



## TRABAJABILIDAD DE LA MADERA DE *Pinus oaxacana* Mirov. PROVENIENTE DE UNA PLANTACIÓN EN EL ESTADO DE MÉXICO

### WORKABILITY OF *Pinus oaxacana* Mirov. WOOD FROM A PLANTATION IN THE STATE OF MEXICO

Roberto Machuca-Velasco<sup>1\*</sup>; Amparo Borja-de la Rosa<sup>1</sup>;  
Emilio Morales- Villalba<sup>1</sup>; Rogelio Flores Velásquez<sup>2</sup>.

<sup>1</sup>Universidad Autónoma Chapingo, km 38.5 Carretera México-Texcoco, Chapingo, Estado de México. C. P. 56230.  
Correo-e: robertov@correo.chapingo.mx; rober19@hotmail.com.mx (\*Autor para correspondencia).

<sup>2</sup>Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. San Martínito, Puebla. México.

#### RESUMEN

La calidad de maquinado es diferente en cada especie, por tanto, es necesario conocer las características y propiedades que intervienen en este proceso, tales como; la estructura anatómica, contenido de humedad, densidad básica, velocidad de crecimiento, número de anillos de crecimiento por pulgada y dirección del grano. El objetivo de este trabajo fue determinar las características de los ensayos de cepillado, lijado, moldurado, torneado y barrenado en la madera de *Pinus oaxacana* Mirov. El material de estudio se obtuvo en la plantación localizada a un costado de la División de Ciencias Forestales de la Universidad Autónoma Chapingo. Los ensayos de maquinado, la evaluación de los defectos y clasificación se realizaron según la Norma ASTM-D 1666-87, con algunas modificaciones realizadas en función de la maquinaria y contenidos de humedad. En general, la madera de *P. oaxacana* fue clasificada como una especie con excelente trabajabilidad, exceptuando el ensayo de moldurado en el corte preliminar que fue clasificado como bueno. Este ensayo mejoró en el segundo corte, por lo tanto, la especie puede ser utilizada en la elaboración de productos con mayor valor agregado, por ejemplo; en puertas, ventanas, marcos, piezas torneadas, molduras, lambrín o recubrimientos y muebles en general.

Recibido: 12 de enero, 2012  
Aceptado: 2 de mayo, 2012  
doi: 10.5154/r.rchscfa.2012.01.001  
<http://www.chapingo.mx/revistas>

**PALABRAS CLAVE:** Pino, cepillado, lijado, moldurado, taladrado, torneado

#### ABSTRACT

Machining quality is different for each species and, as a result, it is necessary to know the characteristics and properties involved in this process, such as the anatomical structure, moisture content, specific gravity, growth rate, number of growth rings per inch, and grain direction. The aim of this study was to determine the machining properties of *Pinus oaxacana* Mirov. wood in planing, sanding, shaping, turning and boring tests. The test material was obtained in a plantation located on one side of the Universidad Autónoma Chapingo forestry department. Machining tests, defect evaluation and grading were performed as set out by ASTM-D 1666-87, with some modifications in terms of machinery and moisture contents. In general, *P. oaxacana* wood was graded as having excellent workability, except in the first shaping test cut where it was graded as good. This test result improved in the second cut. Therefore, the species can be used in the manufacture of finished products with higher value added, such as doors, windows, frames, turned parts, moldings, furring and furniture in general.

**KEY WORDS:** Pine, planing, sanding, shaping, boring, turning

#### INTRODUCCIÓN

En México las plantaciones forestales comerciales iniciaron en 1998. De las especies utilizadas en plantaciones comerciales *Pinus* spp. representa el 10 % (Consejo Civil Mexicano para la Silvicultura Sostenible [CCMSS], 2008), de tal modo, se puede decir que existe un gran potencial en el establecimiento de éstas, principalmente en las zonas tropicales. Las plantaciones forestales comerciales, pueden abastecer cada vez más de materia prima a la industria nacional, lo cual ayuda a reducir la presión ejercida

#### INTRODUCTION

Commercial forest plantations were first started in Mexico in 1998. Of the species used in commercial plantations, *Pinus* spp. accounts for 10 % of the total (Mexican Civil Council for Sustainable Forestry [CCMSS], 2008). It can thus be said that establishing such plantations has great potential, especially in the tropics. Commercial forest plantations can supply increasing amounts of raw material to the national industry, which helps reduce the pressure on natural forests. Therefore, wood forest product manu-

sobre los bosques naturales. Por lo tanto, los industriales de productos forestales maderables buscarán adecuar su industria a la materia prima proveniente de plantaciones (Martínez, 2003). Las plantaciones, generalmente, son de madera juvenil que se forma en los primeros años de vida del árbol presentando características anatómicas, propiedades físicas y mecánicas diferentes a la madera madura; debido a ello, el comportamiento ante las máquinas y herramientas es diferente. Por esta razón, es necesario realizar ensayos de maquinado en este tipo de madera, con el propósito de hacer un mejor aprovechamiento y uso adecuado para obtener un beneficio mayor desde el punto de vista económico y técnico (Zavala, 1976).

Existen varios factores que intervienen en la calidad de maquinado de la madera. Entre ellos se pueden considerar la velocidad de crecimiento, contenido de humedad, densidad básica, dirección de la fibra, velocidad de corte, número de cuchillas en el cabezal, ángulo de corte, velocidad de alimentación, profundidad de corte, velocidad de penetración, velocidad de giro, fricción entre la madera y el filo del elemento de corte, así como el tipo de broca para el taladrado (Koch, 1964, 1972; McKenzie, 1960, 1967). Davis (1960) encontró que para *Pinus ponderosa* y *Pseudotsuga menziesii*, el número de anillos de crecimiento por pulgada tiene un efecto mayor que la densidad básica, sobre las propiedades de maquinado. De igual manera Koch (1964) concluye que un ángulo de corte de 30° en las cuchillas es el más recomendable para cepillar maderas suaves y que una lijadora de banda produce más rayones y grano apeluado en la superficie de la madera maquinada, que una lijadora de tambor. Con relación al torneado concluye que se obtiene una calidad mejor de la superficie trabajada cuando el contenido de humedad de la madera es de 6 a 20 %. Mori y Hoshi (1964) mencionan el efecto del ángulo de corte, el desgaste del filo y calidad de acabado de la superficie en el cepillado. Ellos notaron que ángulos grandes producen acabados más pobres, mayores dificultades mecánicas y deforman más rápidamente el filo de las cuchillas. Por otro lado, Stewart (1970) comparó los resultados del cepillado realizado con cuchillas y con abrasivos, en función de la calidad de superficie de la madera. Encontró que la calidad de cepillado con cuchillas, generalmente, es mejor que con abrasivos. También concluyó que el incremento de la velocidad de alimentación en el cepillado con cuchillas, disminuye la calidad de la superficie. La mejor calidad se obtuvo en la madera cepillada de forma paralela al grano.

Con relación a los pinos nativos de México; Cruz y Borja (1995) mencionan que la madera de *Pinus cooperi* presenta un excelente comportamiento al cepillado con un ángulo de corte de cuchilla de 30°. No encontraron influencia del número de marcas de cuchilla por centímetro, y el barrenado fue excelente con un tiempo de penetración de 15.14 s. El moldurado fue clasificado como pobre debido a que las probetas presentaron un astillamiento severo, lo cual se atribuyó a las desviaciones del hilo y a la densidad media (0.42 g·cm<sup>-3</sup>) de la madera. El torneado

factures will seek to adapt their factory to the raw material from plantations (Martínez, 2003). In general, the plantations consist of juvenile wood formed in the first years of a tree's life, presenting anatomical, physical and mechanical properties different from mature wood. As a result, its behavior when subjected to machines and tools is different. For this reason, machining tests need to be conducted on this type of wood in order to make better and proper use of it, thereby obtaining greater benefits from an economic and technical standpoint (Zavala, 1976).

Several factors are involved in wood machining quality, including: growth rate, moisture content, specific gravity, fiber direction, cutting speed, number of knives in the cutter-head, cutting angle, feed rate, depth of cut, penetration speed, turning speed, friction between the wood and the cutting element edge, and the type of bit used for boring (Koch, 1964, 1972; McKenzie, 1960, 1967). Davis (1960) found that for *Pinus ponderosa* and *Pseudotsuga menziesii*, the number of growth rings per inch has a greater effect than specific gravity on machining properties. Similarly, Koch (1964) concludes that a 30° cutting angle in the knives is the most suitable for planing softwoods and that a belt sander produces more scratches and fuzzy grain on the surface of the machined wood than a drum sander. With regard to turning, Koch concludes that a better quality worked surface is obtained when wood moisture content is from 6 to 20 %. Mori and Hoshi (1964) mention the effect of cutting angle, edge wear and surface finishing quality on planing. They noted that large angles produce poorer finishes, cause major mechanical difficulties and deform the knife edge more quickly. On the other hand, Stewart (1970) compared the results of abrasive and knife planing in terms of wood surface quality. He found that knife planing generally produces higher-quality results than abrasive planing. He also concluded that increasing the feed rate in knife planing reduces surface quality. The best quality was obtained in wood planed parallel to the grain.

Regarding Mexico's native pines, Cruz and Borja (1995) mentioned that *Pinus cooperi* wood shows excellent behavior when sanded with a 30° knife cutting angle. They found no influence due to the number of knife marks per inch, and boring was excellent with a penetration time of 15.14 s. Shaping was graded as poor because the specimens showed severe chipping, which was attributed to grain deviations and the average density (0.42 g·cm<sup>-3</sup>) of the wood. Turning was graded as good, with the best results achieved with a moisture content of 14 % (American Society for Testing and Materials [ASTM], 1992).

Martínez and Martínez-Pinillos (1996) studied the machining of wood of *Pinus pseudostrobus* Lindl, *Pinus patula* Schlectendal and Cham and *Pinus teocote* Schlectendal and Cham. These authors evaluated planing and sanding using five specimens per species. Planing was graded as good in *P. pseudostrobus* and *P. patula*, and as excellent in *P. teocote*. The best results were obtained

fue clasificado como bueno; los mejores resultados se lograron cuando se tuvo un contenido de humedad de 14 % (American Society for Testing and Materials [ASTM], 1992).

Martínez y Martínez-Pinillos (1996) estudiaron el maquinado de la madera de *Pinus pseudostrobus* Lindl, *Pinus patula* Schlectendal and Cham y *Pinus teocote* Schlectendal and Cham. Estos autores evaluaron el cepillado y lijado utilizando cinco probetas por especie. El cepillado se clasificó como bueno en *P. pseudostrobus* y *P. patula*, y como excelente en *P. teocote*. Los mejores resultados se obtuvieron con el ángulo de 30°. El lijado se clasificó como excelente en las tres especies; los mejores resultados se obtuvieron con la lija número 100. En un segundo estudio; el barrenado y moldurado, se realizaron de acuerdo con la norma ASTM D 1666-87 (ASTM, 1992). El barrenado en *P. pseudostrobus* se clasificó como bueno, y como excelente en *P. patula* y *P. teocote*. En el caso del moldurado, las tres especies se clasificaron como excelentes (Martínez & Martínez-Pinillos, 1996a).

Borja-de la Rosa y Tamarit (1997) trabajaron con madera de *Pinus arizonica*. Ellos reportan que el cepillado es excelente cuando se utiliza un ángulo de corte de 20° y un número de 14.66 marcas de cuchilla por centímetro. El lijado y barrenado fueron excelentes; no obstante, se presentó el defecto del grano apelmusado. Para minimizar este daño, es recomendable que el primer contacto de la broca con la madera sea lento, y aumente cuando haya penetrado en la pieza, además de aplicar una mayor velocidad de giro. El moldurado se clasificó como regular, debido a la severidad del grano astillado, principalmente en el cambio de corte transversal al longitudinal. El torneado se clasificó como bueno cuando se tuvo un contenido de humedad del 14.5 %.

Malkoçoğlu y Özdemir (2005) evaluaron las propiedades de maquinado, de acuerdo con la norma ASTM D 1666-87 (ASTM, 1992), en *Pinus sylvestris* L. y *Picea orientalis*, especies de la región oriental del mar Negro de Turquía. Ellos reportan que en todos los ensayos, el comportamiento de la madera de *P. sylvestris* y *P. orientalis* fue excelente y bueno, respectivamente.

También se han realizado estudios considerando la potencia del corte en *Pinus radiata*. Se ha encontrado que el aumento del espesor de viruta está correlacionado a un aumento progresivo de los requerimientos de potencia de corte; la mayor rugosidad superficial está asociada también a una mayor demanda de éste (Aguilera y Vega, 2004). En la misma especie se estudiaron las velocidades de avance, las cuales influyen significativamente sobre la rugosidad superficial. A un incremento de éstas, se generan superficies de inferior calidad para velocidades de rotación constantes. Asimismo, se ensayaron diferentes alturas de corte, donde se pudo observar que en alturas de corte mayor, la rugosidad superficial es menor (Pardo, 2009).

with a 30° angle. Sanding was graded as excellent in the three species, with the best results obtained with number 100 sandpaper. In a second study, boring and shaping were carried out according to ASTM-D 1666-87 (ASTM, 1992). Drilling in *P. pseudostrobus* was graded as good, and as excellent in *P. patula* and *P. teocote*. As for shaping, the three species were graded as excellent (Martínez and Martínez-Pinillos, 1996a).

Borja-de la Rosa and Tamarit (1997) worked with *Pinus arizonica* wood. They report that planing is excellent when using a 20° cutting angle and 14.66 knife marks per centimeter. Sanding and boring were excellent; however, the fuzzy grain defect appeared. To minimize this damage, the bit's first contact with the wood should be slow, increasing it when it has penetrated the piece, as well as applying a higher turning speed. Shaping was graded as fair, due to the severity of the chipped grain, mainly in the change from cross to longitudinal cutting. Turning was graded as good when it had 14.5 % moisture content.

Malkoçoğlu and Özdemir (2005) evaluated machining properties, based on ASTM-D 1666-87 (ASTM, 1992), in *Pinus sylvestris* L. and *Picea orientalis*, species found in the eastern Black Sea region of Turkey. They report that in all tests, the behavior of *P. sylvestris* and *P. orientalis* wood was excellent and good, respectively.

Studies have also been conducted that examine cutting power requirements for *Pinus radiata*. It has been found that an increase in chip thickness is correlated to a progressive increase in cutting power requirements; greater surface roughness is also associated with increased power consumption (Aguilera and Vega, 2004). In the same species, feed rates, which have a significant effect on surface roughness, were studied. By increasing these, lower-quality surfaces for constant rotation speeds are generated. Also, different cutting heights were tested, revealing that surface roughness is less at greater cutting heights (Pardo, 2009).

The aim of this study was to determine the quality of *Pinus oaxacana* Mirov. wood from a plantation when subjected to the following machining operations: planing, sanding, shaping, turning and boring. Some of the factors considered in achieving this aim were the wood's technological characteristics, growth rate and vegetative development stage reached.

---

## MATERIALS AND METHODS

### Collection area

Planting of *P. oaxacana* was conducted in June 1979, at which time it was classified as *Pinus pseudostrobus* var. *oaxacana*. The wood was collected in the plantation located on one side of the forestry department at the Universidad Autónoma Chapingo, located at km. 38.5 of the Mexico City-

El objetivo de este trabajo fue determinar la calidad de la madera de *Pinus oaxacana* Mirov. proveniente de una plantación cuando fue sometida a las operaciones de maquinado: cepillado, lijado, moldurado, torneado y barronado. Algunos de los factores considerados para cumplir con dicho objetivo son las características tecnológicas, la velocidad de crecimiento y el desarrollo vegetativo que alcanza la madera.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Área de colecta

La plantación de *P. oaxacana* se realizó en junio de 1979, en ese entonces estaba clasificada como *Pinus pseudostrobus* var. *oaxacana*. La madera fue recolectada en la plantación localizada a un costado de la División de Ciencias Forestales de la Universidad Autónoma Chapingo, situada en el km 38.5 de la Carretera México-Texcoco, Chapingo, Estado de México (Figura 1 y 2). Esta zona se encuentra ubicada entre las coordenadas 19° 34' y 19° 22' de latitud norte; 98° 38' y 98° 56' de longitud oeste, a una altitud de 2,240 m. Presenta un clima templado subhúmedo, veranos lluviosos e inviernos secos, poca variación térmica, temperatura media anual de 15.9 °C, con una precipitación total anual de 608.2 mm (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática [INEGI], 2000), con suelos molisol y etisol, principalmente (Pedro y Cruz, 1992).

### Características de la especie

*P. oaxacana* se distribuye en las montañas entre los paralelos 16° 20' y 19° 58' de latitud norte en los estados de Chiapas, Estado de México, Guerrero, Oaxaca, Puebla, Tlaxcala, Veracruz e incluso se extiende hasta Guatemala y Honduras (Maldonado, 1984). Se conoce por los nombres comunes de pino, ocote, chamoile, mocohtaj. Es un árbol de 20 a 40 m de alto (Figura 2), con un diámetro prome-

Texcoco highway, Chapingo, State of Mexico (Figure 1 and 2). This area is located between 19° 34' and 19° 22' north latitude, and between 98° 38' and 98° 56' west longitude, at an altitude of 2,240 m. It has a temperate sub-humid climate, summer rains and dry winters, little temperature variation, a mean annual temperature of 15.9°, and total annual rainfall of 608.2 mm (National Institute of Statistics, Geography and Information [INEGI], with mainly mollisol and entisol soils (Pedro and Cruz, 1992).

### Species characteristics

*P. oaxacana* is distributed in the mountains between 16° 20' and 19° 58' north latitude in the states of Chiapas, State of Mexico, Guerrero, Oaxaca, Puebla, Tlaxcala, and Veracruz, and even extends into Guatemala and Honduras (Maldonado, 1984). It is known by the common names of pine, ocote, chamomile, and mocohtaj. It grows from 20 to 40 m high (Figure 2), with an average diameter of 90 cm. It is corpulent, with thick, cracked bark, cracked branches, a circular crown, and reddish or yellowish-brown whorled twigs, with a glaucous tinge and almost smooth texture. (Marconi, 1983).

### Obtaining of the test material

Four 22-year-old trees with characteristics and stems representative of the plantation were selected. They were sawn at the Universidad Autónoma Chapingo pilot sawmilling plant. The boards were placed under cover, dried at ambient temperature, and stabilized to 10 % moisture content. In the tests 50 specimens were used (Figure 3), prepared in accordance with the dimensions specified by ASTM-D 1666-87 (ASTM, 1992).

**Planing.** For this test, ASTM-D 1666-87 (ASTM, 1992) sets a moisture content (MC) of 6 %, but also indicates that another level can be used, provided it is specified. In this case, the test was conducted at 10 %



FIGURA 1. Ubicación geográfica del área de recolección de la madera de *P. oaxacana*.

FIGURE 1. Geographic location of the *P. oaxacana* wood collection area.



FIGURA 2. Área de recolección de la madera de *P. oaxacana*.

FIGURE 2. Collection area of the *P. oaxacana* wood.

dio de 90 cm, corpulento, de corteza gruesa y agrietada, ramas agrietadas, copa circular, y ramillas verticiladas; moreno rojizas o café amarillentas, con tinte glauco, casi lisas (Marconi, 1983).

**Obtención del material de ensayo**

Se eligieron cuatro árboles de 22 años de edad con características y fustes representativos de la plantación. Se aserraron en las instalaciones de la Planta Piloto de Aserrijo de la Universidad Autónoma Chapingo. Las tablas fueron colocadas bajo cubierta, secadas a temperatura ambiente, y estabilizadas a un contenido de humedad de 10 %. En los ensayos se utilizaron 50 probetas (Figura 3) elaboradas de acuerdo con las dimensiones especificadas por la norma ASTM D 1666-87 (ASTM, 1992).

**Cepillado.** Para este ensayo la norma ASTM D 1666-87 (ASTM, 1992) establece un contenido de humedad (CH) de 6 %, pero también indica que se puede utilizar otro, siempre y cuando sea especificado. En este caso, el ensayo se realizó a un CH de 10 %. Se utilizaron cuatro cuchillas con un ángulo de corte de 30, 25, 20 y 15°, en combinación con dos velocidades de alimentación de 7.5 m·min<sup>-1</sup> y 13 m·min<sup>-1</sup>. Se obtuvieron 29.33 y 16.92 marcas de cuchilla por centímetro (NMC), que fueron diferentes a las especificadas por la norma. El ángulo de 30° es el predominante en los cepillos comerciales, no sucede lo mismo con los ángulos de 25, 20 y 15°; para obtenerlos fue necesario hacer un bisel en las cuchillas. El NMC se determinó con la siguiente fórmula:

Donde:

- NMC = Número de marcas de cuchillas por cm
- Vc = Velocidad del cabezal porta cuchillas (rpm)
- Nc = Número de cuchillas en el cabezal
- Va = Velocidad de alimentación (m·min<sup>-1</sup>)

**Lijado.** Se utilizó una lijadora de banda, ejerciendo una presión constante sobre el cojín opresor de 4.575 kg, en lugar de una lijadora de tambor como lo especifica la norma. Las lijas utilizadas fueron del número 80 y 100 con grano de granate. Para calcular la velocidad lineal de lijado se usó la siguiente fórmula:

Donde:

- VL= Velocidad lineal (m·s<sup>-1</sup>)
- L = Longitud (m)
- TEL= Tiempo efectivo de lijado (s)

**Moldurado.** Este ensayo se realizó en condiciones de humedad de 9.7 %, velocidad de giro del cabezal portafresas



**FIGURA 3. Tipos y dimensiones de las probetas utilizadas en los ensayos de trabajabilidad: 1) cepillado y lijado (2 cm x 10 cm x 90 cm o ¾" x 4" x 36"); 2) Torneado (2 cm x 7.5 cm x 30 cm o ¾" x 3" x 12"); 3) moldurado y barrenado (2 cm x 2 cm x 12.5 cm o ¾" x ¾" x 5").**

**FIGURE 3: Types and dimensions of specimens used in the workability tests: 1) planing and sanding (2 cm x 10 cm x 90 cm or ¾" x 4" x 36"); 2) Turning (2 cm x 7.5 cm x 30 cm or ¾" x 3" x 12"); 3) shaping and boring (2 cm x 2 cm x 12.5 cm or ¾" x ¾" x 5").**

MC. Four knives with a cutting angle of 30, 25, 20 and 15°, in combination with two feed rates of 7.5 m·min<sup>-1</sup> and 13 m·min<sup>-1</sup>, were used, and 29.33 and 16.92 knife marks per centimeter (NKM), which differed from those specified by the standard, were obtained. The 30° angle is predominant in commercial planers, which is not the case with the 25, 20 and 15° angles; in order to obtain them, it was necessary to make a bevel on the knives. The NKM was determined using the following formula:

Where:

- NKM = Number of knife marks per centimeter
- Cs = Cutter-head speed (rpm)
- Nk = Number of knives in the cutter-head
- Fr = Feed rate (m min<sup>-1</sup>)

**Sanding.** A belt sander, exerting constant pressure of 4.575 kg on the sanding pad, was used rather than a drum sander as specified by the standard. Number 80 and 90 sandpapers with garnet grit were used. To calculate the linear sanding speed, the following formula was used:

Where:

- LS = Linear speed (m·s<sup>-1</sup>)
- L = Length (m)
- EST = Effective sanding time (s)

**Shaping.** This test was conducted under the following conditions: 9.7 % moisture content, a spindle speed of

de 8000 rpm y un tiempo promedio de moldurado de 3.87 s. Con estas variables se obtuvo una velocidad periférica de  $62.83 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ , la cual se encuentra dentro del rango para maderas suaves ( $60\text{-}90 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ) utilizando fresas con aspas de carburo de tungsteno (Alekseev, 1964). La velocidad de alimentación se calculó mediante la siguiente fórmula:

Donde:

VA = Velocidad de alimentación ( $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ )

L = Longitud de la pieza (m)

TEC = Tiempo efectivo de corte (s)

La velocidad periférica se calculó con la siguiente fórmula:

Donde:

Vp = Velocidad periférica ( $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ )

D = Diámetro de la fresa (m)

Vr = Velocidad de rotación

**Barrenado.** Las velocidades de giro del cabezal fueron de 1,300 y 2,500 rpm en lugar de 3,600 rpm como la norma recomienda. El contenido de humedad fue de 9.7 %. El tiempo promedio de penetración a una velocidad de giro de 1,300 rpm fue de 5.12 s, y de 4.78 s para 2,500 rpm. En cada velocidad de giro del cabezal se usaron 25 probetas. La velocidad de alimentación se calculó con la siguiente fórmula:

Donde:

VA = Velocidad de alimentación ( $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ )

E = Espesor de la pieza (m)

TEC = Tiempo efectivo de corte (s)

**Torneado.** De acuerdo con la norma, este ensayo se debe realizar con dos contenidos de humedad: 6 y 12 %. En este caso los contenidos de humedad fueron de 9.7 y 13.3 %, a una velocidad de rotación del cabezal de 3,270 rpm. Con estas variables se obtuvo un tiempo promedio de torneado de 3.87 s. La velocidad de alimentación se calculó con la fórmula indicada para el ensayo de moldurado.

### Evaluación de defectos

La evaluación de los resultados se realizó según lo indica la norma ASTM D-1966-87 (ASTM, 1992), la cual considera los siguientes defectos: grano astillado, grano apelmusado, grano levantado, marcas de astilla, grano rasgado, grano comprimido y rayones. La evaluación de la calidad de trabajabilidad se realizó con base en la presencia y severidad de los defectos señalados; examinando

8,000 rpm and an average shaping time of 3.87 s. With these variables a peripheral speed of  $62.83 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ , which is within the range for softwoods ( $60\text{-}90 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ), was obtained using cutters with tungsten carbide blades (Alekseev, 1964). Feed rate was calculated using the following formula:

Where:

FR = Feed rate ( $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ )

L = Length of the piece (m)

ECT = Effective cutting time

Peripheral speed was calculated with the following formula:

Where:

Ps = Peripheral speed ( $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ )

D = Diameter of the cutter (m)

Rs = Rotation speed

**Boring.** Cutter-head rotation speeds were 1,300 and 2,500 instead of 3,600 rpm as the standard recommends. Moisture content was 9.7 %. Average penetration time at a rotation speed of 1,300 rpm was 5.12 s, and 4.78 s for 2,500 rpm. At each cutter-head speed, 25 specimens were used. Feed rate was calculated with the following formula:

Where:

FR = Feed rate ( $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ )

T = Thickness of the piece (m)

ECT = Effective cutting time (s)

**Turning.** According to the standard, this test must be performed with 2 moisture contents: 6 and 12 %. In this case the moisture contents were 9.7 and 13.3 %, at a cutter-head speed of 3,270 rpm. With these variables an average turning time of 3.87 s was obtained. Feed rate was calculated with the formula given for the shaping test.

### Evaluation of defects

The evaluation of results was performed as indicated by ASTM-D 1966-87 (ASTM, 1992), which considers the following defects: chipped grain, fuzzy grain, raised grain, chip marks, torn grain, compressed grain and scratches. The evaluation of workability quality was performed based on the presence and severity of the defects identified, by examining the specimens visually and classifying them

las probetas de forma visual y clasificándolas en cinco categorías (Cuadro 1).

La calidad de trabajabilidad de la madera se determinó mediante la suma del porcentaje de piezas excelentes (E) y buenas (B) (Cuadro 2), excepto en el ensayo de torneado, donde se incluye además, el porcentaje de probetas clasificadas como regulares.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Cepillado

En el Cuadro 3 se presentan los resultados del cepillado. En general, se obtuvieron excelentes resultados en las probetas clasificadas como buenas. Los defectos más frecuentes fueron el grano apelmusado (Figura 4) y el grano astillado que se presentan en todos los ángulos y en la mayoría de las probetas de manera superficial. Esto puede atribuirse a los defectos naturales de la madera como los nudos y bolsas de resina que no pudieron eliminarse del todo en las probetas ensayadas, los cuales ocasionan una desviación del hilo de la madera. El defecto más frecuente

**CUADRO 1. Evaluación de defectos en las muestras ensayadas de *P. oaxacana*.**

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

Fuente: ASTM D-1966-87 (ASTM, 1992)

**CUADRO 2. Clasificación de la trabajabilidad de la madera.**

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

Fuente: ASTM D 1966-87 (ASTM, 1992). E: Probetas excelentes, B: Probetas buenas.

into five categories (Table 1).

The workability quality of the wood is determined by adding the percentage of excellent (E) and good (G) pieces, except in the turning test, where the percentage of specimens classified as fair is also included.

## RESULTS AND DISCUSSION

### Planing

Table 3 shows the planing results. In general, excellent results were obtained in the specimens classified as good. The most common defects were fuzzy grain (Figure 4) and chipped grain, occurring at all angles and superficially in most specimens. This can be attributed to natural wood defects such as knots and resin pockets that could not be eliminated entirely in the specimens tested, causing a deviation in the wood grain. The most common and superficial defect in planing against the thread was fuzzy grain, which is also attributed to grain deviation.

**TABLE 1. Evaluation of defects in the tested *P. oaxacana* samples.**

Grade	Condition	Description
1	Excellent	Defect-free.
2	Good	With surface defects that can be removed with number 100 sandpaper.
3	Fair	With marked defects that can be removed using number 60 coarse sandpaper and then number 100 fine sandpaper.
4	Poor	With severe defects that require working the piece of wood again to remove them.
5	Very poor	With very severe defects that require cleaning the piece of wood to remove them.

Source: ASTM-D 1966-87 (ASTM, 1992).

**TABLE 2. Grading of the workability of the wood.**

E + G (%)	Grade
90-100	Excellent
80-89	Good
60-79	Fair
40-59	Poor
0-40	Very poor

Source: ASTM-D 1966-87 (ASTM, 1992). E: Excellent specimens, G: Good specimens.

**CUADRO 3. Calidad superficial del cepillado de la madera de *P. oaxacana*.**

CH (%)	AC (°)	VA (m·min <sup>-1</sup> )	NMC·cm <sup>-1</sup>	E + B (%)	DMF	Clasificación
9.68	15	7.5	29.33	100	Grano apelsado	Excelente
		13.0	16.92	100	Grano apelsado	Excelente
	20	7.50	29.33	100	Grano apelsado	Excelente
		13.0	16.92	100	Grano apelsado	Excelente
	25	7.50	29.33	94	Grano apelsado	Excelente
		13.0	16.92	98	Grano apelsado	Excelente
30	7.50	29.33	100	Grano apelsado	Excelente	
	13.0	16.92	100	Grano apelsado	Excelente	

CH: Contenido de humedad, AC: Ángulo de corte, VA: Velocidad de alimentación, NMC·cm<sup>-1</sup>: Número de marcas de cuchilla por cm, E + B: Probetas excelentes + probetas buenas, DMF: Defecto más frecuente.

**TABLE 3. Planing quality of *P. oaxacana* wood.**

MC (%)	CA (°)	FR (m·min <sup>-1</sup> )	NKM·cm <sup>-1</sup>	E + G (%)	MCD	Grade
9.68	15	7.5	29.33	100	Fuzzy grain	Excellent
		13.0	16.92	100	Fuzzy grain	Excellent
	20	7.50	29.33	100	Fuzzy grain	Excellent
		13.0	16.92	100	Fuzzy grain	Excellent
	25	7.50	29.33	94	Fuzzy grain	Excellent
		13.0	16.92	98	Fuzzy grain	Excellent
30	7.50	29.33	100	Fuzzy grain	Excellent	
	13.0	16.92	100	Fuzzy grain	Excellent	

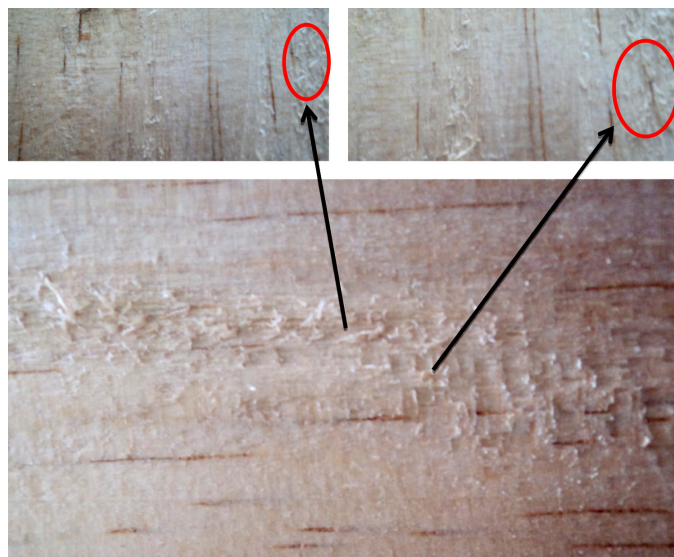
MC: Moisture content, CA: Cutting angle, FR: Feed rate, NKM.cm-1: Number of knife marks per cm, E + G: Excellent and good specimens, MCD: Most common defect.

y superficial en el cepillado contra el hilo, fue el grano apelsado, que se atribuye también a la desviación del hilo.

Los resultados obtenidos con respecto al ángulo de corte coinciden con los reportados por Cruz y Borja (1995), Koch (1964), Malkoçoğlu y Özdemir (2005), Martínez y Martínez-Pinillos (1996), Zavala (1976). Estos autores recomiendan que se utilice un ángulo de 30° para obtener mejores resultados en el cepillado de maderas suaves o blandas, lo cual se puede atribuir a que la densidad básica de la madera es moderadamente liviana (0.40 g·cm<sup>-3</sup>) (Martínez, 2003). Sin embargo, estos resultados difieren con Borja-de la Rosa y Tamarit (1997) quienes encontraron los mejores resultados con un ángulo de 20°.

### Lijado

El ensayo de lijado se clasificó como excelente. Sólo el 14 % del total de las probetas presentó el defecto de grano apelsado de manera muy superficial, principalmente por la desviación del hilo, pero no afectó la calidad de manera significativa (Cuadro 4). Este comportamiento se puede atribuir a que la madera de *P. oaxacana* presenta una textura que va de fina a media; el hilo es recto. Los resultados coinciden con los reportados por Cruz y Borja (1995) para *P. cooperi*, Martínez y Martínez-Pinillos (1996) para *P. patula*, *P. pseudostrobus* y *P. teocote*, Borja-de



**FIGURA 4. Presencia de grano apelsado en la probeta del ensayo de cepillado de *P. oaxacana*.**

**FIGURE 4. Presence of fuzzy grain in test tube of the planing test of *P. oaxacana*.**

The results obtained with respect to cutting angle are consistent with those reported by Cruz and Borja (1995), Koch (1964), Malkoçoğlu and Özdemir (2005), Martínez and Martínez-Pinillos (1996), and Zavala (1976). These



**CUADRO 4. Calidad superficial del lijado de la madera de *P. oaxacana*.**

CH (%)	No. lija	TEL (s)	VL (m·min <sup>-1</sup> )	E + B (%)	DMF	Clasificación
9.68	80	11.43	4.80	100	Grano apelsado	Excelente
	100	11.11	4.93	100	Grano apelsado	Excelente

CH: Contenido de humedad, TEL: Tiempo efectivo de lijado, VL: Velocidad de lijado, E + B: Probetas excelentes + probetas buenas, DMF: Defecto más frecuente.

**TABLE 4. Sanding quality of *P. oaxacana* wood.**

MC (%)	Sandpaper No.	EST (s)	SS (m·min <sup>-1</sup> )	E + G (%)	MCD	Grade
9.68	80	11.43	4.80	100	Fuzzy grain	Excellent
	100	11.11	4.93	100	Fuzzy grain	Excellent

MC: Moisture content, EST: Effective Sanding Time (s), SS: Sanding speed, E + G: Excellent and good specimens, MCD: Most common defect

la Rosa y Tamarit (1997) para *P. arizonica*, y con los de Malkoçoğlu y Özdemir (2005) para *P. sylvestris*. Sin embargo, difiere de lo reportado por Zavala (1976) quien menciona que en maderas blandas, los rayones ocasionados por la lija se acentúan.

**Moldurado**

En el Cuadro 5 se muestra la calidad superficial del moldurado. En el corte preliminar fue clasificada como buena; el defecto más frecuente fue el grano rasgado. Éste se manifestó con intensidad mayor en 20 % de las probetas trabajadas al momento de realizar el cambio del corte transversal a longitudinal. Lo anterior se puede atribuir a la densidad moderadamente liviana de la especie, donde la flexibilidad y la capacidad de adhesión entre fibras es menor, ocasionando que en lugar de cortar se produzca un desprendimiento de grandes astillas. Asimismo, se observó que al realizar el moldurado en el sentido longitudinal y diagonal al hilo de la madera; la presencia y severidad de los defectos es nula, por tanto, la calidad aumenta logrando mejores resultados. Sin embargo, en el corte final se obtu-

authors recommend using a 30° angle for best results in planing softwoods, which can be attributed to the moderately light density of the wood (0.40 g cm<sup>-3</sup>) (Martínez, 2003). However, these results differ from those of Borja-de la Rosa and Tamarit (1997) who found the best results with a 20° angle.

**Sanding**

The sanding test was graded as excellent. Only 14 % of the specimens showed the fuzzy grain defect, mainly due to grain deviation, and only in a superficial manner which did not significantly affect the quality (Table 4). This behavior is attributable to the fact that the texture of *P. oaxacana* wood ranges from fine to medium; the grain is straight. The results agree with those reported by Cruz and Borja (1995) for *P. cooperi*, Martínez and Martínez-Pinillos (1996) for *P. patula*, *P. pseudostrobus* and *P. teocote*, and with those of Malkoçoğlu and Özdemir (2005) for *P. sylvestris*. However, they differ from those reported by Zavala (1976) who notes that in softwoods, scratches caused by sanding are accentuated.

**CUADRO 5. Calidad superficial del moldurado de la madera de *P. oaxacana*.**

Corte	RPM	TEC (s)	VA (m·min <sup>-1</sup> )	E + B (%)	DMF	Clasificación
Preliminar	8000	4.21	1.10	80	Grano rasgado	Buena
Final	8000	3.87	1.20	100	Grano rasgado	Excelente

RPM: Revoluciones por minuto de la fresa, TEC: Tiempo efectivo de corte, VA: Velocidad de alimentación, E + B: Probetas excelentes + probetas buenas, DMF: Defecto más frecuente.

**TABLE 5. Shaping quality of *P. oaxacana* wood.**

Cut	RPM	ECT (s)	FR (m·min <sup>-1</sup> )	E + G (%)	MCF	Grade
Preliminary	8000	4.21	1.10	80	Torn grain	Good
Final	8000	3.87	1.20	100	Torn grain	Excellent

RPM: Revolutions per minute of the cutter, ECT: Effective cutting time, FR: Feed rate, E + G: Excellent and good specimens, MCD: Most common defect.

vieron resultados excelentes, debido a que se contrarrestó el defecto de astillado en el cambio de corte ya mencionado. Esta modificación aumentó considerablemente la calidad de las piezas trabajadas, ya que en la mayoría de las probetas se eliminó por completo el defecto. Sin embargo, el grano rasgado siguió presentándose de manera muy superficial sin afectar la calidad del moldurado en el corte transversal de la pieza (Cuadro 5). El resultado obtenido no coincide con el de Borja-de la Rosa y Tamarit (1997) en *P. arizonica*, ya que reportan este ensayo como regular; ni con Cruz y Borja (1995) en *P. cooperi*, quienes lo clasifican como un moldurado pobre. Por otra parte coincide con Martínez y Martínez-Pinillos (1996) en *P. patula*, *P. pseudostrobus* y *P. teocote*, y con Malkoçoğlu y Özdemir (2005) en *P. sylvestris*.

### Barrenado

En el Cuadro 6 se presentan los resultados del barrenado, los cuales indican que la calidad fue excelente. El defecto más frecuente fue el grano rasgado (Figura 5), el cual no influyó en la calidad de la superficie trabajada. Este resultado se puede atribuir a la gran cantidad de madera temprana presente en la probeta.

La calidad del barrenado se mejora al disminuir la velocidad de penetración de la broca, en la entrada y salida de la madera. En este ensayo, la velocidad influye en forma determinante ya que si ésta es alta, la severidad del defecto aumenta (Zavala, 1976).

Los excelentes resultados se pueden atribuir a la combinación de la velocidad de penetración utilizada y a la densidad básica (moderadamente liviana) de *P. oaxa-*

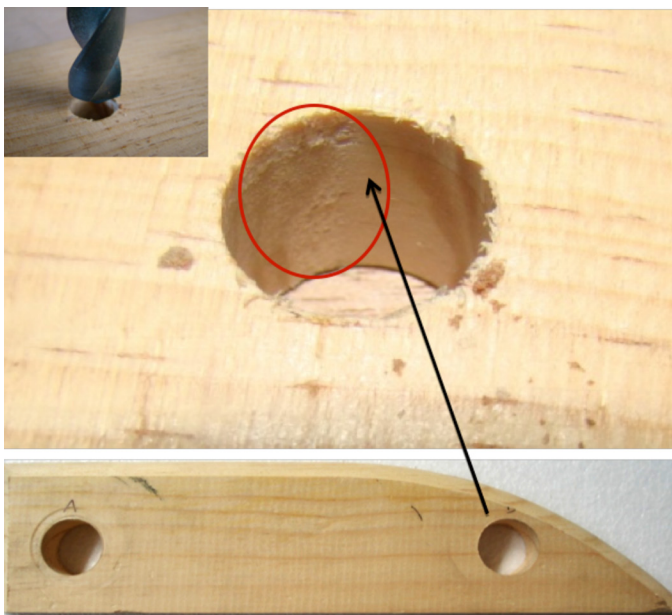


FIGURA 5. Presencia de grano rasgado en probetas del ensayo de barrenado en *P. oaxacana*.

FIGURE 5. Presence of torn grain in *P. oaxacana* specimens used in the boring test.

### Shaping

Table 5 shows the shaping results. In the preliminary cut it was graded as good, with the most common defect being torn grain, which occurred with greater intensity in 20 % of the specimens worked at the time of changing from the cross-sectional to longitudinal cut. This can be attributed to the moderately light density of the species, where the flexibility and adhesion capability between fibers is lower, resulting in the detachment of large chips rather than cutting. It was also noted that when carrying out the shaping in the longitudinal and diagonal direction to the wood grain, the presence and severity of the defects is zero, thereby increasing the quality and achieving better results. However, the results in the final cut were excellent because the chipping defect in the aforementioned cutting change was offset. This modification considerably increased the quality of the pieces worked, since in most specimens the defect was completely eliminated. However, the torn grain continued appearing superficially without affecting the shaping quality in the cross-section of the piece (Table 5). The result obtained does not coincide with that of Borja-de la Rosa and Tamarit (1997) in *P. arizonica*, since they report this test result as fair; neither does it coincide with the results reported by Cruz and Borja (1995) in *P. cooperi*, who grade its shaping quality as poor. On the other hand, it coincides with the results reported by Martínez and Martínez-Pinillos (1996) in *P. patula*, *P. pseudostrobus* and *P. teocote*, and with Malkoçoğlu and Özdemir (2005) in *P. sylvestris*.

### Boring

Table 6 shows the boring results, which indicate that the quality was excellent. The most common defect was torn grain (Figure 5), which did not influence the quality of the worked surface. This result can be attributed to the large amount of early wood present in the specimen.

Boring quality is improved by decreasing the bit's penetration rate when entering and leaving the wood. In this test, speed has a decisive impact because if it is high, the severity of the defect increases (Zavala, 1976).

The excellent results can be attributed to the combination of the penetration rate used and the specific gravity (moderately light) of *P. oaxacana*, since the bit must cut rather than tear, thereby preventing the wood from burning as a result of increased boring time. The results obtained coincide with those of Cruz and Borja (1995) for *P. cooperi*, Martínez and Martínez-Pinillos (1996) for *P. patula* and *P. teocote*, and with Malkoçoğlu and Özdemir (2005) for *P. sylvestris*.

### Turning

Turning results are shown in Table 7. Moisture content did not have a determining effect on surface quality, since for both contents (9.7 and 13.13 %), the specimens

**CUADRO 6. Calidad superficial del barrenado de la madera de *P. oaxacana*.**

CH (%)	RPM	TEC (s)	VA (m·min <sup>-1</sup> )	E + B (%)	DMF	Clasificación
9.68	1300	5.12	0.22	100	Grano rasgado	Excelente
	2500	4.78	0.24	100	Grano rasgado	Excelente

CH: Contenido de humedad, RPM: Revoluciones por minuto de la broca, TEC: Tiempo efectivo de corte, VA: Velocidad de alimentación, E + B: Probetas excelentes + probetas buenas, DMF: Defecto más frecuente.

**TABLE 6. Boring quality of *P. oaxacana* wood.**

MC (%)	RPM	ECT (s)	FR (m·min <sup>-1</sup> )	E + G (%)	MCD	Grade
9.68	1300	5.12	0.22	100	Torn grain	Excellent
	2500	4.78	0.24	100	Torn grain	Excellent

MC: Moisture content, RPM: Revolutions per minute of the drill bit, ECT: Effective cutting time, FR: Feed rate, E + G: Excellent and good specimens, MCD: Most common defect.

**CUADRO 7. Calidad superficial del torneado de la madera de *P. oaxacana*.**

CH (%)	RPM	TEC (s)	E + B + R (%)	DMF	Clasificación
9.68	3270	5.50	100	Grano astillado	Excelente
16.55	3270	3.99	100	Grano astillado	Excelente

CH: Contenido de humedad, RPM: Revoluciones por minuto del cabezal porta-herramientas, TEC: Tiempo efectivo de corte, E + B + R: Probetas excelentes + probetas buenas + probetas regulares, DMF: Defecto más frecuente.

**TABLE 7. Turning quality of *P. oaxacana* wood.**

MC (%)	RPM	ECT (s)	E + G + F (%)	MCD	Grade
9.68	3270	5.50	100	Chipped grain	Excellent
16.55	3270	3.99	100	Chipped grain	Excellent

MC: Moisture content, RPM: Revolutions per minute of the cutter-head, ECT: Effective cutting time, E + G + F: Excellent + good + fair specimens, MCD: Most common defect.

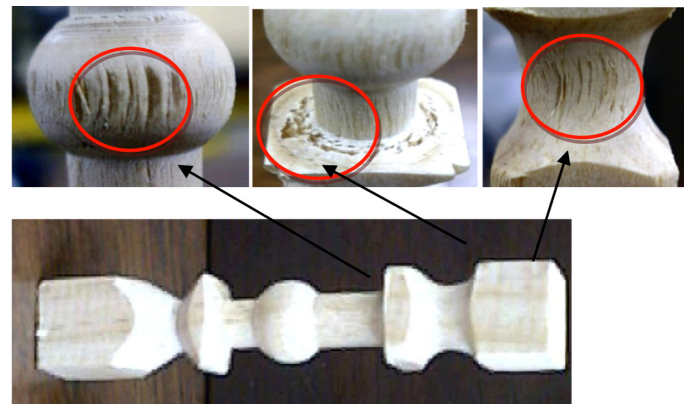
*cana*, pues la broca debe cortar en lugar de rasgar, y así evitar que la madera se quemé como efecto de un tiempo mayor de barrenado. Los resultados obtenidos coinciden con los de Cruz y Borja (1995) para *P. cooperi*, Martínez y Martínez-Pinillos (1996) para *P. patula* y *P. teocote*, Borja-dela Rosa y Tamarit (1997) para *P. arizonica*, y con Malkoçoğlu y Özdeir (2005) para *P. sylvestris*.

**Torneado**

Los resultados del torneado se muestran en el cuadro 7. El contenido de humedad no mostró un efecto determinante en la calidad de la superficie, ya que para ambos contenidos (9.7 y 13.13 %), las probetas presentaron una calidad de mínima a regular. La suma de las probetas excelentes, buenas y regulares, dio como resultado una clasificación excelente.

El defecto más frecuente fue el grano rasgado, con una severidad considerable en el corte transversal de las probetas. En la sección longitudinal se presentó el grano astillado de manera significativa, tal como se ilustra en la Figura 6.

Los resultados de este ensayo difieren de los obtenidos por Cruz y Borja (1995) en *P. cooperi*, y Borja y



**FIGURA 6. Defecto de grano astillado en la probeta de *P. oaxacana*, en el ensayo de torneado.**

**FIGURE 6. Chipped grain defect in the *P. oaxacana* specimen used in the turning test.**

showed a minimum to fair quality. The sum of the excellent, good and fair samples resulted in an excellent grading.

The most common defect was torn grain, with considerable severity in the cross-section of the specimens. In the longitudinal section, chipped grain was present in a significant manner, as shown in Figure 6.

The results of this trial differ from those obtained

Tamarit (1997) en *P. arizonica*, quienes señalan que el contenido de humedad influye en la calidad del torneado de manera significativa. A un contenido bajo de humedad, las traqueidas son más rígidas, por tanto, ofrecen resistencia mayor a ser cortadas por la cuchilla. En consecuencia, la severidad de los defectos se incrementa, principalmente el grano astillado, de tal forma que se obtiene un resultado mejor a un contenido de humedad mayor, coincidiendo con Malkoçoğlu y Özdemir (2005) quienes reportan un excelente torneado para *P. sylvestris*.

Finalmente, en el Cuadro 8 se puede observar que *P. oaxacana* se clasifica en todos los ensayos como excelente, comparado con otras especies del género *Pinus* sp. y con una especie del género *Quercus* sp.,

by Cruz and Borja (1995) in *P. cooperi*, and by Borja and Tamarit (1997) in *P. arizonica*, who indicate that moisture content significantly influences turning quality. At low moisture contents, tracheids are more rigid and therefore offer greater resistance to being cut by the knife. Consequently, the severity of the defects, mainly chipped grain, increases, so that a better result is obtained at higher moisture content, coinciding with Malkoçoğlu and Özdemir (2005) who report excellent turning for *P. sylvestris*.

Finally, Table 8 shows that *P. oaxacana* is graded in all trials as excellent, compared with other species of the genus *Pinus* sp. and with a species of the genus *Quercus* sp., which means it is a species with suitable machining characteristics.

CUADRO 8. Comparación de la calidad de maquinado de la madera de *P. oaxacana* con otras especies.

Ensayo	Especie						
	<i>Pinus oaxacana</i>	<i>Pinus arizonica</i> <sup>1</sup>	<i>Pinus cooperi</i> <sup>2</sup>	<i>Pinus patula</i> <sup>3</sup>	<i>Pinus pseudostrabus</i> <sup>3</sup>	<i>Pinus teocote</i> <sup>3</sup>	<i>Quercus affinis</i> <sup>4</sup>
Cepillado	Excelente	Excelente	Excelente	Buena	Buena	Excelente	Bueno
Lijado	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente
Barrenado	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente	Buena	Excelente	Excelente
Moldurado	Excelente	Bueno	Pobre	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente
Torneado	Excelente	Bueno	Bueno				Bueno

<sup>1</sup>Borja y Tamarit (1997), <sup>2</sup>Cruz y Borja (1995), <sup>3</sup>Martínez y Martínez-Pinillos (1996), <sup>4</sup>Flores-Velázquez, Rangel Piñon, Quintanar-Olgín, Fuentes-López, y Velázquez-Silva (2007).

TABLE 8. Comparison of the machining quality of wood of *P. oaxacana* with other species.

Test	Species						
	<i>Pinus oaxacana</i>	<i>Pinus arizonica</i> <sup>1</sup>	<i>Pinus cooperi</i> <sup>2</sup>	<i>Pinus patula</i> <sup>3</sup>	<i>Pinus pseudostrabus</i> <sup>3</sup>	<i>Pinus teocote</i> <sup>3</sup>	<i>Quercus affinis</i> <sup>4</sup>
Planing	Excellent	Excellent	Excellent	Good	Good	Excellent	Good
Sanding	Excellent	Excellent	Excellent	Excellent	Excellent	Excellent	Excellent
Boring	Excellent	Excellent	Excellent	Excellent	Good	Excellent	Excellent
Shaping	Excellent	Good	Poor	Excellent	Excellent	Excellent	Excellent
Turning	Excellent	Good	Good				Good

<sup>1</sup>Borja-de la Rosa y Tamarit (1997), <sup>2</sup>Cruz y Borja (1995), <sup>3</sup>Martínez y Martínez-Pinillos (1996), <sup>4</sup>Flores-Velázquez, Rangel Piñon, Quintanar-Olgín, Fuentes-López, and Velázquez-Silva (2007).

lo cual significa que es una especie con características apropiadas en el maquinado.

### CONCLUSIONES

En general, la trabajabilidad de la madera de *P. oaxacana* se clasificó como excelente, con excepción del moldurado en el corte preliminar, donde fue clasificado como bueno; éste pudo mejorar con un segundo corte.

La madera proveniente de plantaciones, en especial de *P. oaxacana*, puede ser utilizada en la elaboración de productos terminados con mayor valor agregado; por ejemplo, en puertas, ventanas, marcos, piezas torneadas, molduras, lambrin y muebles en general.

De acuerdo con la revisión bibliográfica, la trabajabilidad de la madera de *P. oaxacana* es comparable con otras especies de valor comercial como *P. arizonica*, *P. cooperi*, *P. patula*, *P. pseudostrobus*, *P. teocote* y *Q. affinis*. La madera de *P. oaxacana* presentó una excelente calidad en los ensayos de trabajabilidad, por lo tanto, puede ser utilizada en los mismos procesos industriales que dichas especies; tal es el caso de la industria mueblera, y no sólo ser considerada para la elaboración de celulosa y papel como hasta ahora se ha hecho.

### REFERENCIAS

- Aguilera, A., & Vega, M. (2004). Efecto del cambio de las condiciones de maquinado sobre la rugosidad superficial de *Pinus radiata* D. Don. *Bosque (Valdivia)*, 25(3), 25–32. doi:10.4067/S0717-92002004000300003
- Alekseev, A. V. (1964). *Improving the resistance to wear of planing blades*. Transl. Commonw. Sce. Industr. Res. Organ. Aust. No. 6671.
- American Society for Testing and Materials. (ASTM). (1992). *Annual book of ASTM standards*. Philadelphia: Autor.
- Borja-de la Rosa, A., & Tamarit U. J. C. (1997). Propiedades tecnológicas de la madera de *Pinus arizonica* Engelm del estado de Durango, México. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales*, 3(1), 103–107.
- Consejo Civil Mexicano para la Silvicultura Sostenible, A. C. (CCMSS). (2008). *Nota Informativa No. 22*. México: Autor.
- Cruz, D. J. R., & Borja, R. A. (1995). Estudio tecnológico de la madera de *Pinus cooperi* Blanco, del estado de Durango. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales*, 1(1), 11–15.
- Davis, E. M. (1960). Machining ponderosa Pine and Douglas Fir-effect of growth rate and density. *Forest Products Journal*, 10(1), 1–3.
- Flores-Velázquez, R., Rangel-Piñón J. V., Quintanar-Olguín, J., Fuentes-López M. E., & Velázquez-Silva L. (2007). Calidad de maquinado de la madera de *Quercus affinis* y *Quercus laurina*. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales*, 13(1), 41–46.
- Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática. (INEGI). (2000). *Cuaderno estadístico municipal*. Texcoco, México. México, D. F.: Autor.
- Koch, P. (1964). *Wood machining processes*. New York, NY: Edit. Ronald.
- Koch, P. (1972). *Utilization of the Southern Pine. Vol. II Processing Machining*. USDA Forest Service.
- Maldonado, R. F. (1984). Índice de sitio y modelos de crecimiento para *Pinus oaxacana* Mirov. de la región "Los Coatlan", Oaxaca. Tesis de Maestría. Colegio de Posgraduados. Texcoco, Estado de México.

### CONCLUSIONS

In general, the workability of *P. oaxacana* wood was graded as excellent, with the exception of shaping in the preliminary cut, which was graded as good; this might improve with a second cut.

Wood from *P. oaxacana* plantations can be used to manufacture finished products with higher added value, for example, doors, windows, frames, turned parts, moldings, furring and furniture in general.

According to the literature review, the workability of *P. oaxacana* wood is comparable to that of other commercially valuable species such as *P. arizonica*, *P. cooperi*, *P. patula*, *P. pseudostrobus*, *P. teocote* and *Q. affinis*. The wood of *P. oaxacana* presented excellent quality in the workability trials; therefore, it can be used in the same industrial processes as these other species, such as in the furniture-making industry, rather than being limited to pulp and paper production as has been the case up until now.

End of English Version

- Malkoçoğlu, A., & Özdemir, T. (2005). The machining properties of some hardwoods and softwoods naturally grown in Eastern Black Sea Region of Turkey. *Journal of Materials Processing Technology*, 173(3), 315–320. doi:10.1016/j.jmatprotec.2005.09.031
- Marconi, T. P. M. (1983). *Influencia del espaciamiento de plantación en el crecimiento de Pinus oaxacana Mirov*. Tesis. Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, Estado de México. México.
- Martínez, C. J. L., & Martínez-Pinillos, C. E. (1996). Características de cepillado y lijado de 33 especies de madera. *Madera y Bosques*, 2(2), 11–27.
- Martínez, C. J. L., & Martínez-Pinillos, C. E. (1996a). Características de maquinado de 32 especies de madera. *Madera y Bosques*, 2(1), 45–62.
- Martínez, G. R. (2003). *Determinación del rango de madera juvenil de Pinus Oaxacana mediante un diagrama de control y por regresión por etapas*. Tesis. Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, Estado de México. México.
- Mckenzie, W. M. (1960). Fundamental aspects of the wood cutting process. *Forest Products Journal*, 10(9), 447–456.
- Mckenzie, W. M. (1967). Friction in wood cutting. *Forest Products Journal*, 17(11), 38–43.
- Mori, M., & Hoshi. (1964). *Studies on surfacing wood with planer. Effect on "land" at knife edge upon cutting efficiency*. Sta. Meguro, Tokio: Bull. For. Exp.
- Pardo, Q. E. J. (2009). *Determinación de la calidad superficial del cepillado de Pinus radiata D. Don*. Tesis. Universidad Austral de Chile. Valdivia, Chile.
- Pedro, S. E. C., & Cruz, F. T. (1992). *Clasificación interpretativa de tierras para la producción de hortalizas bajo riego en el área de influencia de Chapingo usando el análisis discriminante*. Tesis. Universidad Autónoma Chapingo, Texcoco, Edo. de México, México.
- Stewart, H. A. (1970). Abrasive vs knife planing. *Forest Products Journal*, 20(7), 43–47.
- Zavala, Z. D. (1976). *Características de maquinado de seis especies maderables*. Tesis. Escuela Nacional de Agricultura. Chapingo, Texcoco, Estado de México.