flores *et al.*, 2007) están fuertemente influenciados por la existencia de hilo irregular ocasionado por nudos. Flores y Fuentes (2002) señalan que el contenido de humedad afecta la calidad del torneado, de ahí que la obtención de mejores resultados corresponda a contenidos superiores a 12%.

Fuentes *et al.* (1998) indican que *Q. affinis* Scheidw y *Q. crassifolia* Humb. & Bonpl. muestran un comportamiento excelente en el maquinado porque las maderas con hilo recto y densidad alta tienen un acabado más terso que las ligeras; sin embargo, presentan una mayor remoción de sustancia madera, por tanto, requieren una cantidad más elevada de energía en su procesamiento y causan un rápido desafilado de las herramientas de corte.

Los objetivos de este estudio fueron determinar las características de maquinado en las operaciones de cepillado, barrenado, moldurado, torneado y lijado de la madera de *Quercus crassifolia*, *Q. laurina* Humb. & Bonpl., *Q. rugosa* Née y *Q. scitophylla* Liebm.; evaluar el efecto de cuatro ángulos de corte combinados con dos velocidades de alimentación en la calidad de cepillado, y evaluar la influencia de dos contenidos de humedad en el torneado.

MATERIALES Y MÉTODOS

El número y especificaciones de las probetas de ensayo responden a lo establecido en la norma ASTM D 1666-87, excepto en que se obtuvieron al sanear tablas de diferentes dimensiones (Figura 1), en lugar de utilizar tablas limpias con medidas fijas de 2.5 x 12.5 x 122 cm (1" x 5" x 4"), ya que a partir del material disponible no se podían obtener tablas con estas dimensiones libres de defectos.

knots. Flores and Fuentes (2002) point out that moisture content affects the quality of turning, which means that the best results belong to contents above 12%.

Fuentes *et al.* (1998) found that *Q. affinis* Scheidw and *Q. crassifolia* Humb. & Bonl. show an excellent machining behavior because woods with straight thread and high density have a softer finishing than the light ones; however, they show a greater removal of wood matter, and therefore, they demand a greater amount of energy in their processing and cause a fast blunting of the cutting tools.

The objectives of the present study were to determine the machining characteristics in the planing, boring, shaping, turning and sanding operations of *Quercus crassifolia*, *Q. laurina* Humb. & Bonpl., *Q. rugosa* Née and *Q. scitophylla* Liebm.; to assess the effect of four cutting angles combined with two feeding speeds in the quality of planing and to evaluate the influence of two moisture content in turning.

MATERIALS AND METHODS

The number and specifications of the wooden assay test pieces were according to what the ASTM D 1666-87 regulation established, except for the fact that they were obtained when boards of different sizes were cleansed (Figure 1), instead of using clean boards of standard measures, 2.5 x 12.5 x 122 cm (1" x 5" x 4"), as with the available materials it was not possible to get boards of this size without any defects.

The boards from which the wooden assay test pieces were taken were selected from a stock of sawn-timber whose average moisture contents were 11% in *Q. crassifolia* and *Q. rugosa*, 10.9% in *Q. laurina* and 11.1% en *Q. scitophylla*. In regard to the turning essay, 50 wooden assay test pieces were prepared with an average moisture content of 16.1% in *Q. crassifolia* and *Q. rugosa*,

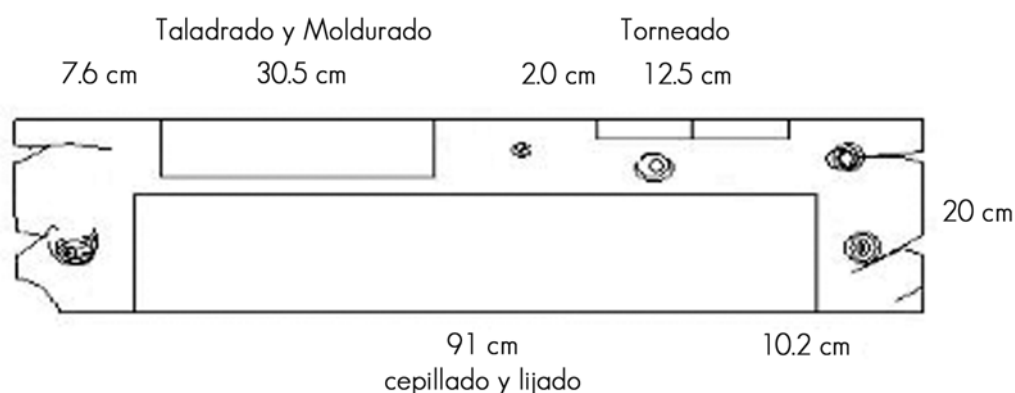


Figura 1. Obtención de probetas de ensayo.
Figure 1. Extraction of the wooden assay test pieces.

Las tablas para la obtención de las probetas se seleccionaron de un lote de madera aserrada cuyos contenidos de humedad promedio fueron 11% en *Q. crassifolia* y *Q. rugosa*, 10.9% en *Q. laurina* y 11.1% en *Q. scitophylla*. Respecto al ensayo de torneado, se acondicionaron 50 probetas por especie con un contenido de humedad promedio de 16.1% en *Q. crassifolia* y *Q. rugosa*, 16% en *Q. laurina* y 15.9% en *Q. scitophylla*, y se procuró que no tuvieran defectos (Figura 2) como rajaduras, nudos e incrustaciones de corteza. Esto se realizó para que al evaluar la calidad de los ensayos, los resultados se atribuyeran a las máquinas, herramientas, condiciones de trabajo o variables de estudio, y no a los defectos de la madera.

16% in *Q. laurina* and 15.9% in *Q. scitophylla*, trying to get pieces without defects such as splits, knots and bark incrustations (Figure 2). This was done so that, when assessing the quality of the essays, the results were attributed to the machines, work conditions or study variables, and not to the defects of wood.

For planing was used a turning speed of the portable blade head of 5 500 rpm and two feeding speeds: 13 and 7.5 m min⁻¹ to 16.9 and 29.3 marks of the blade by centimeter, each, combined with four cutting angles: 15, 20, 25 and 30 degrees; in boring two turning speeds of the head were tested: 1 300 y 2 500 rpm; in molduring was applied a turning speed to the tool-portable



Figura 2. Elaboración de probetas de ensayo.
Figure 2. Manufacturing of wooden assay test pieces.

En el caso del cepillado se utilizó una velocidad de giro del cabezal portacuchillas de 5 500 rpm y dos de alimentación: 13 y 7.5 m min⁻¹ para obtener 16.9 y 29.3 marcas de cuchilla por centímetro, respectivamente; en combinación con cuatro ángulos de corte: 15, 20, 25 y 30 grados; en el de barrenado se probaron dos velocidades de giro del cabezal: 1 300 y 2 500 rpm; en el moldurado se aplicó una velocidad de giro del cabezal porta-herramientas de 8 000 rpm, con la cual se alcanzó una velocidad de corte de 63 m s⁻¹, y en el de lijado, se sustituyó la lijadora de tambor de dos cabezales especificada en la norma por una banda con velocidad de alimentación promedio de 6.5 m min⁻¹, con una mínima de 6.365 y máxima de 6.7 m min⁻¹, lo cual ejerció una presión constante sobre el cojín opresor de 4.573 kg. Las lijas fueron de grano 80 y 100 de granate.

head of 8 000 rpm, with which a cutting speed of 63 m s⁻¹ was accomplished, and in sanding, the drum sander was replaced by two heads specified in the regulation by a band with average feeding speed of 6.5 m min⁻¹, with a minimum of 6.365 and a maximum of 6.7 m min⁻¹, which favored a constant pressure upon the pressing pillow of 4.573 kg. Sanders were of 80 grain and 100 of garnet.

The assessment of assays was made according to the ASTM D 1666-87 regulation (ASTM, 1992), which is based on the visual examination of the wooden assay test pieces in order to analyze the presence and severity of the grain defects: splitted, fuzzied (Figure 3), bumped, splinter marks, torn grain, comprised grain and scratches. The test pieces were classified into five categories according to what is listed in Table 1.

La evaluación de ensayos se efectuó como lo determina la Norma ASTM D 1666-87 (ASTM, 1992), que se basa en el examen visual de las probetas, a fin de analizar la presencia y severidad de los defectos de grano astillado, grano apelmusado (Figura 3), grano levantado, marcas de astilla, grano rasgado, grano comprimido y rayones. Las probetas se clasificaron en cinco categorías de acuerdo a lo establecido en el Cuadro 1.

In the assessment of the quality of wood machining it was considered the sum of the percentage of excellent (E) and good pieces (B), according to the classification in Table 2. In the turning assay, the percentage of wood tests classified as regular was also included, according to the regulation previously quoted.



Figura 3. Defectos de grano: (a) apelmusado y (b) astillado.
 Figure 3. Defects of grain (a) fuzzied and (b) splintered grain.

Cuadro 1. Evaluación y clasificación de las probetas de ensayo.
 Table 1. Assessment and classification of wooden assay test pieces

Grado	Condición	Descripción
1	Excelente	Libre de defectos
2	Buena	Defectos superficiales que pueden eliminarse con lija del número 100
3	Regular	Defectos marcados que pueden eliminarse con una lija gruesa del número 60 y después una lija fina del número 100
4	Pobre	Defectos severos que para eliminarse se requiere trabajar de nuevo la pieza de madera
5	Muy pobre	Defectos muy severos que para eliminarse será necesario sanear la pieza de madera

En la evaluación de la calidad de maquinado de la madera se consideró la suma del porcentaje de piezas excelentes (E) y buenas (B), según la clasificación mostrada en el Cuadro 2. En el ensayo de torneado también se incluyó el porcentaje de probetas clasificadas como regulares, de acuerdo con la norma antes citada.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para *Quercus crassifolia*, los mejores resultados se produjeron al combinar todos los ángulos de corte con la velocidad de alimentación de 7.5 m min^{-1} ; por lo tanto, esa variable no incidió en la calidad de cepillado; en cambio el número de marcas de cuchilla por centímetro (determinado por la velocidad de alimentación) fue el factor definitorio de la calidad lograda. Cabe señalar que solo cuando se utilizó un ángulo de 25° y una velocidad de alimentación de 13 m min^{-1} se tuvo una buena clasificación, pero apenas por debajo del porcentaje de probetas excelentes + buenas requeridas para clasificarse en la categoría de excelente (Cuadro 3).

Cuadro 3. Calidad de cepillado de la madera de *Quercus crassifolia* Humb. & Bonpl.

Table 3. Planing quality of *Quercus crassifolia* Humb. & Bonpl. timber.

Ángulo de corte (°)	Velocidad de alimentación (m min^{-1})	Marcas de cuchilla (cm)	Piezas		Defecto más frecuente
			excelentes + buenas (%)	Clasificación	
15	7.5	29.3	100	Excelente	Grano astillado
	13.0	16.9	96	Excelente	Grano astillado
20	7.5	29.3	100	Excelente	Grano astillado
	13.0	16.9	92	Excelente	Grano astillado
25	7.5	29.3	98	Excelente	
	13.0	16.9	88	Buena	Grano astillado
30	7.5	19.3	100	Excelente	Grano astillado
	13.0	16.9	90	Excelente	Grano astillado

El defecto más usual fue el grano astillado; sin embargo, se observó en un número de probetas muy reducido y en forma superficial, pese a su porosidad circular, debido a que la uniformidad del tamaño de los poros y el hilo recto de la madera de esta especie contrarrestan su presencia, y la hacen apropiada para el maquinado (Davis, 1962).

Estos resultados coinciden con los demostrados para *Q. crassifolia* por Flores y Fuentes (1998) y Flores (1990), quienes señalaron que con mayor número de marcas de cuchilla por centímetro se obtiene una calidad superior de cepillado; no obstante, en el estudio que se documenta el ángulo de corte no fue determinante.

La madera de *Q. laurina*, en general se clasificó como excelente para todas las variables de estudio (Cuadro 4). Aunque la combinación de los ángulos de corte de 15, 20, 25 y 30 grados y la velocidad de alimentación de 7.5 m min^{-1} fue la mejor, lo cual significa que el ángulo de corte tampoco influyó

Cuadro 2. Clasificación de la calidad de maquinado en función del porcentaje de piezas excelentes.

Table 2. Classification of machining quality in terms of the percentage of excellent pieces.

% de piezas E + B	Clasificación
90-100	Excelente
80-89	Buena
60-79	Regular
40-59	Pobre
0-40	Muy pobre

RESULTS AND DISCUSSION

For *Quercus crassifolia*, the best results came from combining all the cutting angles with the feeding speed of 7.5 m min^{-1} ; therefore, this variable did not affect the quality of planing; on other side, the number of blade marks per centimeter (determined by the feeding

speed) was the defining factor of the quality that was obtained. It is important to note that when a 25° angle and a feeding speed of 13 m min^{-1} was used, the result was a good classification, but just under the percentage of the required excellent+ good wood tests to be classified as excellent (Table 3).

The most usual defect was the splintered grain; however, it was observed in a very small number of wood tests and in a superficial way, in spite of their circular porosity, due to the uniformity in the size of pores and the straight thread of timber of this species counteract their presence and make it right for machining (Davis, 1962).

These results coincide with those showed by Flores and Fuentes (1998) and Flores (1990) for *Q. crassifolia*, who pointed out that with a greater number of blade marks per centimeter a greater planing quality is obtaining; nevertheless, in the actual study, the cutting angle was decisive.

notablemente en la calidad de cepillado a diferencia del número de marcas de cuchilla por centímetro. Lo anterior es atribuible a las características y propiedades de la madera de *Q. laurina*, como su alta densidad y dureza, y su hilo recto, que la hacen apropiada para un excelente maquinado. Respecto a la misma especie, los resultados producidos concuerdan con los referidos por Flores y Fuentes (2002) y Flores *et al.* (2007), quienes puntualizaron que el número de marcas de cuchilla por centímetro es determinante en la calidad de cepillado.

The timber of *Q. laurina*, in general, is classified as excellent for all the study variables (Table 4). Even if the combination of the 15, 20, 25 and 30 degrees and the feeding speed of 7.5 m min⁻¹ was the best, it means that the cutting angle did not notably affect in the planing quality, in contrast to the number of blade marks per centimeter. This has been attributed to the characteristics and properties of the timber of *Q. laurina*, as well as high density and hardness and their straight thread that make it excellent for machining. The results here produced in regard to this

Cuadro 4. Calidad de cepillado de la madera de *Quercus laurina* Humb. & Bonpl.
Table 4. Planing quality of *Quercus laurina* Humb. & Bonpl. timber.

Ángulo de corte (°)	Velocidad de alimentación (m min ⁻¹)	Marcas de cuchilla (cm)	Piezas		Defecto más frecuente
			excelentes + buenas (%)	Clasificación	
15	7.5	29.3	100	Excelente	Grano astillado
	13.0	16.9	94	Excelente	Grano astillado
20	7.5	29.3	100	Excelente	Grano astillado
	13.0	16.9	96	Excelente	Grano astillado
25	7.5	29.3	98	Excelente	Grano astillado
	13.0	16.9	92	Excelente	Grano astillado
30	7.5	29.3	100	Excelente	Grano astillado
	13.0	16.9	92	Excelente	Grano astillado

Para *Q. rugosa* con todos los ángulos de corte, en combinación con una velocidad de alimentación de 7.5 m min⁻¹, los resultados fueron mejores que los alcanzados mediante la conjunción de los mismos ángulos de corte con una velocidad de alimentación de 13 m min⁻¹, con los que, aun cuando se obtiene una clasificación de excelente para el cepillado con los ángulos de 15, 20 y 25 grados, el porcentaje de probetas excelentes + buenas es menor; en tanto, con el ángulo de 30 grados, la clasificación es solo buena, por lo cual, a semejanza de los casos anteriores, se puede apreciar la influencia del número de marcas de cuchilla por centímetro, incluso en ausencia de un cambio drástico de categoría (Cuadro 5).

species agree with those of Flores and Fuentes (2002) and Flores *et al.* (2007), who highlighted that the number of blade marks per centimeter is mandatory for the quality of planing.

El defecto más frecuente fue el grano astillado, que aunque se manifestó, estuvo presente en un número reducido de probetas y de manera superficial, lo que es atribuible a las características y propiedades de la madera de la especie: su densidad, de 0.72 g cm⁻³ (Honorato y Fuentes, 2001) y dureza alta, y su hilo recto, que la tornan apropiada para el maquinado.

For *Q. rugosa*, with all the cutting angles, combined with a feeding speed of 7.5 m min⁻¹, the results were better than those which were reached by the conjunction of the same cutting angles with a feeding speed of 13 m min⁻¹, with which, even when the excellent classification is obtained for planing with the angles of 15, 20 and 25 degrees, the percentage of excellent + good wood tests is smaller, while with the 30 degree angle, the classification is only good; therefore, in a similar way to the previous cases, the influence of the number of blade marks per centimeter can be observed, even without a drastic change per category (Table 5).

En cuanto a *Q. rugosa*, los resultados logrados coinciden con los asentados por Flores (1991), autor que obtuvo una menor calidad con un mayor ángulo de corte (30 grados).

The most frequent defect was the splintered grain, which only appeared in a small number of wooden assay test pieces and in a superficial way, which is attributable to the characteristics and properties of the timber of the specie: its density which is 0.72 g cm⁻³ (Honorato and Fuentes, 2001) and high hardness and straight thread, that make it good for machining.

About *Q. rugosa*, the results that were accomplished agree with those reported by Flores (1991), who obtained a lower quality with a higher cutting angle (30 degrees).

In regard to the timber of *Q. scitophylla*, planing quality was excellent. The cutting angle as well as the feeding speed do not have any effect; however, the greatest percentage of pieces



Cuadro 5. Calidad de cepillado de la madera de *Quercus rugosa* Née.
Table 5. Planing quality of *Quercus rugosa* Née. timber.

Ángulo de corte (°)	Velocidad de alimentación (m min ⁻¹)	Marcas de cuchilla (cm)	Piezas		Defecto más frecuente
			excelentes + buenas (%)	Clasificación	
15	7.5	29.3	100	Excelente	Grano astillado
	13.0	16.9	98	Excelente	Grano astillado
20	7.5	29.3	100	Excelente	Grano astillado
	13.0	16.9	96	Excelente	Grano astillado
25	7.5	29.3	100	Excelente	Grano astillado
	13.0	16.9	94	Excelente	Grano astillado
30	7.5	19.3	96	Excelente	Grano astillado
	13.0	16.9	86	Buena	Grano astillado

En relación con la madera de *Q. scitophylla*, la calidad de cepillado resultó excelente. Tanto el ángulo de corte como la velocidad de alimentación carecen de influencia; sin embargo, el mayor porcentaje de piezas con clasificación excelente y buena se consiguió con una velocidad de alimentación de 7.5 m min⁻¹ (Cuadro 6).

Estos resultados sobresalientes se explican, en gran medida, por la alta dureza de su madera, cuya consecuencia es la reducción de la presencia de grano astillado, lo cual se ajusta a lo especificado por Davis (1962).

Por otro lado, algunas de las características anatómicas de la madera de *Q. scitophylla*, como es su hilo recto y porosidad difusa con poros poco numerosos, de contorno oval y circular, de diámetro tangencial mediano uniforme, la hacen apropiada para un buen maquinado (Davis, 1962).

Cuadro 6. Calidad de cepillado de la madera de *Quercus scitophylla* Liebm.
Table 6. Planing quality of *Quercus scitophylla* Liebm. timber.

Ángulo de corte (°)	Velocidad de alimentación (m min ⁻¹)	Marcas de cuchilla (cm)	Piezas		Defecto más frecuente
			excelentes + buenas (%)	Clasificación	
15	7.5	29.3	100	Excelente	Ninguno
	13.0	16.9	98	Excelente	Grano astillado
20	7.5	29.3	100	Excelente	Grano astillado
	13.0	16.9	98	Excelente	Grano astillado
25	7.5	29.3	100	Excelente	Grano astillado
	13.0	16.9	96	Excelente	Grano astillado
30	7.5	29.3	100	Excelente	Grano astillado
	13.0	16.9	96	Excelente	Grano astillado

El análisis del ángulo de corte y número de marcas de cuchilla por centímetro en el cepillado de la madera de las cuatro especies estudiadas demuestran que los mejores resultados se producen al combinar un ángulo de corte pequeño con una baja velocidad de alimentación. El efecto de esta última es mayor, pues en las cuatro especies es clara la influencia del número de marcas de cuchilla por centímetro.

with an excellent and good classification came from a feeding speed of 7.5 m min⁻¹ (Table 6).

These outstanding results are explained, partly, by the high hardness of its timber which showed up as a reduction of the presence of splintered grain, which is fitted to what Davis specifies (1962).

On the other hand, some anatomical characteristics of the timber of *Q. scitophylla*, such as the straight thread and the diffuse porosity with few pores, oval and circular edges, of uniform medium tangential diameter make it right for good machining (Davis, 1962).

The analysis of the cutting angle and the number of blade marks per centimeter in the planing of the timber of the four species that were studied proved that the best results came

from combining a small cutting angle with a slow feeding speed. The effect of the latter is more important, as in the four species the influence of the blade marks per centimeter is clear.

In boring, the excellent result obtained for the four species (Table 7) can be explained by its hardness, density and straight thread, which counteracted the presence of compressed grain, the most common defect in this assay, only the fuzzy grain appeared with

En el barrenado, el excelente resultado obtenido para las cuatro especies (Cuadro 7) se puede atribuir a su dureza, densidad e hilo recto, los cuales contrarrestaron la presencia de grano comprimido, defecto más común en este ensayo; el grano apelmusado se presentó con poca severidad, sin influir en la calidad de la superficie de la perforación. La calidad del barrenado mejoró cuando la velocidad de penetración disminuyó al inicio del contacto entre la broca y la madera, y después se aumentó para reducirla nuevamente al final de la operación.

Para *Q. crassifolia*, los resultados coinciden con los mostrados por Flores y Fuentes (1998) y Flores (1990), quienes no observaron influencia de la velocidad de giro del portabrocas con las mismas velocidades de rotación que las probadas en el presente trabajo (Cuadro 7). Para *Q. laurina* se difiere en los clasificados como buenos por Flores (1991); mientras que para *Q. rugosa*, se concuerda con los resultados excelentes consignados por dicho autor.

poor severity without affecting the quality of the boring surface. Boring quality improved when the penetration speed lowered at the beginning of the contact between the drill bit and the timber, and later increased to reduce it again at the end of the operation.

For *Q. crassifolia*, results coincide with Flores and Fuentes (1998) and Flores (1990), who did not observe any influence of the spinning speed of the drill with the same rotation speeds that were proved in this research study (Table 7). For *Q. laurina* they differ in those classified as good by Flores (1991); while for *Q. rugosa*, there is a coincidence with the excellence results reported by the author

In the shaping assay, excellence results were produced, which can be explained by the small sizes of the wood test pieces, which avoided that the irregular thread linked to the presence of knots became evident, whose consequence is the presence of the splintered grain, defect that comes, mainly, by changing the

Cuadro 7. Calidad de barrenado de la madera de cuatro especies de encino.
Table 7. Boring quality for the timber of the four oak species.

Especie	Velocidad de giro	Tiempo efectivo	Velocidad de alimentación (m min ⁻¹)	Piezas	Clasificación	Defecto más frecuente
	de la broca (rpm)	de corte (s)		excelentes + buenas (%)		
<i>Q. crassifolia</i> Humb. & Bonpl.	1300	14.6	0.078	100	Excelente	Grano apelmusado
	2500	7.2	0.159	100	Excelente	Grano apelmusado
<i>Q. laurina</i> Humb. & Bonpl.	1300	14.0	0.082	100	Excelente	Grano apelmusado
	2500	7.1	0.161	100	Excelente	Ninguno
<i>Q. rugosa</i> Née	1300	14.5	0.079	100	Excelente	Grano apelmusado
	2500	7.3	0.157	100	Excelente	Grano apelmusado
<i>Q. scitophylla</i> Liebm.	1300	14.3	0.080	100	Excelente	Grano apelmusado
	2500	7.0	0.163	100	Excelente	Ninguno

En el ensayo de moldurado se produjeron resultados excelentes que se pueden explicar en función de las dimensiones reducidas de las probetas, lo cual evitó que se manifestara el hilo irregular asociado con la existencia de nudos, cuya consecuencia es la presencia severa del grano astillado, defecto suscitado principalmente al cambiar el corte de la dirección transversal a la longitudinal. Por otra parte, el grano apelmusado fue superficial y no incidió de manera negativa en la calidad, pues resultó más fuerte en el corte final de *Q. laurina* y *Q. scitophylla* que, pese a ello, tuvieron una calidad excelente de moldurado (Cuadro 8). Lo anterior, también se pueden adjudicar a la velocidad de giro (8 000 rpm), que implica una velocidad de corte de 628 m seg⁻¹ del cabezal porta-herramientas; ello contribuye a que el espesor de corte sea reducido, que en combinación con las características anatómicas y propiedades físico-mecánicas de la madera de las especies estudiadas determina que los resultados sean buenos.

cutting direction from crossed to longitudinal. On the other hand, the fuzzie grain was superficial and did not affect the quality in a negative way, as it became stronger in the final cut of *Q. laurina* and *Q. scitophylla* that, in spite of it, had an excellent shaping quality (Table 8). This can be attributed to the spinning speed (8 000 rpm), which implies a cutting speed 628 m sec⁻¹ of the tool-carrier; this helps to reduce the cutting thickness, which, combined with the anatomical and physical-mechanical properties of timber of the studied species, determines that results are good.

Flores and Fuentes (1998) obtained similar results to those summarized in Table 8 in regard to the previous cutting of *Q. crassifolia*; nevertheless, its classification for the final cutting was regular, while in this assay, it was excellent, which agrees with Flores (1990). In relation to *Q. laurina* and *Q. rugosa*, it is agreed upon the excellence classification by Flores (1991) for the same species.

In the turning assay, moisture content did not show a determining effect upon the quality of the turned surface, since in all the species results were excellent (Table 9), a condition that does not agree with Flores (1990), who stated that moisture content affected the quality of turning. For this study, the similar classification with both



Flores y Fuentes (1998) obtuvieron resultados semejantes a los resumidos en el Cuadro 8 respecto al corte preliminar de *Q. crassifolia*; no obstante, su clasificación para el corte final fue regular, mientras que en este trabajo fue excelente, lo que coincide con Flores (1990). En relación con *Q. laurina* y *Q. rugosa*, se concuerda con la excelente clasificación consignada por Flores (1991) para las mismas especies.

moisture contents might be due to the fact that both were high; 11 and 16% in average. In spite of having achieved an excellent turning quality with both moisture contents, with the smaller one the most common defect was the splintered grain, while with the higher, it was the fuzzied grain, which is easier to remove.

Cuadro 8. Calidad de moldurado de la madera de cuatro especies de encino.
Table 8. Shaping quality of timber of the four oak species.

Especie	Velocidad de giro	Tiempo efectivo	Velocidad de alimentación (m min ⁻¹)	Piezas	Clasificación	Defecto más frecuente
	de la fresa (rpm)	de corte (s)		excelentes + buenas (%)		
<i>Q. crassifolia</i> Humb. & Bonpl.	8 000P	8.3	2.91	86	Buena	Grano astillado
	8 000F	7.8	3.10	98	Excelente	Grano astillado
<i>Q. laurina</i> Humb. & Bonpl.	8 000P	8.0	3.02	94	Excelente	Grano astillado
	8 000F	7.7	3.14	98	Excelente	Grano astillado
<i>Q. rugosa</i> Néé	8 000P	8.1	2.98	92	Excelente	Grano astillado
	8 000F	7.5	3.22	98	Excelente	Grano astillado
<i>Q. scitophylla</i> Liebm.	8 000P	8.2	2.95	98	Excelente	Grano astillado
	8 000F	7.8	3.10	100	Excelente	Grano astillado

En el ensayo de torneado, el contenido de humedad no exhibió un efecto determinante en la calidad de la superficie torneada, ya que en todas las especies los resultados fueron excelentes (Cuadro 9), situación que no concuerda con lo señalado por Flores (1990), quien mencionó que el contenido de humedad afectó la calidad del torneado. Para este ensayo, la clasificación similar con ambos contenidos de humedad se puede deber a que éstos fueron elevados: en promedio de 11 y 16%. A pesar de que con ambos contenidos de humedad se logró un excelente torneado, con el menor contenido el defecto más frecuente fue el grano astillado; en tanto que, con el mayor fue el grano apelmusado, que es más fácil de eliminar.

The straight thread and the high hardness counteract the presence of the scratches defect in the four species and allowed to get excellent results in the sanding test (Table 10), in which the fuzzied grain appeared as the most frequent defect, even if it appeared in a rather small number of wood test pieces by species and in a very superficial way, which coincides with what Flores and Fuentes (1998), Flores (1990) and Flores (1991) reported for *Q. crassifolia*, *Q. laurina* and *Q. rugosa*.



Cuadro 9. Calidad de torneado de la madera de cuatro especies de encino.
Table 9. Turning quality of the timber of the four oak species.

Especie	Velocidad de giro	Tiempo efectivo	Contenido de Humedad (%)	Piezas	Clasificación	Defecto más frecuente
	de la fresa (rpm)	de corte (s)		excelentes + buenas (%)		
<i>Q. crassifolia</i> Humb. & Bonpl.	3270	14.4	11.0	96	Buena	Grano astillado
	3270	10.2	16.1	98	Excelente	Grano astillado
<i>Q. laurina</i> Humb. & Bonpl.	3270	13.8	10.9	100	Excelente	Grano astillado
	3270	9.9	16.0	100	Excelente	Grano astillado
<i>Q. rugosa</i> Néé	3270	14.3	11.0	94	Excelente	Grano astillado
	3270	9.7	16.1	98	Excelente	Grano astillado
<i>Q. scitophylla</i> Liebm.	3270	14.1	11.1	100	Excelente	Grano astillado
	3270	10.0	15.9	100	Excelente	Grano astillado

El hilo recto y la dureza alta contrarrestaron la presencia del defecto de rayones en las cuatro especies y permitió obtener resultados excelentes en la prueba de lijado (Cuadro 10), en la que surgió como defecto más frecuente el grano apelmusado, aunque en un



número de probetas muy reducido por especie y de forma muy superficial. Lo cual coincide con lo registrado para *Q. crassifolia*, *Q. laurina* y *Q. rugosa* por Flores y Fuentes (1998), Flores (1990) y Flores (1991).



Cuadro 10. Comportamiento de la madera de cuatro especies de encino al lijado.

Table 10. Behavior of the timber of the four oak species to sanding.

Especie	Velocidad de giro	Tiempo efectivo	Contenido de Humedad (%)	Piezas	Clasificación	Defecto más frecuente
	de la fresa (rpm)	de lijado (s)		excelentes + buenas (%)		
<i>Q. crassifolia</i> Humb. & Bonpl.	1 152	8.4	6.39	100	Buena	Grano astillado
<i>Q. laurina</i> Humb. & Bonpl.	1 152	8.5	6.45	100	Excelente	Grano astillado
<i>Q. rugosa</i> Née	1 152	8.6	6.18	100	Excelente	Grano astillado
<i>Q. scitophylla</i> Liebm	1 152	8.4	6.18	100	Excelente	Grano astillado

CONCLUSIONES

La mejor calidad de superficie de la madera en el cepillado se consiguió cuando se utilizó un número mayor de marcas de achilla por centímetro, lo cual implica una menor velocidad de alimentación. En cambio, el ángulo de corte no manifestó efecto alguno. La presencia de hilo irregular, por el contrario, afectó de manera negativa la calidad de la superficie cepillada.

La madera de las cuatro especies estudiadas mostró excelentes características de maquinado en las operaciones de torneado, taladrado, moldurado y lijado. La calidad de torneado no fue afectada por los dos contenidos de humedad probados.

Debido a su excelente comportamiento ante las máquinas y herramientas, la madera de las cuatro especies es apropiada para emplearse en la industria maderera para la elaboración de productos terminados con un mayor valor agregado: molduras, lambrines, parquet y muebles.

CONCLUSIONS

The best quality of timber surface in planing was obtained when there was used a higher number of blade marks per centimeter, which implies a small feeding speed. In contrast, the cutting angle did not show any effect at all. The presence of irregular thread, in contrast, affect in a negative way the quality of the planed surface.

The timber of the four species that were studies showed excellent machining in the turning, boring, shaping and sanding operations. The turning quality was not affected by the two moisture contents that were tested.

From its excellent behavior with machines and tools, the timber of the four species is right to be used in the wood industry for the manufacturing of final products with a higher added value: frames, wainscot, parquet flooring and furniture.

End of the English version

REFERENCIAS

- American Society for Testing and Materials (ASTM). 1992. Annual book of ASTM standards. Construction section 04 wood. ASTM-D1666-87 Standard methods for conducting machining test of wood and wood-base materials. Philadelphia, PA USA. pp. 260-279.
- Davis, E. M. 1962. Machining related characteristics of United States hardwoods. Tech. Bull. No. 1267. Washington, DC USA. 68 p.
- Flores G., E. 1991. Características de maquinado y comparación de dos aleaciones de acero de las achillas en el cepillado en tres especies de encino del estado de Guanajuato. Tesis Profesional. División de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, Edo. de Méx. México. 49 p.
- Flores V., R. 1990. Características de maquinado de cuatro especies maderables de encino del estado de Puebla. Tesis Profesional. División de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, Edo. de Méx. México. 65 p.
- Flores V., R. y M. E. Fuentes L. 1995. Características de maquinado de *Quercus affinis*, *Q. crassifolia*, *Q. glabrescens* y *Q. mexicana*. Folleto Científico No. 1. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Tlahuapan, Puebla. México. 14 p.
- Flores V., R. y M. E. Fuentes L. 1998. Estudio de maquinado de dos especies de encino (*Quercus affinis* y *Quercus crassifolia*) del estado de Guanajuato. In: Memoria de resúmenes del II Congreso Mexicano de Tecnología de Productos Forestales. Morelia, Mich. México. p. 23.
- Flores V., R., M. E. Fuentes L. y J. Quintanar O. 2001. Desafilado de sierras banda en el aserrío de encinos. Cien. For. en Méx. 26 (90):55-71.
- Flores V., R. y M. E. Fuentes L. 2002. Maquinado de la madera. In: Quintanar O., J. (ed). Características, propiedades y procesos de transformación de la madera de los encinos de México. INFAP-CRCE C. E. San Martinito. Tlahuapan, Puebla. México. Libro Técnico No. 2. pp. 178-195.
- Flores V., R., M. E. Fuentes L. y J. Quintanar O. 2002. Maquinado de dos especies de encino (*Quercus affinis*, y *Q. crassifolia*) del estado de Guanajuato. Cien. For. en Méx. 27(91): 55-65.
- Flores V., R., V. Rangel P., J. Quintanar O., M. E. Fuentes L. y L. Vázquez S. 2007. Calidad de maquinado de la madera de *Quercus affinis* y *Quercus laurina*. Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente 13(1): 41-46.

- Fuentes L., M. E., J. Quintanar O. y R. Flores V. 1998. Influencia de las propiedades físicas y mecánicas en el maquinado de dos especies de encino. *In: Memoria de resúmenes del II Congreso Mexicano de Tecnología de Productos Forestales*. Morelia, Mich. México. pp. 25.
- Herrera B., A. 1981. Avance en la determinación de las características de maquinado de cinco especies de encino que vegetan en México. *Rev. Cien. For. en Méx.* 6 (34):45-63.
- Honorato S., J. A. y M. E. Fuentes L. 2001. Propiedades físico-mecánicas de la madera de cinco especies de encino del estado de Guanajuato. *Rev. Cien. For. en Méx.* 26 (90):5-28.
- Quiñones O., J. y A. Herrera B. 1984. Potencialidad y utilización de los encinos en el norte del país. *Rev. Cien. For. en Méx.* 52 (9):3-10.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat). 2012. Anuario estadístico de la producción forestal 2011. Subsecretaría de Gestión para la Protección Ambiental. Dirección General de Gestión Forestal y de Suelos. México, D. F. México. 222 p.
- Torelli, N. 1982. Estudio promocional de 43 especies forestales tropicales mexicanas. Programa de Cooperación Científica y Técnica México-Yugoslavia. SARH. SFF. UEK. Tlaxuapan, Puebla. México. 73 p.
- Wengert, E. M. 1988. The wood's doctor RX. Department of Forest Products. Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, VA. USA. 378 p.

