Características de maquinado de 32 especies de madera

José L. Martínez Castillo[1]
Enrique Martínez-Pinillos Cueto[1]

RESUMEN

El uso de especies de madera con gran potencial comercial, se dificulta, en muchas ocasiones, debido al desconocimiento de sus características de maquinado. Se realizaron ensayos con tres operaciones usadas en la transformación de la madera: barrenado, escopleado y moldurado. Se probaron 32 diferentes especies de madera tanto tropicales como de bosques templado y frío, tomando como base la norma ASTM D-1666. La madera fue acondicionada a un 8% de contenido de humedad y se evaluaron las características de las superficies maquinadas, agrupándose las especies de acuerdo con la calidad de la superficie.

PALABRAS CLAVE

Maquinado de madera, moldurado, escopleado, barrenado, maderas latifoliadas.

ABSTRACT

The use of potentially commercial lesser-known woods, quite often is limited because of the lack of knowledge on their machining characteristics. Tests were conducted for three processes commonly used in wood machining (boring, shaping and mortising), on 32 species from tropical and temperate forests, based on the ASTM D-1666 standard. Tests were carried out with wood conditioned at 8% moisture content. Machined surface characteristics were evaluated, grouping the wood species according to the surface quality.

KEY WORDS

Wood machining, boring, shaping, mortising, hardwoods.

1 Técnicos Académicos. Departamento de Productos Forestales y Conservación de Bosques. Instituto de Ecología, A.C. Apdo. Postal 63. 91000 Xalapa, Ver. México.
Manuscrito recibido para su publicación el 22 de Febrero de 1994

INTRODUCCION

El conocimiento sobre la facilidad o dificultad con que se realice el corte de la madera depende en gran medida, de la información que se tenga sobre las características tecnológicas relacionadas con cada uno de los procesos de transformación de la madera. Actualmente, la información existente sobre el maquinado de la madera es poca o nula para muchas especies. Esta deficiencia es, con toda seguridad, una de las razones por las que potenciales usuarios de estas especies no las utilizan, ya que sin la información adecuada sobre el comportamiento de la madera en el momento de ser trabajada con máquinas y herramientas de carpintería, los industriales prefieren no correr el riesgo de usar especies desconocidas. Por otra parte, el país cuenta con una gran diversidad de especies de madera tanto de clima templado y frío como de tropicales. Sin embargo, el número que se aprovecha comercialmente y que se usa para la fabricación de diversos productos es muy reducido, provocando el uso excesivo de muy pocas especies, lo cual, en algunos casos, orilla casi a la desaparición de algunas especies de madera.

Si se conocen las características de las superficies maquinadas de cada especie que se desee maquinar, se puede saber qué calidad de superficie se obtendrá en cada operación de maquinado que se efectúe.

La calidad de la superficie que se obtiene en el maquinado está relacionado con la geometría del afilado de la herramienta de corte que utiliza cada una de las máquinas en el proceso de transformación de la madera además de otras variables. Después de probar esta variable se puede recomendar la geometría adecuada para cada tipo de madera.

Por lo anterior surge la necesidad de estudiar las especies potencialmente utilizables y conocer sus propiedades de maquinado para obtener información sobre qué madera se puede trabajar con un menor número de defectos y cuáles son las condiciones más adecuadas en que se deben encontrar las herramientas de corte para obtener mejores resultados. Con esta información, los usuarios de la madera como materia prima podrán utilizarla en sus líneas de producción, con la seguridad de que los resultados que obtendrán serán satisfactorios.

Los objetivos principales de este trabajo son determinar las características de las superficies maquinadas de 32 especies de maderas mexicanas sometidas a tres diferentes procesos: barrenado, moldurado y escopleado; formar grupos de especies de acuerdo con el comportamiento presentado por cada una durante los ensayos y, proporcionar recomendaciones para el uso de las herramientas y maquinaria para mejorar las características de las superficies de la madera durante su maquinado.

METODOLOGIA GENERAL

Selección de especies y probetas

Las especies ensayadas en esta investigación fueron seleccionadas de una lista de especies de madera con posibilidad de ser utilizadas comercialmente. Posteriormente se seleccionó el material de entre el material de reserva de colectas previas realizadas en distintas zonas geográficas de la República Mexicana y que pertenece a la colección del Departamento de Productos Forestales y Conservación de Bosques. Se revisaron todas las piezas cuidadosamente para su correcta identificación; a cada especie se le asignó una clave de identificación con la que se marcó todo el material que correspondiera a la misma.

Solamente se escogió material libre de defectos como manchado, grietas, nudos o ataque de insectos. Cuando todo el material estuvo seleccionado y marcado se determinó el contenido de humedad de cada pieza, utilizando dos métodos: con medidores de contenido de humedad en las piezas completas y con pequeñas muestras de cada pieza. Las probetas se acondicionaron en un cuarto con temperatura y humedad controladas hasta que alcanzaron el contenido de humedad determinado para la realización de los ensayes que fue del 8% como está establecido en la norma ASTM D-1666 (1993), para este tipo de ensayos.

Cuando las probetas alcanzaron el porcentaje de humedad deseado, se cortaron y cepillaron a las dimensiones requeridas por cada tipo de prueba (Fig. 1). Posteriormente se marcaron con la clave para cada especie y con un número progresivo para cada probeta.

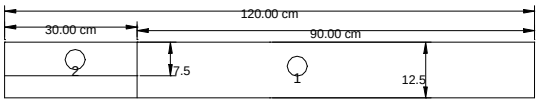

Figura 1. Patrón de corte de los especímenes de prueba

Cuando las piezas obtuvieron el CH deseado, se procedió a determinar la densidad relativa de cada especie, utilizando una pequeña porción proveniente de cada probeta (Fig. 1), determinando su peso anhídro y volumen verde. Se calculó la media para cada especie y con estos valores se ordenaron las especies de acuerdo con su densidad, de menor a mayor (tabla 1). En este orden se efectuaron las operaciones de maquinado para así minimizar el desgaste de las herramientas de corte que se utilizaron en cada proceso.

Equipo

Se verificó el correcto funcionamiento de la maquinaria que se iba a usar, de acuerdo con las especificaciones de cada máquina. También fueron sometidas a una rigurosa rutina de mantenimiento con la finalidad de que se encontraran en perfectas condiciones en el momento de ejecutar cada prueba. Las herramientas de corte necesarias para la realización de los ensayos se consiguieron tratando de apegarse lo más posible a las características que para cada operación, sugería la norma utilizada como base para este trabajo (ASTM D-1666, 1993), pero sin olvidar que en algunos casos las herramientas y equipo disponible en el país no son los mismos que los especificados en la norma, por lo que cuando fue necesario se adaptaron las pruebas a las herramientas de corte que se utilizan con más frecuencia en la industria nacional.

Se puso especial cuidado en el afilado de cada pieza de corte debido a que éste es un factor muy importante para obtener buenas superficies en las piezas maquinadas. Para poder efectuar las pruebas de manera uniforme, fue necesario elaborar plantillas para las probetas y las máquinas, para sujetar las piezas y realizar los ensayos bajo las mismas condiciones con todas las probetas. Una vez finalizado el mantenimiento y ajuste de la maquinaria, el afilado de las herramientas de corte y elaboración de plantillas, así como logrado el acondicionamiento del material, se procedió a dar inicio a las pruebas.

Tabla 1. Especies ensayadas

	ESPECIE	NOMBRE COMUN	ESTADO DE COLECTA	DR (pa/ vv)
1	*Ceiba pentandra* (L.) Gaertm.	ceiba	Chiapas	0.19
2	*Pseudobombax ellipticum* (Kunth) Dugand	amapola	Chiapas	0.24
3	*Bursera simarouba* (L.) Sarg.	palo mulato	Chiapas	0.30
4	*Cedrela odorata* L.	cedro	Chiapas	0.33
5	*Talauma mexicana* (OC.) Dom.	jolmashté	Chiapas	0.34
6	*Schizolobium parahybum* (Vell.) Blake	falso guanacaste	Chiapas	0.35
7	*Pinus pseudostrobus* Lindl.	pino	Oaxaca	0.35
8	*Persea americana* Miller	aguacate	Veracruz	0.40
9	*Casuarina cunninghamiana* Miq.	casuarina	Veracruz	0.42
10	*Swietenia macrophylla* G. King.	caoba	Chiapas	0.42
11	*Vochysia guatemalensis* Donnell Smith	maca blanca	Chiapas	0.44
12	*Liquidambar macrophylla* Oersted	liquidambar	Tamaulipas	0.48
13	*Lysiloma acapulcensis* (Kunth) benth.	tripal	Chiapas	0.49
14	*Pinus teocote* Schlechtendal & Cham.	pino	Oaxaca	0.49
15	*Pinus patula* Schlechtendal & Cham.	pino	Oaxaca	0.51
16	*Guarea grandifolia* A. DC.	cedrillo	Chiapas	0.51
17	*Vatairea lundellii* (Standley) Killip. ex Record	amargoso	Chiapas	0.51
18	*Acer saccharum* Marsh subs. *skutchii* (Rehder) E. Murray	álamo	Tamaulipas	0.52
19	*Magnolia schiedeana* Schlechtendal	magnolia	Tamaulipas	0.52
20	*Fraxinus udhei* (Wenzing) Lingelsheim	fresno	Veracruz	0.53
21	*Quercus sartorii* Liebm.	encino escobillo	Tamaulipas	0.53
22	*Cupania* sp.	casalcahuite	Q. Roo	0.59
23	*Licania platypus* (Helms.) Fristch.	cabeza de mico	Chiapas	0.61
24	*Astronium graveolens* Jacquim	jobillo	Chiapas	0.61
25	*Lysiloma bahamensis* Benth.	tzalam	Q. Roo	0.62
26	*Ampelocera hottlei* (Standley) Standley	cuerillo	Chiapas	0.64
27	*Mirandaceltis monoica*	chicharra	Chiapas	0.65
28	*Lonchocarpus castilloi* Standley	machiche	Chiapas	0.71
29	*Lucuma salicifolia* H.B.K.	zapote amarillo	Q. Roo	0.71
30	*Dialium guianense* (Aubl.) Sandwith	paque	Chiapas	0.73
31	*Platymiscium yucatanum* Standley	hormiguillo	Chiapas	0.73
32	*Manilkara zapota* (L.) van Royen	chicozapote	Chiapas	0.90

BARRENADO

Barrenar o taladrar es un proceso que muy frecuentemente se usa en la manufactura de artículos de madera; es común utilizar los barrenos para la colocación de tornillos, pernos de madera y herrajes o elementos de unión (Fig. 2).

En esta operación la herramienta de corte que se utiliza es una broca que se puede colocar en un taladro de pie o en uno portátil. Una de las adecuaciones que se hizo a la norma D-1666 (ASTM, 1993), fue el tipo de broca que se usó, debido a que el especificado no es el que se utiliza con mayor frecuencia en la industria

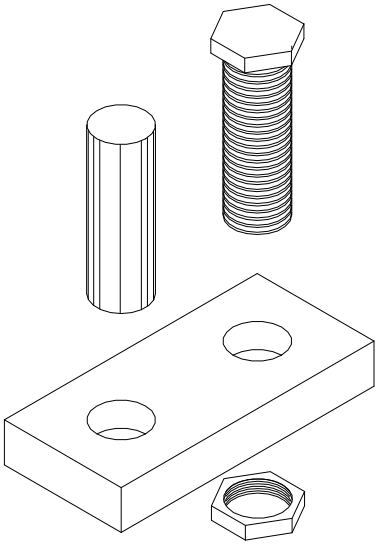

Figura 2. Ejemplos de barrenos para pernos

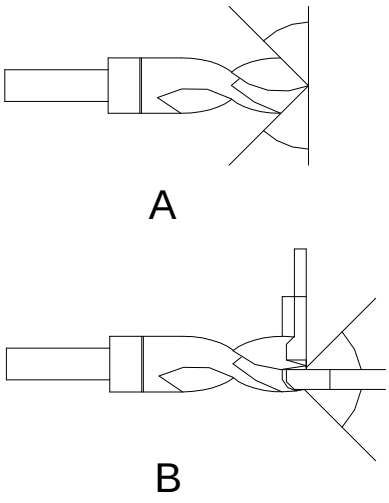

Figura 3. Tipos de cortadores para barrenar: a) cortador con punta a 45◦; b) cortador con punta y dos gavilanes

nacional, que son las brocas para perforar metal, por no existir en el mercado gran variedad de tipos de brocas. Por este motivo se decidió usar brocas helicoidales para barrenar metal. Se analizaron diferentes tipos de filos y ángulos de corte en la broca y se encontró que existían dos posibilidades que podían dar buenos resultados; una es afilar la broca con un ángulo de corte de 45° (Fig. 3a). Con esta forma de filo se realizaron pruebas de barrenos, que fueron evaluados y comparados con la otra forma de afilar la punta de las brocas (Fig. 3b).

Después de analizar los resultados se observó que los mejores acabados se obtuvieron usando la segunda opción (Fig. 3b), por lo que se decidió usar este tipo de afilado para esta prueba.

Metodología

A cada probeta se le hicieron cinco barrenos de una pulgada de diámetro (Fig. 4). Tomando en cuenta que las operaciones de barrenado, moldurado y escopleado se realizaron en la misma probeta, las cinco perforaciones se hicieron de tal manera que un tipo de ensayo no entorpeciera la realización de las operaciones siguientes, por lo que se fabricó una plantilla que permitía sujetar y barrenar cada probeta a la misma distancia entre barrenos (Fig. 5). Esta plantilla se diseñó para ser colocada sobre la mesa del taladro que se usó para barrenar.

Se utilizó un taladro de pie con velocidades de giro regulables, avance manual y motor con potencia de 3 hp (figura 6), la velocidad de giro de la broca fue de 1,415 revoluciones por minuto (rpm). La elección de esta velocidad fue el resultado de ensayar y evaluar diferentes números de revoluciones y eligiendo el que presentó mejores resultados; otro criterio tomado en cuenta fue el recomendado por la norma ASTM D-1666 (1993), con los dos valores: el obtenido de las pruebas preliminares y el recomendado por la norma se decidió utilizar el más cercano a ambos.

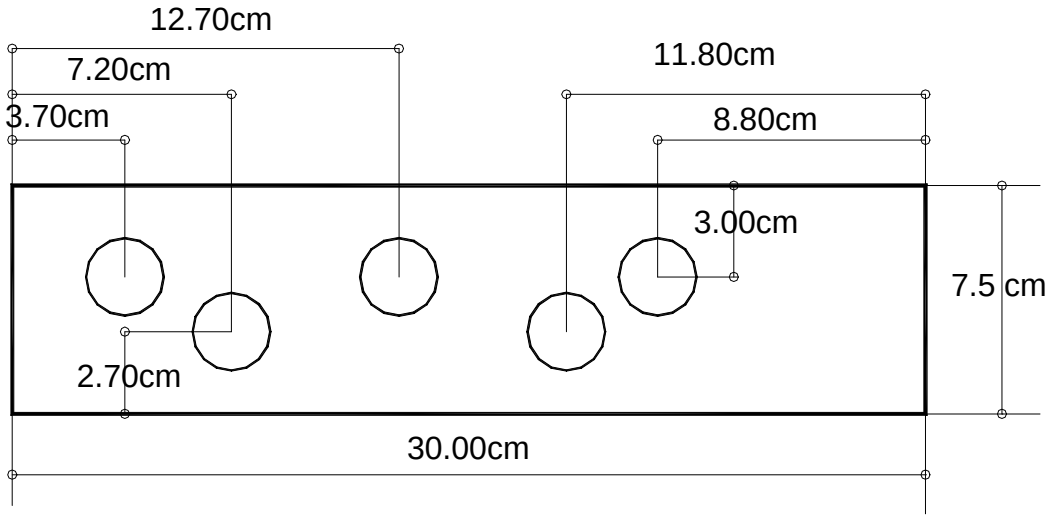

Figura 4. Distribución de los barrenos

Figura 5. Equipo y plantilla usados para barrenar

Con el equipo preparado y listo se procedió a barrenar las probetas. Estas se trasladaron de la cámara de acondicionamiento al taller, cubiertas con bolsas de polietileno para disminuir al máximo variaciones en el contenido de humedad antes y después del barrenado.

Después del ensayo se llevaron nuevamente al cuarto de acondicionamiento para efectuar la

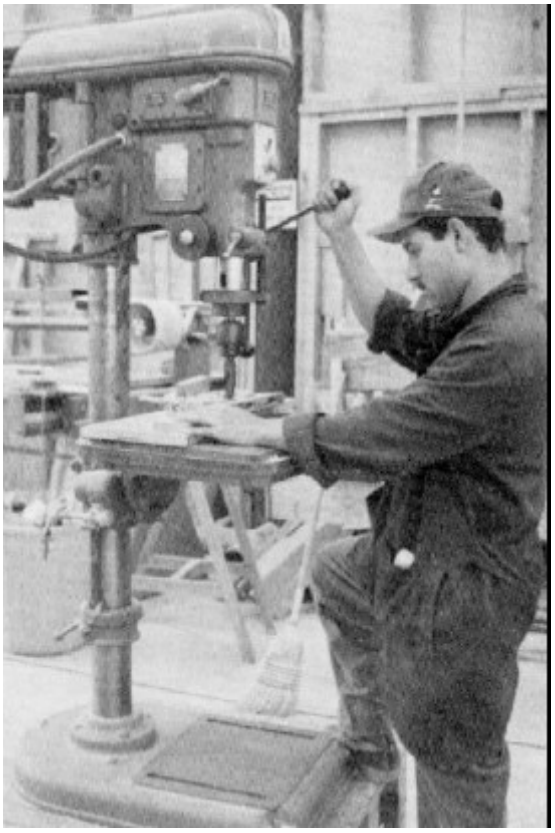

Figura 6. Equipo usado para barrenar

evaluación. Los criterios que se siguieron para calificar cada probeta fueron divididos en cinco grados: EXCELENTE (1),

BUENO (2), REGULAR (3), POBRE (4), MUY POBRE (5) (Davis, 1962) (Tabla 2), dando un número a cada calificación, de 1 a 5. La evaluación se realizó en forma visual, observando minuciosamente cada barreno; la calificación que cada uno obtenía, se anotó en una hoja de registro. Los defectos evaluados en la superficie de los barrenos fueron: grano algodonoso, grano arrancado y grano aplastado (Fig. 7), usando las cinco graduaciones para cada uno de los defectos según fuera la calidad de acabado que se observó.

Resultados

Al concluir la calificación de todas las especies, se procedió a clasificar los resultados obtenidos. El procedimiento consistió en obtener el porcentaje de piezas libres de defectos en cada una de las especies probadas; para sacar este valor sólo se tomaron en cuenta los barrenos que fueron clasificados como Excelente (1) y Bueno (2). Después de asignar a todas las especies probadas su porcentaje de piezas libres de defectos, este valor se ubicó dentro de la tabla de clasificación final, en la que se indican diferentes rangos de acuerdo con el porcentaje de piezas sin defectos que cada pieza obtenía (tabla 2).

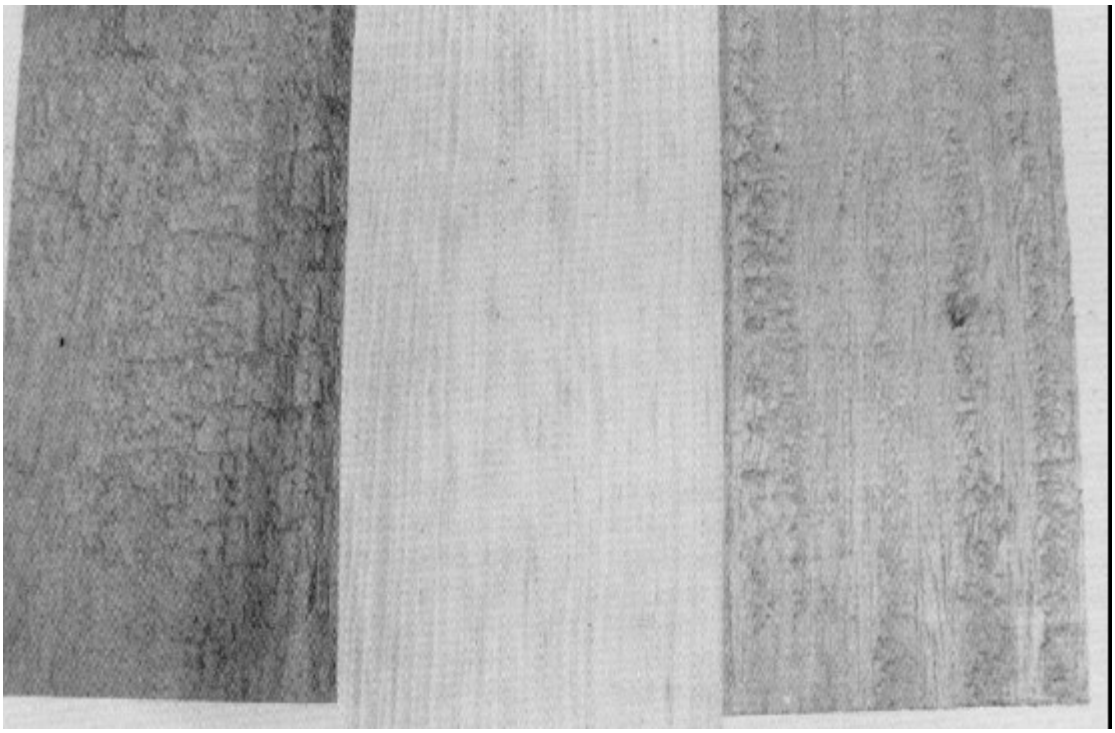

Figura 7. Tipo de defectos calificados en la prueba de barrenado (izquierda, grano arrancado; centro, grano levantado; derecha, grano algodonoso)

Tabla 2. Rangos de clasificación final

CALIFICACION	% DE PIEZAS LIBRES DE DEFECTOS
Excelente (1)	90 - 100
Bueno (2)	70 - 90
Regular (3)	50 - 70
Pobre (4)	30 - 50
Muy Pobre (5)	0 - 30

De esta forma queda clasificada como madera con una superficie *Excelente* al ser barrenada, la que se encontraba con un 90% a 100% de piezas libres de defectos. Como madera que obtendrá una superficie con un acabado *Bueno*, la que se encuentra entre un 70% y 90% de piezas libres de defectos y así sucesivamente, para las clasificaciones de *Regular, Pobre* y *Muy Pobre*. La tabla 3 muestra los rangos en que fueron clasificadas todas las especies de madera que se probaron. Como se puede observar, como regla general, la madera con una mayor densidad obtuvo una mejor calidad de la superficie maquinada, y a medida que la densidad va siendo menor la calidad disminuye, aunque también existen especies que no cumplen esta regla.

Conclusiones

La calidad de la superficie barrenada con relación a la herramienta de corte depende del tipo de punta de la broca que se desee utilizar. Se comprobó que las brocas afiladas con una guía en el centro y dos filos en los costados (figura 3b), dejan un mejor acabado en comparación con el tipo de terminado que dejan las brocas que son afiladas con una punta a 45° (figura 3a). Por este motivo se recomienda que si se desean obtener mejores resultados en la realización de los barrenos, se utilice un afilado como el usado en este trabajo. Los defectos que aparecen, principalmente, en los barrenos son, grano arrancado y grano algodonoso.

Se observó que en madera con densidad mayor a 0.50, el defecto de grano arrancado tiende a desaparecer conforme aumenta la densidad. Las especies de madera con valores de densidad menores a 0.50 presentan grano arrancado y el defecto de grano algodonoso aparece con mayor frecuencia.

En la figura 8 se observa una gráfica que muestra la tendencia de las especies de madera probadas. Con especies cuyo rango de densidad se encuentra entre los valores de 0.50 y 0.73, se puede obtener una mejor calidad de acabado; también se observa que en especies con densidades menores de 0.50 existe una tendencia a la disminución del porcentaje de piezas libres de defectos, por lo que como observación general puede decirse que a mayor densidad mejor calidad de la superficie barrenada. Cabe aclarar que no todas las especies de madera siguen esta regla ya que existen factores que pueden afectar la calidad del barrenado, por ejemplo, el contenido de extractivos o depositaciones como el sílice, de algunas especies de

Tabla 3. Resultados de Barrenado

GRUPO	ESPECIE	NOMBRE COMUN	DR (pa/vv)
EXCELENTE	*Platimiscium yucatanum*	hormiguillo	0.74
	Dialium guianense	paque	0.73
	Lonchocarpus castilloi	machiche	0.71
	Lucuma salicifolia	zapote amarillo	0.71
	Ampelocera hottlei	cuerillo	0.65
	Mirandaceltis monoica	chicharra	0.65
	Lysiloma bahamensis	tzalam	0.62
	Astronium graveolens	jobillo	0.61
	Licania platypus	cabeza de mico	0.61
	Cupania spp	casalcahuite	0.59
	Fraxinus uhdlei	fresno	0.53
	Quercus sartorii	encino escobillo	0.53
	Magnolia schideana	magnolia	0.52
	Guarea grandifolia	cedrillo	0.51
	Pinus patula	pino	0.51
	Vatairea lundellii	amargoso	0.51
	Lysiloma acapulcensis	tripal	0.49
	Pinus teocote	pino	0.49
	Liquidambar macrophylla	liquidambar	0.48
	Acer skutchii	álamo	0.40
	Persea americana	aguacate	0.40
BUENO	*Manilkara zapota*	chicozapote	0.90
	Vochysia guatemalensis	maca blanca	0.44
	Casuarina cunninghamiana	casuarina	0.42
	Schizolobium parahybum	falso guanacaste	0.36
	Pinus pseudostrobus	pino	0.35
	Cedrela odorata	cedro	0.33
	Pseudobombax ellipticum	amapola	0.24
REGULAR	*Swietenia macrophylla*	caoba	0.42
	Talauma mexicana	jolmashté	0.34
	Bursera simarouba	palo mulato	0.30
POBRE	*Ceiba pentandra*	ceiba	0.19

de madera, las que son capaces de disminuir notablemente el filo de la herramienta de corte, generando defectos en el maquinado. Otro factor que puede contribuir a una mayor o menor calidad del barrenado es la velocidad de avance de la broca; a mayor velocidad hay una marcada tendencia a desarrollar más el defecto de grano arrancado. También hay que tomar en cuenta que cada especie tiene una estructura anatómica propia, por lo que este factor también interviene en la respuesta de cada especie al ser sometida a una operación de maquinado. Existen otros factores que influyen en la calidad de la superficie maquinada, como pueden ser el tipo de acero con que está fabricada la herramienta de corte, la velocidad tangencial y hasta la misma operación que se esté desarrollando (cepillado, barrenado, escopleado, etc). Sin embargo, ninguno de ellos es tan importante como los que se han analizado en el párrafo anterior.

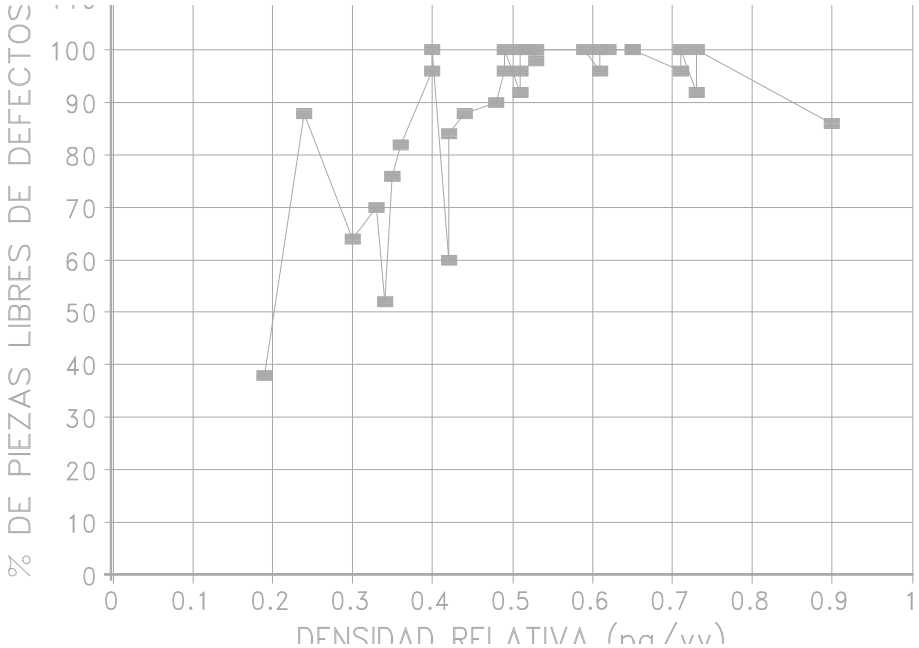

Figura 8. Piezas libres de defectos **vs** densidad relativa en la prueba de barrenado

MOLDURADO

El moldurado es una operación que se realiza en los cantos de las piezas de madera con el objetivo de darles mejor terminado y apariencia. Es muy común observar este tipo de trabajo en marcos de puertas, de ventanas, cantos o esquinas de muebles, ensambles y otras muchas formas de adornos. El número de formas que se obtienen en los perfiles moldurados es muy grande, pues varía de acuerdo con la forma que tenga la herramienta de corte, pudiendo ser secciones rectas, curvas o combinadas.

La manufactura de las molduras generalmente se realiza en una máquina denominada trompo, molduradora o *tupí*, aunque también pueden ser elaboradas en un *router*. A estas máquinas se les coloca un cortador con la forma del perfil que se desea obtener. En el maquinado de estos perfiles se deberá obtener una superficie limpia y lista para someterse a la operación de lijado. Si es necesario dedicar tiempo para eliminar defectos quiere decir que algo en el proceso de moldurado no es apropiado, debido a que podría existir alguna falla en la herramienta que se esté utilizando o que la especie de madera que se sometió al proceso de moldurado no sea la apropiada para este tipo de operación.

Metodología

En esta prueba se ensayaron las mismas especies de la tabla 2. Se utilizó un trompo con capacidad de 3 caballos de fuerza (hp); la velocidad de giro del cortador fue de 7,000 rpm, manteniéndose constante durante toda la prueba. El tipo de cortador que se utilizó fue diseñado para obtener el perfil moldurado que se utiliza para la fabricación de duela (Fig. 9).

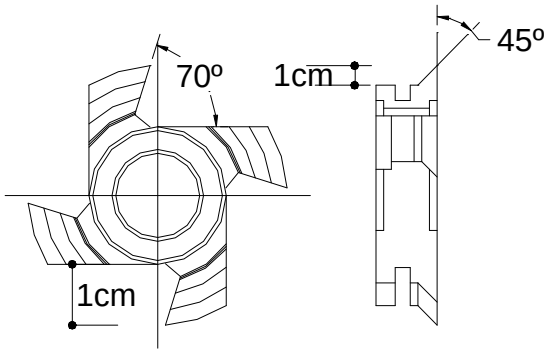

Figura 9. Tipo de cortador usado en la fabricación de duela

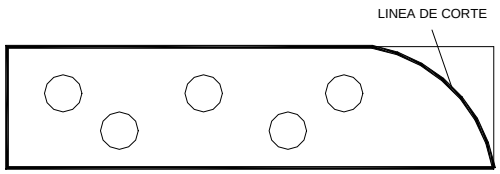

Figura 10. Corte semicircular para la prueba de moldurado

Este tipo de cortador es fabricado con acero de alta velocidad y la forma del perfil que produce se escogió debido a que la maquila de duela y lambrín es una operación muy común en los procesos de transformación de la madera. Al espécimen de prueba se le realizó un corte curvo con sierra cinta dejando sólo el excedente para trabajar la pieza en el trompo (Fig. 10). Para colocar las probetas en la máquina y realizar la operación de maquinado se fabricó una plantilla en la que se colocaron las piezas a ensayar, tomando como modelo el propuesto por Cantin (1965). Se aprovecharon las perforaciones de la prueba de barrenado para sujetar las probetas (Fig. 11).

Figura 11. Equipo y cortador para la prueba de moldurado

Las probetas se transportaron dentro de bolsas de polietileno, para disminuir al máximo la adsorción de humedad en el trayecto. Ya en el taller, cada probeta fue colocada en la plantilla, se revisaron sus claves de identificación y se procedió a moldurar, se realizó para cada probeta una rápida inspección visual para observar el resultado obtenido. Posteriormente el material fue regresado al cuarto de acondicionamiento para su evaluación y calificación final.

Los defectos que se revisaron en la calificación fueron grano arrancado, grano algodonoso y grano levantado. A cada defecto se le asignaron cinco diferentes calificaciones: Excelente (1), Bueno (2), Regular (3), Pobre (4) y Muy Pobre (5).

Resultados

Con los datos obtenidos se realizó el cálculo de la cantidad de piezas libres de defectos en cada especie, tomando en cuenta solamente las piezas que durante la evaluación fueron calificadas como Excelente (1) y Bueno (2). A cada especie se le calificó de acuerdo con el porcentaje de piezas libres de defectos de la tabla 2, y se clasificaron en uno de los cinco grupos que se presentan en la tabla 4. En ésta, se puede observar que la mayoría de las piezas probadas muestran una superficie con calidad Excelente o Buena y sólo cinco de las especies probadas no están dentro de estas categorías.

Conclusiones

En esta prueba los defectos en las superficies maquinadas que aparecieron con mayor frecuencia fueron: grano arrancado, que se observó cuando el corte de la herramienta fue realizado en sentido transversal a la fibra, y grano algodonoso, que se encontró en madera con mayor cantidad de vasos por unidad de área. Cuando se compara la densidad relativa contra el porcentaje de piezas libres de defectos se observa que en la operación de moldurado no se presenta una marcada relación entre la calidad de la superficie maquinada y la densidad. En la figura 12 se observa que la mayoría de las piezas probadas obtuvieron un valor superior al 70% de piezas libres de defectos sin importar el valor de su densidad relativa; se observa además que sólo el 16% de las especies probadas no obtuvieron calificación de Excelente o Bueno.

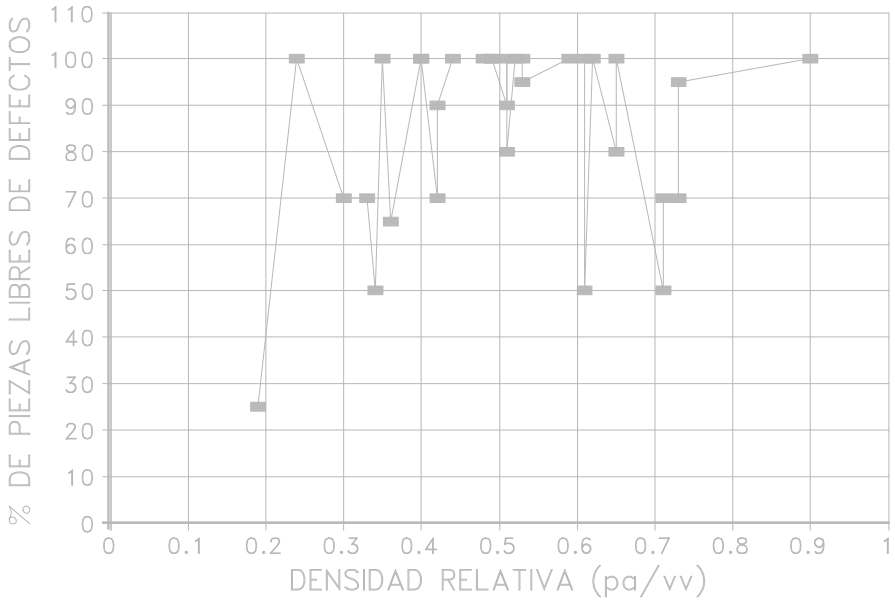

Figura 12. Piezas libres de defectos **vs** densidad relativa en la prueba de moldurado

Tabla 4. Resultados de moldurado

GRUPO	ESPECIE	NOMBRE COMUN	DR (pa/vv)
EXCELENTE	*Manilkara zapota*	chico zapote	0.90
	Platimiscium yucatanum	hormiguillo	0.74
	Mirandaceltis monoica	machiche	0.65
	Lysiloma bahamensis	tzalam	0.62
	Astronium graveolens	jobillo	0.61
	Cupania sp.	casalcahuite	0.59
	Fraxinus uhdlei	fresno	0.53
	Quercus sartorii	encino escobillo	0.53
	Magnolia schideana	magnolia	0.52
	Guarea grandifolia	cedrillo	0.51
	Pinus patula	pino	0.51
	Pinus teocote	pino	0.49
	Lysiloma acapulcensis	tripalp	0.49
	Liquidambar macrophylla	liquidambar	0.48
	Vochysia guatemalensis	maca blanca	0.44
	Swietenia macrophylla	caoba	0.42
	Acer skutchii	álamo	0.40
	Persea americana	aguacate	0.40
	Pinus pseudostrobus	pino	0.35
	Pseudobombax ellipticum	amapola	0.24
BUENO	*Dialium guianense*	paque	0.73
	Lucuma salicifolia	zapote amarillo	0.71
	Ampelocera hottlei	cuerillo	0.65
	Vatairea lundellii	amargoso	0.51
	Casuarina cunninghamiana	casuarina	0.42
	Cedrela odorata	cedro	0.33
	Bursera simarouba	palo mulato	0.30
REGULAR	*Lonchocarpus castilloi*	machiche	0.71
	Licania platypus	cabeza de mico	0.61
	Schizolobium parahybum	falso guanacastepalo	0.36
	Talauma mexicana	jolmashté	0.34
POBRE	*Ceiba pentandra*	ceiba	0.19

ESCOPLEADO

En la fabricación de muebles y artículos de madera, una parte muy importante la constituyen las uniones o ensambles. Las uniones bien realizadas le proporcionan rigidez, resistencia y durabilidad a los productos. Las uniones existen en diferentes formas y tamaños dependiendo del diseño del mueble y del tipo de trabajo al que será sometido.

Entre los ensambles más conocidos y utilizados se encuentra el denominado de caja y espiga (Fig. 13), el cual es común encontrarlo en la unión de elementos horizontales y verticales. Consiste básicamente en realizar en una de las piezas una caja o perforación rectangular con aristas curvas o rectas (Longwood, 1961); en esta caja se introduce la espiga, pieza que tiene la forma exacta de la caja, formándose así la unión de dos piezas.

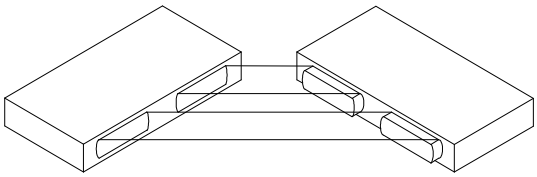

Figura 13. Caja y espiga de aristas curvos

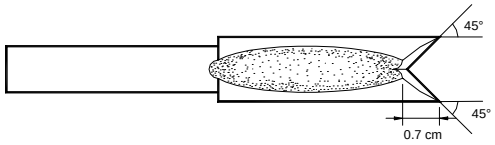

Figura 14. Tipo de cortador usado en la prueba de escopleado

Para que las uniones presenten un comportamiento adecuado es necesario que la superficie escopleada presente una buena calidad, para que cuando se aplique el adhesivo a la caja y espiga se obtenga una buena distribución y adherencia para lograr una unión resistente y duradera.

Metodología

Las especies ensayadas fueron las mismas 32 que para barrenado y moldurado (tabla 2). Para la ejecución de esta prueba se tomó como base la norma ASTM D-1666 (1993), que marca el uso de un escoplo vertical y un cortador para perforaciones de sección rectangular. Sin embargo este tipo de cortadores y escoplos no son muy comúnmente usados en la industria nacional, por lo que se decidió usar uno que se usara más frecuentemente en la realización de cajas del ensamble de caja y espiga (Fig. 14). El cortador que se usó tiene un diámetro de 12 mm y dos filos, uno a cada lado de la punta. La máquina que se usó fue un escoplo oscilante de 1/2 caballo de fuerza (hp), semiautomático y con 200 oscilaciones por minuto (Fig. 15). La máquina se calibró con la profundidad y

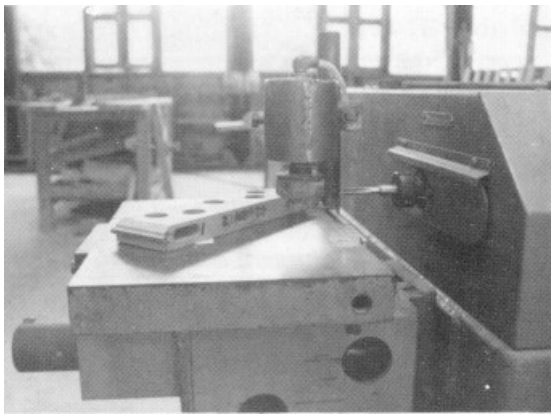

Figura 15. Equipo utilizado en la prueba de escopleado

longitud que se especificó para las cajas, 12 mm de grueso, 38 mm de ancho y 25 mm de profundidad.

Las probetas fueron transportadas, como en todos los casos, en bolsas de plástico debidamente selladas para minimizar los cambios de CH y se

procedió a efectuar la prueba. En cada una se realizaron tres horadaciones como se muestra en la figura 16. Finalizado el ensayo se procedió a evaluar cada una de las cajas, tomando en cuenta los defectos de grano levantado, grano algodonoso, grano arrancado y marcas de viruta, dando valores de 1 a 5, dependiendo del grado que cada defecto mostrara, 1 para Excelente, 2 para Bueno, 3 para Regular, 4 para Pobre y 5 para Muy pobre. Todos estos datos se anotaron en hojas de registro previamente diseñadas para esta prueba.

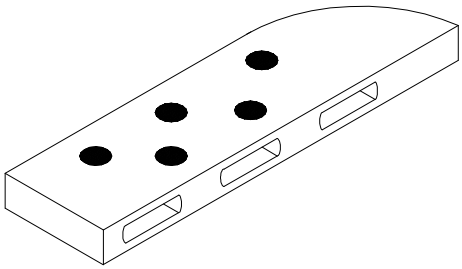

Figura 16. Distribución de cajas en prueba de escopleado

Resultados

Se calculó el porcentaje de piezas libres de defectos para cada una de las especies, para obtener este valor solamente se usaron las calificaciones de (1) Excelente y (2) Bueno. Cuando para cada especie se determinó el porcentaje de piezas sin defecto, se procedió a obtener la calificación final de las especies probadas, con los valores de la Tabla 2. La calificación obtenida por cada especie en la operación de escopleado se presenta en la tabla 5. Se puede observar que las especies con mayor densidad obtienen mejores resultados.

Conclusiones

Entre los defectos evaluados, los que aparecen en mayor número son grano arrancado y marcas de viruta. El grano arrancado aparece principalmente en los extremos de las cajas, donde el cortador cambia la dirección del corte en la madera. Las marcas de viruta se originan por el reducido espacio que tiene el cortador dentro de la caja, lo que no permite ser desalojada. Comparando el porcentaje de piezas libres de defectos contra la densidad de cada especie, se observa que en aquellas cuya densidad es mayor a 0.40, se obtienen buenos resultados (Fig. 17), por lo que se puede afirmar que la densidad juega un papel importante para buenos acabados en el escopleado, pues a mayor densidad, mejor calidad de la superficie maquinada.

DISCUSION

De las tres operaciones estudiadas en esta investigación la que mostró mejores resultados para las especies estudiadas fue el escopleado, en segundo lugar el barrenado y finalmente el moldurado, en términos generales. Esto no quiere decir que en cada una de las especies el comportamiento se presente en el orden mencionado, pues en cada una de las tablas de resultados por prueba, se puede mencionado, seguir el comportamiento específico de una especie en particular, observándose que solamente 15 especies obtuvieron una calificación de excelente en las tres pruebas (tabla 6). Como se detectó que la densidad relativa mostraba una relación directa con la calidad obtenida en la superficie maquinada de las probetas, se procedió a relacionar en las tablas y gráficas la densidad con las calificaciones y rangos finales, comprobando que en términos generales a mayor densidad relativa los resultados son mejores. Para fines prácticos, las

Tabla 5. Resultados de escopleado

GRUPO	ESPECIE	NOMBRE COMUN	DR (pa/vv)
EXCELENTE	*Manilkara zapota*	chico zapote	0.90
	Platimiscium yucatanum	hormiguillo	0.74
	Dialium guianense	paque	0.73
	Lucuma salicifolia	zapote amarillo	0.71
	Lonchocarpus castilloi	machiche	0.71
	Mirandaceltis monoica	chicharra	0.65
	Ampelocera hottlei	cuerillo	0.65
	Lysiloma bahamensis	tzalam	0.62
	Astronium graveolens	jobillo	0.61
	Licania platypus	cabeza de mico	0.61
	Cupania spp.	casalcahuite	0.59
	Fraxinus uhdei	fresno	0.53
	Quercus sartorii	encino escobillo	0.53
	Magnolia schiedeana	magnolia	0.52
	Guarea grandifolia	cedrillo	0.51
	Pinus patula	pino	0.51
	Vatairea lundellii	amargoso	0.51
	Lysiloma acapulcensis	tripal	0.49
	Pinus teocote	pino	0.49
	Liquidambar macrophylla	liquidambar	0.48
	Vochysia guatemalensis	maca blanca	0.44
	Casuarina cunninghamiana	casuarina	0.42
	Swietenia macrophylla	caoba	0.42
	Acer skutchii	álamo	0.40
	Persea americana	aguacate	0.40
BUENO	*Pinus pseudostrobus*	pino	0.35
REGULAR	*Talauma mexicana*	jolmashté	0.34
	Cedrela odorata	cedro	0.33
	Pseudobombax ellipticum	amapola	0.24
POBRE	*Schizolobium parahybum*	falso guanacaste	0.36
MUY POBRE	*Ceiba pentandra*	ceiba	0.30
	Bursera simarouba	palo mulato	0.19

calificaciones finales se relacionan únicamente con la densidad de las especies, aunque también existen otros factores del proceso de maquinado y de la anatomía de cada especie que afectan e influyen en el comportamiento de la madera con relación a cada una de las operaciones de maquinado. Todos estos factores deberían estudiarse por separado para conocer si alguno tiene una importancia relevante en el proceso de maquinado.

Con la información generada en este trabajo, se puede tomar la decisión de incluir o no alguna de las especies estudiadas, en un proceso de producción en el que intervenga alguna de las tres operaciones de maquinado con las que se efectuaron las pruebas.

Con la utilización en el sector industrial de los resultados aquí mostrados se puede contribuir al aprovechamiento de especies poco usadas, disminuyendo la

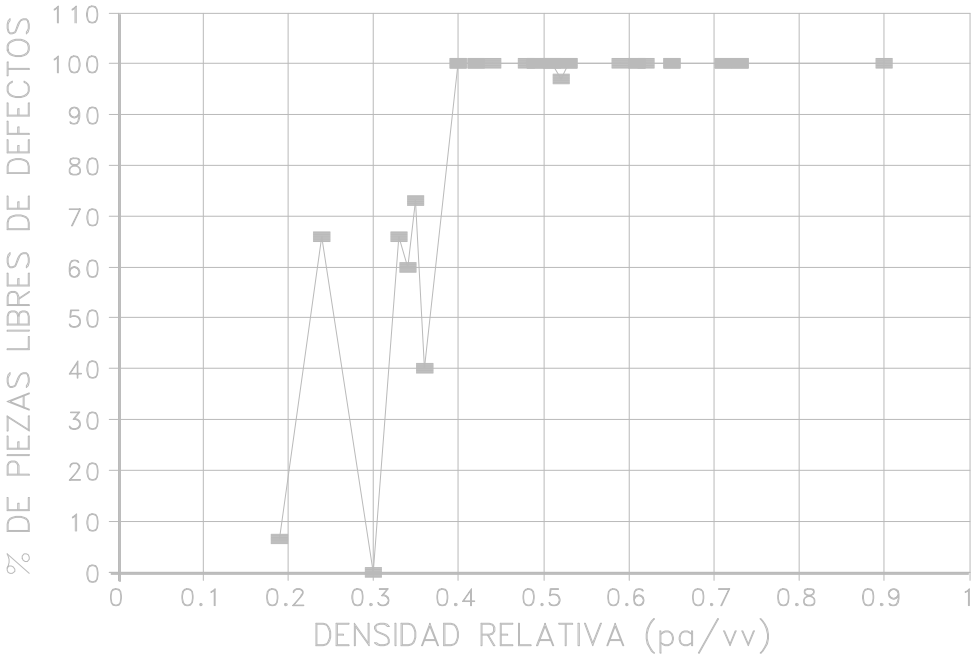

Figura 17. Piezas libres de defectos **vs** densidad relativa en la prueba de escopleado

Tabla 6. Especies con clasificación de excelente en todas las pruebas

ESPECIE	NOMBRE COMUN	DR (pa/vv)
Platimiscium yucatanum	hormiguillo	0.74
Mirandaceltis monoica	chicharra	0.65
Lysiloma bahamensis	tzalam	0.62
Astronium graveolens	jobillo	0.61
Cupania spp.	casalcahuite	0.59
Fraxinus uhdei	fresno	0.53
Quercus sartorii	encino hormiguillo	0.53
Magnolia schiedeana	magnolia	0.52
Guarea grandifolia	cedrillo	0.51
Pinus patula	pino	0.51
Lysiloma acapulcensis	tripal	0.49
Pinus teocote	pinus	0.49
Liquidambar macrophylla	liquidambar	0.48
Acer skutchii	álamo	0.40
Persea americana	aguacate	0.40

explotación excesiva de las maderas que por tradición se han comercializado, contribuyendo así a un uso más racional del recurso forestal maderable.

RECONOCIMIENTOS

La identificación anatómica de las especies fue realizada por el personal del área de Anatomía de la madera del Departamento de Productos Forestales y Conservación de Bosques

Este trabajo fue realizado con fondos fiscales del Departamento de Productos Forestales y Conservación de Bosques del Instituto de Ecología, A.C. con la clave 902-13.

REFERENCIAS

American Society for Testing Materials, 1993. Standard methods of conducting machining test of wood and wood-based materials. D-1666. p: 348-373.

Cantin, M. 1965. The machining properties of 16 Eastern Canadian woods. Canadian Department of Forestry. Publ. 1111. 27 p.

Davis, E. 1962. Machining and related characteristics of United States hardwoods. U.S. Department of Agriculture. Forest Service. 49 p.

Longwood, F. 1961. Puerto Rican woods. Their machining, seasoning and related characteristics. Agriculture handbook No. 205. U.S. Department of Agriculture. Forest Service. 34 p.