



**UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN
NICOLÁS DE HIDALGO**
Facultad de Ingeniería en Tecnología de la Madera
División de Estudios de Posgrado



MAESTRÍA EN CIENCIAS Y TECNOLOGÍA DE LA MADERA

INGENIERIA

MAQUINADO DE LA MADERA DE *Vitex gaumeri* Greenm
(YA'AXNIK) PROCEDENTE DE QUINTANA ROO, MÉXICO.

TESIS

Para obtener el título de Maestro en Ciencias y Tecnología de la Madera

PRESENTA:

Juan José Hernández Solís

DIRECTOR DE TESIS


Doctor en Ciencias de la Madera Raúl Espinoza Herrera

CODIRECTOR

Doctor en Ciencias Forestales José Cruz de León



MORELIA, MICHOACAN, AGOSTO DE 2014



El presente trabajo de investigación se realizó en un esquema de vinculación académica y de investigación con el Laboratorio de Físicomecánica de la Madera de la Facultad de Ingeniería en Tecnología de la Madera (FITECMA) de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (UMSNH), ubicada en Morelia, Michoacán y con el Centro de Articulación Productiva Madera y Mueble (CAPMM) del Instituto Tecnológico de la Zona Maya ubicado en el Ejido Juan Sarabia, del Estado de Quintana Roo.

El presente contenido es un trabajo que rendirá frutos en un corto plazo a los trabajadores de la madera como lo son carpinteros, ebanisteros y a otros que les pueda abrir el camino hacia el éxito para buscar el valor agregado de sus productos forestales e industriales. El conocimiento científico de este trabajo está basado en las ciencias forestales y sustentado técnicamente en las ciencias de la tecnología de la madera.

La Coordinación Científica del trabajo fue encomendada a los Directores de la Tesis pertenecientes al programa de Maestría en Ciencias y Tecnología de la Madera por la División de Estudios de Posgrado (DEP) de la FITECMA.

El recurso económico proviene de Becas otorgadas por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) y la Dirección General de Educación Superior Tecnológica (DGEST) de los Institutos Tecnológicos de México, a los cuales se les agradece el infinito apoyo.

¡Vacía tus bolsillos en tu mente, que tu mente llenará tus bolsillos!

(Benjamin Franklin)



AGRADECIMIENTOS

Doy gracias a Dios, a quien sirvo desde mis mayores con limpia conciencia, de que sin cesar me acuerdo de ti en mis oraciones noche y día (2 Timoteo 1:3).

Gracias a mi Dios, mi Rey de reyes y Señor de señores, Dueño de la Ciencia y de todo el Universo. Porque la gloria de Jehová es grande y él es extenso en sus caminos, Jehová atiende al humilde y mira de lejos al altivo. Por mi estancia en Michoacán y el logro de esta Maestría. Gracias ¡Abbá padre!

Este proyecto realizado, es una más de mis metas en la vida y es el fruto del gran esfuerzo del autor y de las organizaciones gubernamentales que han puesto su confianza en este humilde servidor. Por este logro alcanzado, agradezco infinitamente a:



La División de Estudios de Posgrado de la Facultad de Ingeniería en Tecnología de la Madera incorporada a la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, por el alojamiento, la comprensión y la confianza depositada para realizar este proyecto de Maestría en Ciencias. Morelia, Michoacán.



A la Dirección General de Educación Superior Tecnológica (D.G.E.S.T.), por la Beca-Comisión otorgada, así como al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por la beca asignada, ambas en el periodo, Agosto 2012 - Agosto 2014.



Al Centro de Articulación Productiva Madera y Mueble del Instituto Tecnológico de la Zona Maya, por haber abierto las puertas del laboratorio para la obtención de los datos en la presente investigación. Juan Sarabia, Quintana Roo.



Gracias a todos los que hicieron este camino más corto y a su vez, más simple, a los que siempre estuvieron a mi lado brindando el apoyo y el conocimiento científico para cumplir esta meta.

PRODUCTORES FORESTALES: Gracias a los productores Forestales del ejido Caoba, Quintana Roo, quienes donaron la madera de *Vitex gaumeri* Greenm (Ya'axnik), para realizar dicha investigación.

AL Dr. PABLO LÓPEZ ALBARRÁN: Director de la División de Estudios de Posgrado de la Facultad, de quien recibí amistad, apoyo y comprensión en todo momento. Gracias Dr.

AL Dr. MANUEL DE JESÚS SORIA FREGOSO: Gracias señor Director del Instituto en el periodo Mayo 2012 - Mayo 2014, por ser la llave que conecta al ITZM con la DGEST y pedirles que me brinden una oportunidad para dar el siguiente paso que es la maestría. Meta programada, meta cumplida, como le gusta a este amigo. Que académicamente le cumplas.

A MIS DIRECTORES DE TESIS: Gracias al Dr. Raúl Espinoza Herrera y al Dr. José Cruz de León, por haber confiado en un servidor para llevar a cabo esta tesis, por los conocimientos transmitidos,

la orientación científica y por enseñarme la visualización estratégica que un investigador debe reunir.

A MI MESA DE SINODALES: Al M.C. Roberto Calderón Muñoz, conocimiento, paciencia y liderazgo, gracias Calderón. Al M.C. Marco Antonio Herrera Ferreyra, por los consejos que me brindó y me siguen ayudando a formarme como persona y como investigador. Al Dr. Jorge E. Ambriz Parra, por todo el apoyo como brindado en tiempo y forma. Gracias a todos.

A MIS MAESTROS: Al Dr. José Guadalupe Rutiaga Quiñones, a la Dra. Nelly Flores Ramírez, al Dr. Rafael Herrera Bucio, al Dr. Javier Sotomayor Castellanos, al M.C. Héctor Sosa, al Dr. Crisanto Velázquez Becerra, a la Dra. Lada Domratcheva Lvova y al Dr. David Raya González; mis grandes maestros y también, mis grandes amigos. Muchas gracias por todo.

PERSONAL POSTECMA Y FITECMA: Porque siempre estuviste atento a mis necesidades como estudiante para resolver las encomiendas de mis maestros, tendiste tu mano cuando la necesite y me apoyaste con gran amabilidad y una gran sonrisa en todo momento. A la señora Estelita Méndez, que es una dama de admiración y respeto y que su amistad es incondicional. A José Juan Ángel, Eduardo Vargas, Teresita y al Sr. Maurilio, gracias por su apoyo, confianza y amistad brinda.

A MIS COMPAÑEROS (AS) DEL POSGRADO: A toda la generación Agosto 2012 - Agosto 2014, Gracias por su apoyo y amistad. Aracely Ramos, Patricia Hernández, Alejandra Hernández, Guadalupe Pineda, Miriam Torres, Juan Carlos Farías, Juan Carlos Casimiro, Eduardo Díaz, Alejandro Garibay, Julio César Camarena, Oswaldo Moreno, Wilbert Montejó y Adriel Hernández. Gracias Maestros en Ciencias por lo momentos compartidos y su entrega total.

A MIS COMPAÑEROS (AS) DEL ITZM: Que con sus bromas, ambiente laboral espectacular, ánimos, confianza y amistad, han colaborado para construir un Maestro en Ciencias para la Investigación de la Institución. Compañeros y compañeras, administrativos y docentes, sigamos juntos edificando el Tec Zona Maya y construyendo el Quintana Roo, que tanto queremos.

A LA SEÑORA ESTELA DÍAZ VILLANUEVA: Por su gran amistad y confianza. Manantiales del Obispo No. 59. Un hogar, una familia en Michoacán, que me lleno de protección en todo momento. Señora, gracias, porque también sabes agradecer. Dios te cuide siempre.

Hubo ocasiones que llegue con la radiación de felicidad en mis ojos, porque había realizado las encomiendas de mi tesis, tocaba la puerta y me abrían, se sentaba ese señor canoso y revisaba mi trabajo y me encontraba miles de detalles. El, solo miraba que yo agachaba mi mirada y respondía afirmativo a todo lo constructivo. Un día se dio a la tarea de mirar hacia mi interior y miró que ese yo se desesperaba, tomó un respiro, se sentó y me dijo: ¡Juan José! quiero que sepas que en la vida todo se puede mejorar, porque: Nada es perfecto, pero todo, es perfectible.

Dr. José Cruz de León ¡Gracias!

DEDICATORIA

Dedico este trabajo, así como todos los logros de vida, a mis dos grandes maestros:

***En memoria de mi madre:
Señora Victoria Solís Villar (Q.E.P.D. †)
y el
Señor Teódulo Hernández Godínez***

Porque en todo momento han estado conmigo apoyándome. Papás muchas ¡Gracias! Los amo.

A MIS HERMANOS (AS): Raymundo (†), Tino, Javier, Lupita, Mari, Maggui, Aida y Betty. Ellos están al pendiente de mí porque soy el pequeño de la casa. Gracias a todos mis hermanos por sus oraciones, preocupaciones y por no olvidarse de Juan. Mi corazón está dividido en porciones y para todos ustedes y sus familias siempre habrá una porción.

A MIS SOBRINOS (AS): Alexander, Ruth, Denny, Raquel, Esmeralda, Suriana, Maritza, Diana Patricia, Astreet, Sergio Iván, Ana Laura, Julio Cesar, Ariana, Briza, Luis Eduardo y Amairanni. Todos ellos impulsan los ánimos de vida y lo más importante, son el fruto del amor de cada uno de mis hermanos y hermanas.

Con amor y cariño para mis *TIOS, TIAS y PRIMOS (AS)* por parte de mi Papá y mi Mamá. Gracias por confiar y creer en mí.

A todos ustedes, un afectuoso abrazo.
Juan José Hernández Solís.

ÍNDICE GENERAL

	Página
ÍNDICE DE CUADROS.....	i
ÍNDICE DE FIGURAS.....	ii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	vi
RESUMEN.....	vii
ABSTRACT.....	viii
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. ANTECEDENTES.....	3
2.1. Antecedentes del maquinado.....	3
2.2. Importancia de los ensayos del maquinado.....	10
2.3. Densidad de la madera.....	13
2.4. Clasificación de la especie.....	14
2.5. Descripción del árbol.....	15
2.6. Descripción anatómica.....	18
2.7. Propiedades Físico-Mecánicas.....	19
2.8. Ubicación de la especie.....	19
2.9. Descripción del área de colecta.....	19
3.- JUSTIFICACIÓN.....	25
4.- OBJETIVOS.....	26
4.1. Objetivo general.....	26
4.2. Objetivos específicos.....	26
5.- HIPÓTESIS.....	27
6. MATERIALES Y MÉTODOS.....	28
6.1. Localización del abastecimiento del material de estudio.....	28
6.2. Aserrío de las trozas.....	29
6.3. Secado de las tablas-patrón.....	31
6.4. Localización del área de maquinado.....	33
6.5. Obtención de las probetas.....	34
6.6. Descripción del equipo y herramientas de apoyo.....	35
6.6.1. Cepilladora.....	36
6.6.2. Lijadora de banda.....	36
6.6.3. Taladro de columna.....	37
6.6.4. Trompo o Tupi.....	38
6.6.5. Torno.....	40
6.7. Procesos de ensayo.....	41
6.7.1. Cepillado.....	41
6.7.2. Lijado.....	42
6.7.3. Taladrado.....	42
6.7.4. Moldurado.....	43
6.7.5. Torneado.....	44
6.8. Evaluación de los defectos.....	45

7. RESULTADOS.....	48
7.1. Cepillado.....	48
7.2. Lijado.....	55
7.3. Taladrado.....	60
7.4. Moldurado.....	66
7.5. Torneado.....	71
8. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN.....	73
8.1. Cepillado.....	73
8.2. Lijado.....	76
8.3. Taladrado.....	79
8.4. Moldurado.....	82
8.5. Torneado.....	85
9. CONCLUSIONES.....	88
9.1. Cepillado.....	88
9.2. Lijado.....	88
9.3. Taladrado.....	88
9.4. Moldurado.....	89
9.5. Torneado.....	89
10.- RECOMENDACIONES.....	90
11.- SUGERENCIAS PARA FUTUROS TRABAJOS.....	92
12.- REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	93
13.- GLOSARIO.....	97
14.- ANEXOS.....	102

ÍNDICE DE CUADROS

	Página
Cuadro 1. Localización de los árboles colectados de la especie <i>Vitex gaumeri</i> Greenm (Ya'axnik), ejido Caoba, Quintana Roo.	28
Cuadro 2. Programa de secado del <i>Metopium brownei</i> (Jacq.) Urban, con la que fue secado el <i>Vitex gaumeri</i> Greenm (Ya'axnik).	32
Cuadro 3. Evaluación de las condición de las probetas, aportado por la Norma. ASTM D 1666-87.....	45
Cuadro 4. Porcentaje en cantidad de defectos presentes en las probetas, aportado por la Norma. ASTM D 1666-87.....	46
Cuadro 5. Calidad de cepillado del <i>Vitex gaumeri</i> Greenm (Ya'axnik), al 10% de contenido de humedad.....	49
Cuadro 6. Calidad de cepillado del <i>Vitex gaumeri</i> Greenm (Ya'axnik), al 15% de contenido de humedad.....	49
Cuadro 7. Calidad de lijado del <i>Vitex gaumeri</i> Greenm (Ya'axnik), al 10% de contenido de humedad.....	55
Cuadro 8. Calidad de lijado del <i>Vitex gaumeri</i> Greenm (Ya'axnik), al 15% de contenido de humedad.....	56
Cuadro 9. Calidad del taladrado del <i>Vitex gaumeri</i> Greenm (Ya'axnik), al 10% de contenido de humedad.....	61
Cuadro 10. Calidad del taladrado del <i>Vitex gaumeri</i> Greenm (Ya'axnik), al 15% de contenido de humedad.....	61
Cuadro 11. Calidad del moldurado del <i>Vitex gaumeri</i> Greenm (Ya'axnik), al 10% de contenido de humedad.....	66
Cuadro 12. Calidad del moldurado del <i>Vitex gaumeri</i> Greenm (Ya'axnik), al 15% de contenido de humedad.....	66
Cuadro 13. Calidad del torneado del <i>Vitex gaumeri</i> Greenm (Ya'axnik), al 10% y 15% de contenido de humedad.....	71

ÍNDICE DE FIGURAS

		Página
Figura 1.	Árbol de <i>Vitex gaumeri</i> Greenm (Ya'axnik) a) Forma del árbol, b) Corteza café amarillenta.....	16
Figura 2.	Órganos del <i>Vitex gaumeri</i> Greenm (Ya'axnik) a) Hojas: haz y envés, b) Inflorescencias y flor.....	17
Figura 3.	Árbol de <i>Vitex gaumeri</i> Greenm (Ya'axnik) a) Fruto, b) Madera.....	18
Figura 4.	Polígono del ejido Caoba, Othón P. Blanco, Quintana Roo, vegetación y usos del suelo.	24
Figura 5.	Acopio de material de investigación del <i>Vitex gaumeri</i> Greenm (Ya'axnik) a) Derribo, desrame y troceo, b) Carga, descarga y transporte de las trozas al aserradero.....	29
Figura 6.	Plantilla de aserrío: a) Plain sawn, b) Cortes longitudinales del Plain sawn.....	30
Figura 7.	Aserrío de las trozas: a) Obtención de tablas-patrón y aplicación de la plantilla “Plain sawn”, b) Sellado de las tablas-patrón	30
Figura 8.	Parque industrial Huay-Pix: a) Estufa de secado, b) Estibado y separadores de las tablas-patrón.....	31
Figura 9.	a) Xilohigrómetro DELMHORST b) Envoltura de las tablas-patrón de <i>Vitex gaumeri</i> Greenm (Ya'axnik), al 10% de contenido de humedad.....	33
Figura 10.	Mapa de ubicación geográfica del CAPMM, Juan Sarabia, Quintana Roo.....	34
Figura 11.	Maquinaria utilizada en la habilitación de las probetas: a) Sierra circular, b) Sierra cinta.....	35
Figura 12.	Plantilla para la obtención de probetas de <i>Vitex gaumeri</i> Greenm (Ya'axnik)	35
Figura 13.	Maquinaria y equipo utilizado en la prueba de cepillado: a) Cepilladora marca Silverline, b) Cuchillas de 20° y 30°	36
Figura 14.	Lijadora de banda invicta modelo delta adaptado con salida de aserrín.....	37
Figura 15.	Equipo utilizado en la prueba de taladrado: a) Taladro de columna, b) Implemento de sujeción de probetas.....	37
Figura 16.	Herramienta de corte del taladrado: a) Broca torsión simple y de puntilla, b) Broca para metal.....	38
Figura 17.	Maquinaria y equipo utilizado en el moldurado: a) Maquina trompo, b) Fresa de carburo de tungsteno, c) Fresa de alta velocidad.....	39

Figura 18.	Implemento de sujeción de probetas del moldurado.....	40
Figura 19.	Maquinaria y equipo utilizado en el torneado: a) Torno para madera de 1100 mm, b) Fresa especial ASTM-D 1666-87.....	40
Figura 20.	Grano astillado, defecto más frecuente en el cepillado al 10% de contenido de humedad.....	50
Figura 21.	Defectos comunes encontrados en la prueba de cepillado: a) Grano apelmusado, b) Grano levantado.....	50
Figura 22.	Porcentajes de defectos en el cepillado del <i>Vitex gaumeri</i> Greenm (Ya'axnik) al 10% de contenido de humedad.....	51
Figura 23.	Porcentajes de defectos en el cepillado del <i>Vitex gaumeri</i> Greenm (Ya'axnik), al 15% de contenido de humedad.....	52
Figura 24.	Comparación de defectos en el contenido de humedad 10% contra 15% en la cuchilla de 30°.....	52
Figura 25.	Comparación de defectos en el contenido de humedad 10% contra 15% en la cuchilla de 20°.....	53
Figura 26.	Comparación del cepillado del <i>Vitex gaumeri</i> Greenm (Ya'axnik), con cuchilla de 20° a 10% de contenido de humedad.....	53
Figura 27.	Comparación del cepillado del <i>Vitex gaumeri</i> Greenm (Ya'axnik), con cuchilla de 30° a 10% de contenido de humedad.....	54
Figura 28.	Comparación del cepillado del <i>Vitex gaumeri</i> Greenm (Ya'axnik), con cuchilla de 20° a 15% de contenido de humedad.....	54
Figura 29.	Comparación del cepillado del <i>Vitex gaumeri</i> Greenm (Ya'axnik), con cuchilla de 30° a 15% de contenido de humedad.....	55
Figura 30.	Rayones, defecto más frecuente en el lijado en ambos contenidos de humedad.....	56
Figura 31.	Porcentajes de defectos en el lijado del <i>Vitex gaumeri</i> Greenm (Ya'axnik), al 10% de contenido de humedad.....	57
Figura 32.	Porcentajes de defectos en el lijado del <i>Vitex gaumeri</i> Greenm (Ya'axnik) al 15% de contenido de humedad.....	57
Figura 33.	Comparación de defectos en el contenido de humedad 10% contra 15% en lijas de grano 80 y 100.....	58
Figura 34.	Comparación del lijado del <i>Vitex gaumeri</i> Greenm (Ya'axnik), con lija de 80 y 100 a 10% de contenido de humedad.....	58
Figura 35.	Comparación del lijado del <i>Vitex gaumeri</i> Greenm (Ya'axnik), con lija de 80 y 100 a 15% de contenido de humedad.....	59
Figura 36.	Comparación del lijado del <i>Vitex gaumeri</i> Greenm (Ya'axnik), con lija de 80 a un contenido de humedad del 10% contra 15%.....	59

Figura 37.	Comparación del lijado del <i>Vitex gaumeri</i> Greenm (Ya'axnik), con lija de 100 a un contenido de humedad del 10% contra 15%.....	60
Figura 38.	Grano arrancado, defecto más frecuente en el taladrado al contenido de humedad del 10%.....	61
Figura 39.	Grano veloso, defecto más frecuente en el taladrado al contenido de humedad del 15%.....	62
Figura 40.	Porcentajes de defectos en el taladrado del <i>Vitex gaumeri</i> Greenm (Ya'axnik) al 10% de contenido de humedad.....	62
Figura 41.	Porcentajes de defectos en el taladrado del Ya'axnik (<i>Vitex gaumeri</i> Greenm) al 15% de contenido de humedad.....	63
Figura 42.	Comparación de defectos en el contenido de humedad 10% contra 15% en el taladrado del <i>Vitex gaumeri</i> Greenm (Ya'axnik).....	63
Figura 43.	Comparación del taladrado del <i>Vitex gaumeri</i> Greenm (Ya'axnik), con broca puntilla y broca metal a un contenido de humedad del 10%.....	64
Figura 44.	Comparación del taladrado del <i>Vitex gaumeri</i> Greenm (Ya'axnik), con broca puntilla y broca metal a un contenido de humedad del 15%.....	64
Figura 45.	Comparación del taladrado del <i>Vitex gaumeri</i> Greenm (Ya'axnik), a un contenido de humedad del 10% contra 15%, en la broca de puntilla.....	65
Figura 46.	Comparación del taladrado del <i>Vitex gaumeri</i> Greenm (Ya'axnik), a un contenido de humedad del 10% contra 15%, en la broca para metal.....	65
Figura 47.	Grano arrancado, defecto más frecuente en el moldurado a un contenido de humedad del 10%.....	67
Figura 48.	Grano veloso, defecto más frecuente en el moldurado a un contenido de humedad del 15%.....	67
Figura 49.	Porcentajes de defectos en el moldurado del <i>Vitex gaumeri</i> Greenm (Ya'axnik), al 10% de contenido de humedad.....	67
Figura 50.	Porcentajes de defectos en el moldurado del <i>Vitex gaumeri</i> Greenm (Ya'axnik), al 15% de contenido de humedad.....	68
Figura 51.	Comparación de defectos en el contenido de humedad 10% contra 15% en el moldurado del <i>Vitex gaumeri</i> Greenm (Ya'axnik)	68
Figura 52.	Comparación del moldurado del <i>Vitex gaumeri</i> Greenm (Ya'axnik), con fresa carburo de tungsteno y alta velocidad a un contenido de humedad del 10%.....	69

Figura 53.	Comparación del moldurado del <i>Vitex gaumeri</i> Greenm (Ya'axnik), con fresa carburo de tungsteno y alta velocidad a un contenido de humedad del 15%.....	69
Figura 54.	Comparación del moldurado del <i>Vitex gaumeri</i> Greenm (Ya'axnik), con fresa de carburo de tungsteno y un contenido de humedad del 10% contra el 15%.....	70
Figura 55.	Comparación del moldurado del <i>Vitex gaumeri</i> Greenm (Ya'axnik), con fresa de alta velocidad y un contenido de humedad del 10% contra el 15%.....	70
Figura 56.	Grano arrancado, defecto más frecuente en el torneado al 10% y 15% de contenido de humedad.....	71
Figura 57.	Comparación de defectos en el contenido de humedad 10% contra 15% en el torneado del <i>Vitex gaumeri</i> Greenm (Ya'axnik)	72
Figura 58.	Comparación del torneado del <i>Vitex gaumeri</i> Greenm (Ya'axnik), con fresa especial a un contenido de humedad del 10% contra el 15%.....	72

INDICE DE ANEXOS

	Página
Anexo A. Resultados del cepillado al 10% de contenido de humedad con cuchilla de 30° al hilo y contrahilo.....	103
Anexo A.1 Resultados del cepillado al 10% de contenido de humedad con cuchilla de 20° al hilo y contrahilo.....	104
Anexo B. Resultados del lijado al 10% de contenido de humedad con lija del grano 80 y 100.....	105
Anexo C. Resultados del taladrado al 10% de contenido de humedad con broca puntilla y broca para metal.....	106
Anexo D. Resultados del moldurado al 10% de contenido de humedad con fresas de carburo de tungsteno y alta velocidad.....	107
Anexo E. Resultados del torneado al 10% de contenido de humedad con fresa especial emitida por la Norma.....	108
Anexo F. Resultados del cepillado al 15% de contenido de humedad con cuchilla de 30° al hilo y contrahilo.....	109
Anexo F.1 Resultados del cepillado al 15% de contenido de humedad con cuchilla de 20° al hilo y contrahilo.....	110
Anexo G. Resultados del lijado al 15% de contenido de humedad con lija del grano 80 y 100.....	111
Anexo H. Resultados del taladrado al 15% de contenido de humedad con broca puntilla y broca para metal.....	112
Anexo I. Resultados del moldurado al 15% de contenido de humedad con fresas de carburo de tungsteno y alta velocidad.....	113
Anexo J. Resultados del torneado al 15% de contenido de humedad con fresa especial emitida por la Norma.....	114
Anexo K. Secuela de secado del <i>Vitex gaumeri</i> Greenm (Ya'axnik)	115
Anexo L. Sustitución de fórmulas para el complemento de los resultados de la calidad del maquinado.....	116
Anexo M. Imágenes del proceso de evaluación del maquinado en ambos contenido de humedad.....	117

MAQUINADO DE LA MADERA DE *Vitex gaumeri* Greenm (YA'AXNIK) PROCEDENTE DE QUINTANA ROO, MÉXICO.

RESUMEN

La Selva de Quintana Roo, es uno de los bosques tropicales con gran diversidad florística. La madera tropical por lo consiguiente, es el elemento que juega el papel más importante para el desarrollo de la industria forestal local, nacional e internacional. Basándose en los reportes de la SEMARNAT (2007), se encuentra que el *Vitex gaumeri* Greenm, conocido como Ya'axnik (“*El árbol de la flor de Mayo*”, en el vocablo Maya), es una especie de gran expansión territorial y con grandes volúmenes maderables aprovechables, sin embargo, por las características físicas no tan favorables que la especie presenta, se ha subutilizado la especie en usos inadecuados donde no se aprecia su verdadero valor. Tomando en cuenta los antecedentes generales de la especie y partiendo desde conocimientos básicos de ciencia y tecnología de la madera se realiza la presente investigación sobre maquinado de la madera cuya finalidad del presente trabajo es contribuir a la información sobre esta especie emitiendo resultados que coadyuven a la industrialización de la madera. El maquinado se realizó en contenidos de humedad del 10% y 15%, evaluando cinco procesos que son: el cepillado, lijado, taladrado, moldurado y torneado, aplicando una gama de implementos cortantes diferentes para cada proceso y obteniendo resultados desde excelentes hasta muy pobres en diversas probetas de madera, basadas en la Norma ASTM-D 1666-87. El 80% de las pruebas realizadas tiene un comportamiento de grado 1, es decir, excelente, cuando se trabaja a un contenido de humedad del 15%. Finalmente por ser una madera dura de alta densidad y basándose en los estudios Físicos-Mecánicos así como su maquinado, la madera se recomienda especialmente para: duela, parquet, muebles con ángulo de 90° en sus piezas, cocinas integrales, lambrín y chambranas para marcos de puertas y ventanas.

Palabras clave: Cepillado, Lijado, Taladrado, Moldurado y Torneado.

ABSTRACT

The Forest of Quintana Roo, is one of the tropical forests with high floristic diversity. Tropical timber so therefore is the element that plays the most important for the development of local, national and international forest industry paper. Based on reports from SEMARNAT (2007) found that *Vitex gaumeri* Greenm known as Ya'axnik ("*The tree of May Flower*" in the Maya word), is a species of great territorial expansion and large harvestable timber volumes, however, not so favorable physical characteristics as the species has, has been underutilized species in inappropriate applications where the true value is not appreciated. Taking into account the general history of the species and starting from a basic knowledge of wood technology research this wood machining is performed whose purpose of this paper is to contribute to the information on this species issuing results that contribute to the industrialization of timber. The machining is performed on moisture content 10% and 15%, assessing five processes are: brushing, sanding, drilling, turning, molding and applying a range of different cutting tools for each process and getting results from excellent to very poor in various wood specimens, based on ASTM-D 1666-87. 80% of the tests performed has a behavior of grade, excellent, when working at a moisture content of 15%. Finally for being a hard dense wood and based on the Physical-Mechanical studies and their machining, wood is particularly recommended for: pain flooring, parquet, furniture with 90 ° angle into parts, integrated kitchens, furred and chambranas for door frames and windows.

Keywords: Brushing, Sanding, Drilling, Molding and Turning.

1. INTRODUCCIÓN

La flora de la República Mexicana es una de las más abundante y variada en especies de la tierra. En su territorio se han establecido diversos tipos de vegetación caracterizados por la presencia de numerosas especies de árboles y arbustos, los cuales constituyen un recurso forestal natural renovable por los muchos productos y beneficios que de ellos se derivan, por ello son un patrimonio para todos los habitantes de la tierra (Soto, 2013).

Al sur de México, se localiza la península de Yucatán con una gran diversidad de especies tropicales en flora y fauna. Al norte de la región amazónica, la porción de selva continua más grande que se puede encontrar es la llamada “Selva Maya”, distribuida en la península de Yucatán junto con los tres departamentos del país de Belice (Belice, Corozal y Orange Walk) y el país de Guatemala (Blanco *et al.*, 1994). El estado de Quintana Roo, es uno de los estados incluidos, que cuenta con gran extensión territorial de selvas a lo largo y ancho de su territorio. En ese estado, existe una porción en la que predominan las selvas medianas y bajas y también la población de origen Maya, por lo que se le conoce con el nombre de “zona maya de Quintana Roo”; la selva a su vez cuenta con un manejo forestal en todas de alta densidad de árboles, principalmente en el centro y sur del estado. El sector forestal se dedica a realizar los aprovechamientos maderables a especies clasificadas como preciosas, duras, semiduras, suaves y el resto de la madera lo califican como corriente tropical, sin darle el valor comercial que merece. Las maderas tropicales por naturaleza son preciosas, todas tienen características organolépticas (color, olor, sabor, brillo, hilo y veteado) muy propias, que favorecen a la industria forestal maderable y no maderable, porque de ahí también emanan productos químicos, farmacéuticos, alimenticios y domésticos, que facilitan la vida diaria de todos los humanos.

El *Vitex gaumeri* Greenm (Ya'axnik), es una especie forestal tropical caracterizada físico-mecánicamente como dura y nominada como corriente tropical por los productores del estado. Se encuentra ubicada en el selva baja subperennifolia, es una especie subutilizada por los productores y sin manejo forestal hasta el momento, sin embargo se encuentra dentro de los planes de aprovechamiento anual autorizado. Quintana Roo, anualmente tiene la autorización de aprovechar 154,000 m³ de madera, de los cuales 11,000 m³ corresponden a la especie de Caoba (CONAFOR, 2009) y en existencia volumétrica la cantidad de 250,908 m³ para Ya'axnik, sin aprovecharse en la zona centro y sur del estado (SEMARNAT, 2007).

Con la finalidad de contribuir con la aportación de información sobre esta especie, la presente investigación consiste en llevar a cabo el maquinado de la madera desarrollando cinco procesos que son: cepillado, lijado, taladrado, moldurado y torneado, en dos contenidos de humedad diferentes que son el 10% y el 15%, bajo los estándares de la Norma ASTM-D 1666-87 (reaprobada en 1999), para conocer el comportamiento de la trabajabilidad de la madera ante las herramientas de corte.

Con el presente trabajo de tesis se pretende aportar al conocimiento sobre la calidad y comportamiento de la especie ante las herramientas de corte. Así mismo, se busca que los conocimientos adquiridos sean de utilidad para promover un mejor aprovechamiento de la madera de Ya'axnik, cuyos productos tengan un valor agregado en el mercado de la transformación industrial. Con esta investigación, se espera iniciar un camino en donde se contribuya a que el material conocido como madera, tenga una presencia más significativa en el comercio en los productos derivados de ella después de realizarse las pruebas de maquinado.

La investigación se realizó bajo la coordinación científica de los Laboratorios de Físicamecánica de la Madera de la Facultad de Ingeniería en Tecnología de la Madera (FITECMA) de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (UMSNH) y el Centro de Articulación Productiva Madera y Mueble (CAPMM) del Instituto Tecnológico de la Zona Maya (ITZM), del estado de Quintana Roo.

2. ANTECEDENTES

2.1. Antecedentes del maquinado

Davis (1960), realizó un estudio sobre maquinado, donde el efecto de la velocidad y la densidad de la madera son el factor de estudio para *Pinus ponderosa* y *Pseudotsuga menziesii*. En los resultados demostró que el número de anillos por pulgada lineal y el peso específico afectan las características de maquinado en un grado altamente significativo y concluyó que para estas especies el número de anillos por pulgada tiene más efecto en las propiedades de maquinado que la propia densidad básica.

Mckenzie (1960), analizó la acción del filo del elemento de corte sobre la madera y determinó que los factores que afectaron el proceso de corte para obtener un buen acabado son: el contenido de humedad, la dirección y orientación del hilo, la velocidad de corte y la fricción entre la madera y el filo del elemento de corte.

La publicación de un manual de maquinado y otras características relacionadas de 60 especies maderables nativas y de plantaciones en el país de Puerto Rico, es realizada por Longwood (1961), donde utilizó para el proceso de cepillado 50 probetas, estas fueron trabajadas con un ángulo de corte de 30° y con 60 marcas de cuchilla por pulgada; aclara que la gravedad específica y la textura, tuvieron poca influencia en el maquinado. Las maderas con hilo recto presentaron una tendencia a obtener superficies más tersas que las que presentaban desviaciones del mismo, con algunas excepciones como el caso del palo colorado (*Cyrilla racemiflora* L.). En general se obtuvieron superficies tersas a $\frac{1}{8}$ y a $\frac{1}{16}$ de pulgada de desbaste; para el lijado las maderas ligeras presentaron una tendencia a presentar grano apelmusado, mientras que en maderas densas de textura fina el defecto más frecuente fue el rayón, las maderas presentaron superficies más tersas con el grano más fino de la lija implementada. Para el moldurado, las maderas con mayor gravedad específica presentaron mejores características en comparación con las de menor gravedad específica, con algunas excepciones tales como la higuierilla (*Vitex divaricata* Sw.) y la casuarina (*Casuarina equisetifolia* L.); para el torneado se usó una velocidad de giro de 3300 rpm, en este ensayo las maderas más densas obtuvieron mejores resultados comparativamente con las de baja densidad; en el taladrado se utilizó una velocidad de giro del cabezal de 1725 rpm y una broca de una pulgada para barrenar madera y se probaron

50 piezas por especie, en este ensayo la gravedad específica fue un factor importante, siendo las maderas más densas las que presentaron mejor calidad de maquinado ante esta prueba.

Quien realizó un estudio de las características de maquinado en algunos géneros de maderas duras de interés comercial para la industria de la construcción en Estados Unidos de Norte América, utilizando los géneros de *Acer*, *Carya*, *Nyssa*, *Populus*, *Quercus* y *Ulmus*, es el autor Davis (1962), en dicha investigación encuentra que la influencia de varios factores determinantes para un buen maquinado de las maderas son: la gravedad específica, el número promedio de anillos por pulgada, las desviaciones en el hilo, el contenido de humedad y los defectos de secado; también especifica que durante el cepillado cuando se utiliza una cuchilla con menor ángulo de corte las características de cepillado mejoran, sobre todo para el caso de maderas duras, pero que en general, las especies con buenas características de cepillado proporcionan buenos resultados con diferentes ángulos; en el caso del lijado señala que las maderas duras de textura fina son más propensas a presentar el defecto conocido como rayones. Para el torneado las probetas se acondicionaron a un 6 %, 12 % y 20 % de contenido de humedad argumentando que a un 6 % y a un 12 % de contenido de humedad la madera se tornea igualmente bien y cuando se trabajó al 20 % de contenido de humedad se obtuvieron mejores resultados e indicó que las maderas más densas de textura fina y porosidad difusa son las que proporcionan superficies más tersas, siguiéndoles las maderas de porosidad circular y en último lugar las maderas ligeras de porosidad difusa; en el moldurado las piezas acondicionadas a un 6 % de contenido de humedad presentaron mejores características de maquinado que las probetas acondicionadas a un 12 % de contenido de humedad, también las maderas con porosidad difusa presentaron buenos resultados, al igual que las especies de gravedad específica alta; para el barrenado las maderas más densas dieron en general mejores resultados que las maderas más ligeras.

El autor Shniewind (1963), realizó una investigación sobre el maquinado de *Sequoia sempervirens*, en el que menciona que la calidad del proceso de cepillado, taladrado y moldurado, en la madera juvenil de esta especie, es inferior al de la madera madura.

Mori y Hoshi (1964) mencionan que el efecto del ángulo de corte, el desgaste del filo y calidad de acabado de la superficie influyen en el proceso de cepillado. En el desarrollo de la investigación notaron que a mayor ángulo de las cuchillas para cepillado, se producen acabados

muy pobres, existen mayores dificultades mecánicas al procesar la madera y la deformación es más rápida en el filo de las cuchillas.

Otra investigación realizada sobre el maquinado de la madera es efectuada por Koch (1964), donde analizó la calidad de la superficie sobre la madera, contenido de humedad, densidad básica, dirección del grano, velocidad de corte, número de cuchillas en el cabezal, ángulo de corte, velocidad de alimentación y profundidad de corte, concluyendo que un ángulo de corte de 30° en las cuchillas es el más recomendable para cepillar maderas suaves y para el caso de maderas duras un ángulo de 20° es el más adecuado. Para el caso del lijado relacionó la calidad de la superficie obtenida con el tipo de abrasivo utilizado y señala que una lijadora de banda produce más rayones y grano apelmusado en la superficie de la madera maquinada que una lijadora de tambor; en el torneado relacionó la calidad de superficie con la velocidad del eje, la longitud de la cuchilla, la forma del corte y las características de la madera. Concluye que se obtiene una mejor calidad de la superficie trabajada cuando el contenido de humedad de la madera es de 6 %, y menor calidad al 12 % y 20 %.

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.

Koch (1972), realizó investigaciones específicas para las propiedades y la utilización de los pinos del sur. Sus estudios se basaron en la adquisición de experiencia en el diseño y fabricación de cepilladoras y cuchillas, pasó un año estudiando los efectos de la formación de la viruta, la potencia del cabezal de corte y la calidad de las superficies generadas en el fresado periférico. La investigación realizada abarcó dos objetivos principales, la primera fue la caracterización del árbol de pino del sur como materia prima, y la segunda la descripción de los procesos mediante los cuales se podría utilizar. Esta investigación estuvo basada en la literatura existente sobre el pino del sur que se remonta a cerca del cambio de siglo; la investigación en esos últimos 8 años y las opiniones de las autoridades en sus campos, de información específica otras especies, pero aplicables a los pinos del sur.

Zavala (1976), realizó un estudio sobre las características de maquinado de seis especies maderables tropicales, como son: *Manilkara zapota* L. V. Royen (Chicozapote), *Cordia dodecandra* DC (Ciricote), *Piscidia communis* Black I. M. Johnst (Jabín), *Pouteria campechiana* Kunth (Kanisté), *Lysiloma bahamensis* Benth (Tzalam) y *Alnus arguta* Shlecht Spach (Aile), con pesos específicos entre 0.54 g/cm³ a 0.98 g/cm³; variando el número de probetas utilizadas para cada especie y en otros procesos solo utilizó entre 30 y 50 piezas; en el caso del cepillado utilizó cuchillas con ángulos de corte de 20° y 30°. En cuanto a los resultados obtenidos estos se contraponen a lo mencionado por la literatura, ya que para un ángulo de corte de 30° se obtuvieron los mejores resultados. Concluye que en general a mayor número de marcas de cuchilla corresponde un mejor acabado en las especies estudiadas. Determinó que en el lijado de Chicozapote y Ciricote, el defecto más frecuente fueron los rayones, en tanto que para el Jabín, Kanisté, Tzalam y Aile, los defectos más frecuentes fueron los rayones y el grano apelmusado, predominando este último en el caso del Jabín y Kanisté. En general concluyó que maderas de textura fina presentan más rayones que las de textura gruesa, de manera similar en las maderas pesadas existe menor presencia de grano apelmusado que las maderas ligeras. Cabe destacar que el comportamiento del taladrado en las especies con textura fina homogénea fue mejor que en las de textura mediana homogénea y muy por debajo en la de textura mediana heterogénea. Concluye para el caso del moldurado el Chicozapote y el Jabín, son especies que presentaron resultados excelentes; Ciricote y Kanisté presentaron resultados buenos; mientras que el Aile y Tzalam, presentaron resultados regulares. De manera general concluyó que las maderas más densas presentaron mejores características de moldurado; en el caso del torneado en general obtuvo una mejor calidad de la superficie trabajada a un contenido de humedad de 8% que al 12%.

Herrera (1981), realizó la investigación sobre maquinado de cinco especies del género *Quercus*; *Q. resinosa*, *Q. castanea*, *Q. candicans* y *Q. obtusata*, son colectadas en el estado de Michoacán y *Quercus sideroxyla* en el estado de Durango. Para el proceso de cepillado reporta que la mejor calidad de la madera se obtuvo de las cuchillas de 20° a una velocidad de alimentación de 19 marcas por centímetro. En cuanto a lijado y taladrado, las cinco especies presentaron resultados de buenos a excelentes. Para el moldurado se comporta con mejor calidad cuando se realiza con sentido paralelo al grano lo contrario del sentido diagonal al grano. Finalmente el torneado obtuvo resultados que van de buenos a regulares.

Flores (1990), citado por Meraz (2007), menciona que se realizó el maquinado de cuatro especies de encino del estado de Puebla. El cepillado de manera general para estas especies fue bueno cuando se usó la cuchilla de 20° y 16.8 marcas de cuchilla por centímetro. Cuando se aumentó el número de marcas y el grado de la cuchilla los resultados fueron regulares. Para el torneado reporta excelentes resultados trabajando con madera a un contenido de humedad del 12%, excepto el encino roble quien presenta resultados regulares en un contenido de humedad por debajo del 7%. El proceso del torneado se reporta como pobre y para los procesos de taladrado, moldurado y lijado, los resultados son excelentes.

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 taladrado fue excelente con un tiempo de penetración de 15.14 segundos. 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/cm³) de la madera. El torneado fue clasificado como bueno; los mejores resultados se lograron cuando se tuvo un contenido de humedad de 14 %.

Martínez-Castillo 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 *Pinus pseudostrobus* y *Pinus patula*, y como excelente en *Pinus 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 *Pinus pseudostrobus* se clasificó como bueno, y como excelente en *Pinus patula* y *Pinus teocote*. En el caso del moldurado, las tres especies se clasificaron como excelentes (Martínez & Martínez-Pinillos, 1996^a).

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 taladrado 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 %.

Ordóñez y Martínez (1997), realizaron la investigación del maquinado y la susceptibilidad a la impregnación de la madera del árbol del hule (*Hevea brasiliensis*), proveniente de una plantación de Veracruz, utilizando la Norma ASTM-D 1666-64, esta madera presentó acabados de calidad regular en la mayor parte de los procesos; solamente en el cepillado presenta acabados pobres con cuchillas de 30° y 25° y una velocidad de giro del cabezal porta cuchillas de 5000 rpm; en el ensayo de lijado con la lija de grado 60 las caras presentan un acabado muy pobre con grano arrancado en todas las probetas, en tanto que para los grados 80 y 100 la clasificación fue de regular; en el taladrado esta madera presentó un resultado regular con una velocidad de giro de la broca de 1415 rpm; por último para el caso del moldurado la clasificación que obtuvo fue de buena con un ángulo probado de 30° y 7000 rpm. La clasificación general de la madera es aceptable.

Zavala y Vázquez (1999), realizaron un estudio donde se determinaron las características de maquinado de 34 especies tropicales, llevando a cabo los procesos de cepillado y lijado bajo la Norma ASTM-D 1666-64. Para el cepillado destacan que 13 especies presentaron características excelentes y buenas, 14 se clasifican como regulares y 7 como pobres y muy pobres. El ángulo de 20° de la cuchilla, dio mejores resultados para especies de densidad media a alta y el ángulo de cuchilla de 30° fue el que mejor se comportó para maderas de baja densidad o blandas. Para el lijado 15 especies las clasificaron como excelentes, 4 como buenas, 6 como regulares y 9 como pobres y muy pobres.

Zavala-Zavala y Vázquez-Rodríguez (2001), realizaron el maquinado para 34 especies tropicales, dentro del listado de especies presentadas, se encontró a la especie *Vitex gaumeri* (Ya'axnik) con resultados comúnmente pobres y buenos para el maquinado. En los procesos no menciona la procedencia exacta de la madera, en otros procesos no especifica las herramientas de corte con las cuales consiguió los buenos resultados y ni las velocidades a las que trabajó la especie.

Trujillo (2003), Realizó un estudio de maquinado sobre la madera de *Pithecellobium ebano* (Benth) Berlan, donde la madera tiene una respuesta favorable a la mayoría de las máquinas y herramientas que se utilizaron para realizar las pruebas y debido a la alta densidad y textura fina, presenta maquinados con superficies lisas y brillantes en aquellos procesos donde se comportó buena o excelente. Para el cepillado tiene buenos o excelentes resultados, para el lijado recomiendan que con la lija del grano 100 se obtienen acabados excelentes. El taladrado resultó ser mejor cuando se trabajó a bajas velocidades. El moldurado se presentó excelente cuando se realizó en sentido longitudinal a la fibra. Finalmente mostró un torneado excelente.

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).

Báez (2006), realizó una investigación sobre características anatómicas y de maquinado de la madera de *Mangifera indica* (mango criollo), donde destacó que esta madera tiene hilo entrecruzado y ondulado, además para el maquinado presentó un comportamiento de pobre a muy pobre, en las pruebas de cepillado, taladrado, moldurado y torneado y se comportó excelente ante el lijado. Destacó que el hilo entrecruzado solo se manifiesta en caras radiales y podría mejorarse el maquinado si se realizara en caras longitudinales. Finalmente destaca que existen abundantes cristales en el interior de los rayos, esto propició una pérdida de filo más rápidamente en cada una de las herramientas utilizadas.

Meraz (2007), realizó un estudio de maquinado de *Acrocarpus fraxinifolius* Wigh & Arn, (Cedro rosado) en edades de 7 y 13.5 proveniente de plantaciones de la Sierra Norte de Puebla. En

primera instancia destacó que el entrecruzamiento del hilo en la madera influyó de manera negativa en la calidad del cepillado, sin embargo, la madera de 7 años tuvo excelentes resultados en el cepillado al ser trabajada a 30° y 20° con una velocidad de alimentación de 7.5 m/min, en tanto que la madera de 13.5 años presentó un excelente comportamiento al ser trabajada sólo con el ángulo de 30° y una velocidad de alimentación de 7.5 m/min. Para el lijado, las dos edades presentaron excelentes resultados al ser trabajadas con números de grano de lija de 80 ó 100 y con velocidades de alimentación de 6 y de 8 seg. En la prueba de taladrado, la madera de 7 años presentó una excelente clasificación al ser trabajada a 2230 rpm con una velocidad de alimentación de 0.13 m/min; en tanto que para la madera de 13.5 años la clasificación fue excelente al ser trabajada a 1310 rpm y una velocidad de alimentación de 0.07 m/min. En el ensayo de moldurado con el corte preliminar se obtuvo la clasificación de muy pobre y con el corte final aumentó a regular. En la prueba de torneado se tuvo poca influencia del contenido de humedad, resultando para ambas edades la clasificación de excelente, presentando como defecto más frecuente el grano astillado. En general la madera de 7 años tuvo un mejor comportamiento ante los ensayos de maquinado que se señalan en este trabajo.

2.2. Importancia de los ensayos de maquinado.

Las características de maquinado de la madera de especies tropicales son necesarias en el diseño de muebles y productos de madera y son usualmente determinadas empleando normas de ensayo recomendadas por organismos internacionales de normalización. En otras ocasiones, los investigadores aplican procedimientos y criterios de evaluación adaptados a investigaciones exploratorias y los resultados son publicados en función de las particularidades de las especies estudiadas o de los objetivos de cada investigación.

La importancia del maquinado radica en la necesidad que tiene el ingeniero y trabajadores de la madera, en conocer las características de la especie a utilizar y de ésta manera el resultado de la trabajabilidad de la madera utilizarlo apropiadamente en los procesos constructivos de diseño de muebles y derivados.

Existen hoy en México, varios trabajos sobre maquinado y cada autor le da una importancia de mayor valor o menor a cada proceso. A continuación conoceremos una serie de autores que aportan los valores prioritarios para cada proceso del maquinado.

Zavala-Zavala y Vázquez-Rodríguez (2001), mencionan que las características de maquinado de la madera son básicas para definir su utilización, éstas se refieren al comportamiento de la madera al ser procesada con máquinas o herramientas cortantes en las operaciones de cepillado, lijado, taladrado, moldurado y torneado.

Para Zavala (1976), el cepillado es considerado, después del aserrío, la segunda operación más importante de maquinado de la madera, puesto que prácticamente la mayoría de las piezas tienen que ser calibradas a dimensiones precisas en grosor y de superficies tersas, antes de ser destinadas a algún uso final; y el lijado se realiza con la finalidad de preparar la superficie de la madera para la aplicación de pinturas, lacas u otros acabados y en otros casos se efectúa para reducir el grosor de la madera; finalmente destaca que el cepillado y el lijado son las dos operaciones de maquinado más importantes, porque son a las que necesariamente se tiene que someter la madera para darle el acabado final.

Longwood (1989) recomienda que los cepillos utilizados en pequeños talleres y carpinterías tradicionales, presentan los mejores resultados cuando se cepilla a 3.2 mm de profundidad de corte; esta diferencia se debe a que al realizar cortes finos (delgados) en cepillos pequeños, se produce una mayor vibración que al utilizar cepillos más grandes.

El lijado, según los autores Tamarit y López (2007), consiste en someter la madera a la acción abrasiva de una lija con el fin de calibrar el espesor de la madera, para obtener superficies planas y lisas y para remover marcas de astilla y otros defectos, preparando la superficie para la aplicación de un acabado artificial, también para igualar las piezas que han sido unidas por medio de espigas. Es una de las últimas etapas del maquinado pero no por ello menos importante. Cuando la lija se desgasta, la calidad de la superficie se deteriora, la energía requerida aumenta y la cantidad de madera removida disminuye. Un grano de lija grueso produce superficies ásperas, remueve más madera por unidad de tiempo e incrementa la temperatura de la superficie de la madera. La presión y la velocidad de la banda sobre la pieza cepillada son directamente proporcionales a la madera removida y a la temperatura de la pieza; la velocidad de la lija se

relaciona con la cantidad de madera removida, lijas a alta velocidad producen una superficie lisa y tersa y consumen menos energía por volumen de madera removida que las lijas a baja velocidad.

Continuando con el proceso de maquinado, el taladrado, moldurado y torneado, el autor Zavala (1976), afirma que son operaciones que aun siendo muy importantes, no tienen la relevancia como en las dos anteriores. En primera instancia el taladrado es una operación que consiste en realizar una perforación de un diámetro deseado a una pieza de madera con una gran variedad de máquinas que pueden constar de una o varias brocas colocadas horizontal o verticalmente, la broca puede ser movida hacia la madera o la madera a la broca, su importancia reside fundamentalmente en el mayor o menor ajuste que logren las piezas al hacer uniones de espiga y muescas y ligado a esto el moldurado y torneado; son operaciones que tienen una aplicación específica en la industria maderera, teniendo como uso principalmente en diseños especiales de muebles y las especies que no tengan buen comportamiento a estas operaciones se verán limitadas su aplicación, excluyéndolas de usos especiales, aunque no las margina por completo.

Moreno *et al.* (1984), afirman que el moldurado consiste en estilizar el perfil de una pieza de madera y algunas clases de tableros, en uno o ambos cantos o bien en todo su contorno a fin de mejorar su estética y hacerla más vistosa, por lo que la calidad del corte y detalle de la figura son de suma importancia y la máquina que deben utilizar para realizar este proceso es descrita por Zavala (1976), donde dice que esta operación se lleva a cabo en trompos o molduradoras diseñados para hacer contornos con formas determinadas en la superficie de las piezas, de acuerdo al tipo de fresa utilizado. Tamarit y López (2007), dicen que la mejor calidad de moldurado se obtiene con maderas de densidad media a alta, textura fina y al realizarlo en sentido paralelo o longitudinal al hilo.

Es importante destacar que el taladrado o barrenado como también se le conoce, consiste en hacer una o varias perforaciones de diámetros determinados a una pieza de madera con una o varias brocas colocadas vertical u horizontalmente en una máquina taladro, desplazando la madera hacia la broca o viceversa; se realiza para poder efectuar uniones o ensamblajes. Aunque el taladrado queda cubierto en el producto terminado, la lisura de corte y la precisión del taladrado practicado son importantes, ya que un corte limpio, liso, con un mínimo de desgarre

de la fibra y del tamaño correcto, proporciona un ajuste apretado y superficies que agarran bien las colas, teniéndose una adhesión fuerte entre las uniones (Tamarit y López, 2007).

Para Zavala (1976), el torneado es la operación en la cual se le da forma o figura específica a una pieza de madera haciéndola girar en un torno contra una cuchilla, la cual corta en diferentes direcciones las fibras de la madera. Este proceso se realiza para una gran variedad de productos entre los que se incluyen mangos para herramientas y cuchillos, artículos deportivos, juguetes y partes para muebles, entre otros. La penetración es en el sentido helicoidal y continuo cuando la madera gira y la herramienta de corte avanza en dirección paralela al eje de rotación. Existen dos tipos de torno, el manual con una herramienta cortante sofisticado con cabezal para sujetar varias cuchillas y tornos donde la herramienta de corte esta fija y la madera se acerca a la fresa para ser procesada.

Finalmente Tamarit y López (2007), afirman que otros factores que afectan la calidad del maquinado se relacionan con las herramientas y elementos de corte, tales como: tipo de acero o material de fabricación, ángulos del elemento de corte, profundidad de corte, velocidad de corte, velocidad de alimentación y número de marcas de cuchilla por centímetro. Estos factores que componen las condiciones de trabajo, pueden modificarse para obtenerse los mejores resultados.

2.3. Densidad de la madera

La madera tiene propiedades y características ingenieriles que la convierten en un material de excelente calidad, es adecuada para la elaboración de una amplia gama de productos y artículos a escala industrial. Sin embargo, debido a que es un material de origen orgánico, tiende a degradarse y, por ser higroscópica es dimensionalmente inestable ya que se expande cuando adsorbe humedad y se contrae cuando la pierde. Pese a esto, el avance y desarrollo de la investigación en tecnología de la madera ha permitido lograr contrarrestar sus desventajas, principalmente mediante el desarrollo de técnicas de secado e impregnación, lo que permite usar la madera con un alto grado de confiabilidad (Vignote y Jiménez, 1996).

El contenido de humedad en árboles vivos puede variar entre 30 y más del 200 % (JUNAC, 1989; Simpson y TenWolde, 1992), tal variación está en función de la especie, condiciones de crecimiento y densidad básica de su madera.

Fuentes (1995), define a la densidad como el peso de un material por unidad de volumen, reportado generalmente en gramos por centímetro cúbico. Para Zavala (1993), la densidad es la propiedad física principal, con influencia directa en las características de trabajabilidad con máquinas y herramientas.

Los autores Tamarit y López (2007), dicen que las maderas de mayor densidad tienen mejor resistencia mecánica pero se trabajan y tratan con mayor dificultad. El valor de la densidad depende del espesor de la pared celular de las fibras y varía en función de la especie maderable en un rango de 0.13 a 1.3 g/cm³.

Por otra parte la herencia genética, las condiciones fisiológicas, mecánicas y del medio ambiente actúan sumándose u oponiéndose sobre la calidad de la madera de una especie, y por lo tanto sobre la densidad, produciendo las variaciones intra-específicas. Se ha deducido también que la densidad de la madera dentro de una misma especie aumenta con la latitud y disminuye con la altitud, refiriéndose a la región geográfica normal de distribución de tal especie (Fuentes, 1995).

2.4. Clasificación de la especie

Nombre científico

Vitex gaumeri Greenm.

Sinonimia

Vitex pyramidata Millsp.

Nombres comunes

Ya'axnik, Yashcabté, Nichté, Crucillo

Taxonomía

Familia: Verbenaceae

Genero: *Vitex*

Especie: *gaumeri* Greenm. Citado por Tamarit y López (2007).

Distribución y origen

De origen desconocido, en el estado de Quintana Roo, habita en clima cálido desde el nivel del mar hasta los 30 m. Asociado a bosque tropical perennifolio.

Usos medicinales

El uso medicinal de esta planta sólo se reporta para el estado de Quintana Roo y se le prescribe con mayor frecuencia para el asma y los resfriados. Las hojas son la parte de la planta más comúnmente utilizada para este tipo de enfermedades. Se atienden también otros trastornos como: las úlceras, abscesos y picaduras de moscos. Se dice que sirve como antimalárico.

2.5. Descripción del árbol

Forma

Es un árbol que alcanza hasta los 30 m de altura en estado adulto y un diámetro al pecho de 80 cm aproximadamente. La forma del fuste es cilíndrico, con curvaturas constantes y muy pocas ocasiones bifurcado, (Figura 1a). El interior del fuste es sámago (hueco), se desconoce la edad exacta a la cual se presenta este defecto y presenta nudos de ramificaciones a escasos centímetros de distancias. La ramificación es solo superior y su copa es semi-redonda. Es intolerante a la sombra, por lo cual el árbol se crece en altura buscando la luz solar, dejando abajo otras especies (Hernández y Cruz-de-León, 2013).

Corteza

La corteza es ligeramente fisurada de color café amarillenta y con manchas blancas en algunas secciones del fuste. (Hernández y Cruz-de-León, 2013), (Figura 1b).

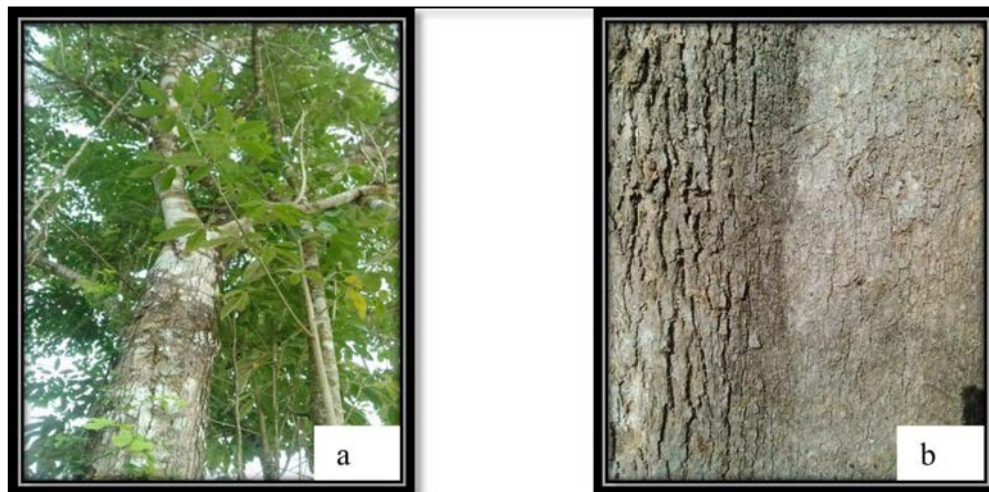


Figura 1. Árbol de *Vitex gaumeri* Greenm (Ya'axnik) a) Forma del árbol b) Corteza café amarillenta.

Hoja

Las hojas son elípticas, de 3 a 5 hojas palmeadas con un peciolo cada hoja unidas a la rama, con borde liso y nervaduras pinnadas. El haz de la hoja es verde oscuro pubescente y el envés de la hoja es verde grisáceo con apariencia lanosa. (Hernández y Cruz-de-León, 2013), (Figura 2a).

Inflorescencias

Las flores se encuentran en racimos de 3 ó 5 de forma palmeada calificadas como plurifloras, (Figura 2b).

Flor

Es de color violeta morado en racimos aromáticos y miden de 1 a 2 cm de largo y de 2 a 3 cm de diámetro, (Figura 2b).

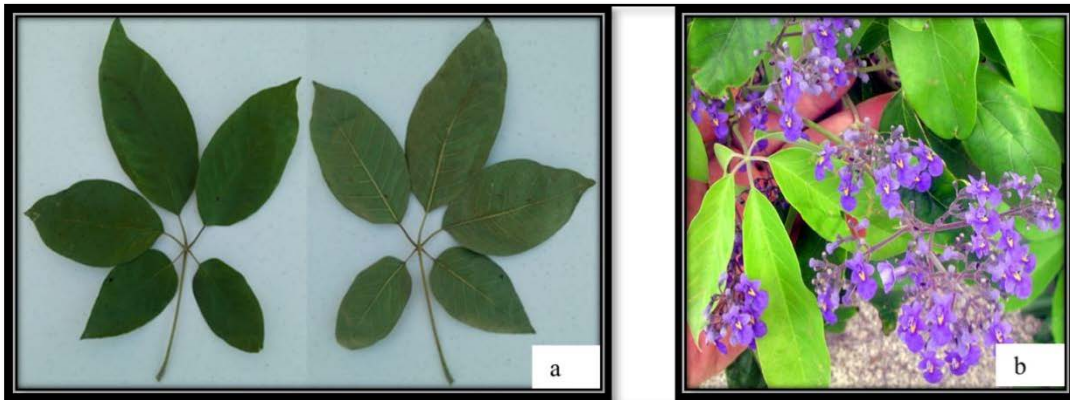


Figura 2. Órganos del *Vitex gaumeri* Greenm (Ya'axnik) a) Hojas: haz y envés, b) Inflorescencias y flor.

Fruto

Es una drupa carnosa tipo globosa, redonda, con un solo embrión. Es de color verde oscuro, globoso y de sabor dulce. Las medidas del fruto parte desde 1 hasta 2 cm de alto por el mismo ancho, esta medida es proporcional porque el fruto es redondo, (Figura 3a).

Semilla

La semilla mide entre 0.5 cm hasta 0.7 cm aproximadamente, en casos extremos llega alcanzar hasta 1 cm, dependiendo del tamaño del fruto. Es de forma ovalada a redonda, suele desarrollarse de acuerdo a la forma externa del fruto.

Madera

La madera presenta vetas castaño oscuro, no tiene olor ni sabor característico, presenta brillo bajo, veteado suave, textura mediana heterogénea e hilo entrecruzado y zonas de crecimiento bien marcados pero con circunferencia irregular y muchas veces se entrecruzan. El color de la madera tardía es el 10YR 6/3 Pole Brown (marrón) y para la madera temprana el 10YR 8/2 White (crema claro) según las tablas de Munsell (Hernández y Cruz-de-León, 2013), (Figura 3b).



Figura 3. Árbol de *Vitex gaumeri* Greenm (Ya'axnik) a) Fruto, b) Madera.

2.6. Descripción anatómica

En esta madera los poros, se ven a simple vista, los rayos y el parénquima son visibles sólo con lupa, la porosidad que presenta es difusa, los poros son solitarios y múltiples radiales de 2 a 4, son numerosos con valor de su media de 14 por mm², de diámetro tangencial pequeño con valor de su media de 89 μ , la longitud de los elementos vasculares es mediana con valor de su media de 417 μ , presenta puntuaciones areoladas alternas y placa perforada simple. El parénquima leñoso es paratraqueal vasicéntrico, los rayos son uniseriados y poliseriados heterogéneos, son numerosos con valor de su media de 8 por mm, los rayos poliseriados son bajos en cuanto a su altura con valor de su media de 344 μ . Las fibras son de tipo libriformes la mayoría y fibrotraqueidas algunas, clasificadas como de longitud larga con valor de su media de 1 742 μ , de diámetro tangencial mediano con valor de su media de 25 μ y el grosor de las paredes es clasificado como delgado con valor de su media de 5 μ . El parénquima presenta sílice (Pérez *et al.*, 1980).

2.7. Propiedades Físico-Mecánicas

Densidad de la madera

La madera presenta una densidad básica de 0.67 g/cm³ y se clasifica como alta a un 12% de contenido de humedad (Torelli, 1982 y Hernández *et al.*, 2013).

Dureza por el método Janka

Se determinó por el método Janka y corresponde para el Ya'axnik una dureza longitudinal media de 929 Kg/cm² y una dureza lateral alta de 801 Kg/cm² (Hernández *et al.*, 2013).

Resistencia a la compresión

Le corresponde a una resistencia a la flexión (MOR) media de 1026 Kg/cm², y una resistencia a la compresión paralela a la fibra media de 563 Kg/cm² como promedio (Hernández *et al.*, 2013).

2.8. Ubicación de la especie

La especie de *Vitex gaumeri* Greenm (Ya'axnik), es una especie de gran abundancia en Quintana Roo, es la tercera especie con mayor presencia volumétrica en el estado con respecto a los informes emitidos por la SEMARNAT (2007).

2.9. Descripción del área de colecta

Antecedentes sobre manejo forestal del ejido Caoba

Durante tres décadas (1954-1983) los terrenos forestales del ejido formaron parte de la concesión de la empresa Maderas Industrializadas de Quintana Roo (MIQRO), que realizó un aprovechamiento enfocado a la extracción de los árboles de caoba y cedro de mejor calidad. En 1983, al finalizar la concesión de MIQRO, se puso en marcha el Plan Piloto Forestal y ese mismo año fue que el ejido Caoba obtuvo su primer permiso de aprovechamiento forestal maderable. Desde 1992 y hasta la fecha, el aprovechamiento forestal se rige por el Estudio de Manejo Integral Forestal (EMIF) formulado en 1990 por la Dirección Técnica Forestal de la SPFEQR

(Sociedad Productora Forestal de Ejidos en Quintana Roo), cuya vigencia terminó durante el año 2001. A partir del año 2002 entró en vigor un nuevo Programa de Manejo cuya vigencia fue de 7 años (2002-2008), cuando se finalizará el primer ciclo de corta.

Certificaciones del ejido Caoba

El ejido Caoba fue evaluado en 1991, junto con otros cuatro ejidos, por el programa SmartWood de Rainforest Alliance y por Green Cross de Scientific Certification Systems. En 1995 obtuvo junto con otros tres ejidos miembros de la SPFEQR, el certificado de buen manejo forestal de SmartWood, registrado con el código número SW-FM-02 con vigencia de 1995 al 2000. La presente evaluación de certificación es la primera que se hace de manera individual a este ejido.

Contexto ambiental del ejido Caoba

Las selvas de Quintana Roo, forman parte de la Selva Maya que se extiende desde el estado de Chiapas al sudeste de México hasta el norte de Guatemala. Los sistemas biológicos de la región incluyen bosques tropicales húmedos de las tierras bajas, así como grandes matorrales conocidos como bajos, que se inundan por crecidas estacionales y representan la zona más vasta de humedales de América Central. Estos sistemas se caracterizan por presentar una alta diversidad biológica, motivo por el cual dentro de la Selva Maya se han establecido cinco Reservas de la Biosfera: Montes Azules, Maya, Calakmul, Sianka'an y Chiquibul.

El ejido Caoba, se encuentra dentro de una de las áreas prioritarias para la conservación, pues se ubica en medio de varias reservas de la biosfera y cercana a la reserva de la biosfera de Calakmul, Campeche. El ecosistema forestal predominante en la región de estudio es el bosque o selva tropical, ecosistema que ocupaba originalmente alrededor del 10% del territorio mexicano y que actualmente ocupa menos del 10% de la superficie original. En el estado de Quintana Roo, las selvas tropicales ocupaban originalmente cerca del 90% del territorio; sin embargo, debido a las actividades humanas en la región, en el año de 1990 solo el 35% de la superficie estuvo ocupada por este ecosistema (Santos *et al.*, 1998) (Figura 4).

Localización del ejido Caoba

El ejido Caoba, pertenece al municipio de Othón P. Blanco, Quintana Roo. Se ubica entre las siguientes coordenadas geográficas: 18° 27' 30" y 18° 12' 30" de latitud norte; 88° 52' 30" y 89° 07' 30" de longitud oeste.

Clima

La región está comprendida dentro de la zona ciclónica tropical del caribe, que en temporadas bien definidas del año está sujeta a tormentas tropicales, ciclones y huracanes.

El clima predominante en la región es del tipo Aw (x'i), (clasificación de Köppen modificado por García 1973). Es un clima cálido subhúmedo, con abundantes lluvias en verano y un periodo de lluvias muy corto en enero y febrero conocido como cabañuelas.

Temperatura

La temperatura media anual es superior a los 26 °C, con una oscilación térmica entre 5 y 7 °C.

Orografía

Los terrenos del ejido Caoba se ubican en la región eco-geográfica del trópico húmedo dentro de la provincia ecológica denominada costa baja de Quintana Roo, caracterizada por su topografía kárstica y por la ausencia de vías de agua superficiales.

Se presentan accidentes topográficos característicos denominados localmente bajos. El nivel de inundación de dichos terrenos en ocasiones puede ser permanente formando lagunas o pequeños cuerpos de agua denominados aguadas cuyas aguas, se aprovechan durante la sequía.

Suelo

La zona se encuentra dentro de la formación geológica de la península de Yucatán, denominada por INEGI como “*Carrillo Puerto*”. Al igual que toda la Península, es parte de una placa calcárea de origen marino. Sus niveles inferiores están constituidos por coquinas de alrededor de 1 m de espesor, cubiertas por calizas impuras y arcillosas, que originan suelos de color amarillento a rojizo, producto de la oxigenación del hierro. En la Península de Yucatán la topografía es relativamente homogénea debido a que el material parental es muy constante. La distribución de los tipos de suelo depende básicamente de las características del paisaje, por lo que las variaciones relativamente pequeñas en el mismo, originan una gran variación local en los suelos, INEGI (1988).

Hidrografía

La Hidrografía se considera estacional ya que el 75% de la precipitación se concentra en el período de mayo a octubre, siendo los meses de septiembre y abril el de máxima y mínima precipitación, respectivamente. Las lluvias de invierno (25% de la precipitación) se originan por los nortes, que generalmente se presentan acompañados por vientos que pueden llegar hasta 100 km/h. La precipitación media anual es de 1200 mm, INEGI (1988) (Figura 4).

Vegetación

La vegetación se clasifica como selva mediana subperennifolia (Miranda 1958) o como bosque tropical perennifolio o subperennifolio (Rzedowski 1978). Se distinguen de las selvas altas perennifolias porque del 25 al 50% de las especies que las integran, pierden el follaje durante la época seca. Miranda (1958), menciona que las selvas más características de la región de estudio son las dominadas por el chicozapote (*Manilkara zapota*) llamadas zapotales.

Una de las principales características de las selvas de Quintana Roo, es que están sujetas a un régimen de disturbio elevado pues han estado expuestas a lo largo de su desarrollo a constantes perturbaciones, entre las que destacan las ocasionadas por los ciclones, huracanes e incendios,

estos últimos causados tanto por agentes naturales como antrópicos (López-Portillo *et al.*, 1990). Estas perturbaciones generan la apertura de grandes claros en el bosque, favoreciendo de esta manera el establecimiento de especies como la caoba (*Swietenia macrophylla*) y el cedro (*Cedrela odorata*). Otra característica importante de la zona es que, a diferencia de otras regiones donde se distribuyen las selvas húmedas, la precipitación es escasa y estacional, con períodos de sequía a veces prolongados. Debido a las características ecológicas expuestas y a que estas selvas crecen bajo tensión ambiental, tanto la estructura como la fisonomía de la vegetación están poco desarrolladas, los doseles son relativamente bajos (normalmente menores de 25 m) los árboles tienen copas estrechas y la dominancia de especies es notable.

El otro tipo de vegetación presente en el ejido Caoba es la selva baja subperennifolia (Pennington y Sarukhán, 1968 y 1998), que está muy relacionada con la selva mediana subperennifolia. El factor que determina la presencia de esta comunidad es edáfico pues se desarrolla en suelos relativamente profundos que se inundan en la temporada de lluvias y pueden llegar a secarse totalmente durante la temporada seca. Se encuentran siempre en hondonadas o “bajos” cuya extensión individual es muy pequeña, pero debido a la frecuencia con que se presentan pueden cubrir en conjunto áreas considerables y que están comunicadas intermitentemente (Figura 4). Algunas de las especies arbóreas que forman estas comunidades en sitios inundables son el tinte (*Haematoxylum campechianum*), chechén negro (*Metopium brownei*), pucté (*Bucida buceras*) entre otras. El primero puede formar una asociación conocida como “tintal” y el segundo a las conocidas como “chechenales”. Se presenta en el área una población pequeña de *Pinus caribea*, que crece en contacto con la selva húmeda a muy poca altitud, se considera que esta especie está en los litorales con el estado de Quintana Roo y Campeche. En Quintana Roo, se le conoce como la Zona Limítrofe de Othón P. Blanco.

El ejido Caoba, cuenta con una diversidad de usos del suelo González (2006) realizó el polígono del ejido, marcando con una simbología diferente a cada área de trabajo en las que se organizó la comunidad.

El ejido Caoba dentro de sus litorales, cuenta con la presencia de selva media subperenifolia, bajos, vegetación secundaria entre los 7 y los 15 años de edad, área de producción agrícola y la presencia de helechos, así como los terrenos bajos o zonas inundables, cuerpos de agua, zona forestal, brechas y caminos con acceso a todas las áreas y centros de población (Figura 4).

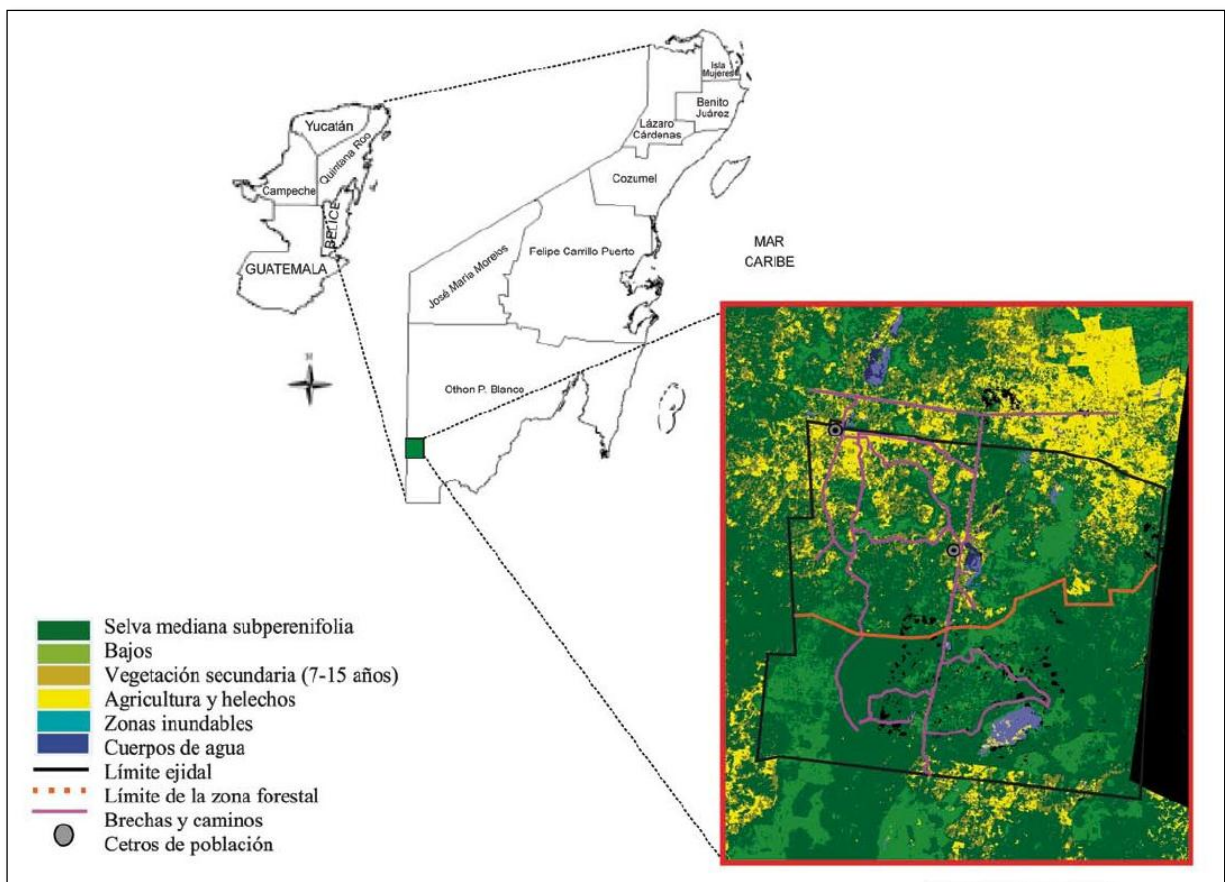


Figura 4. Polígono del ejido Caoba, Othón P. Blanco, Quintana Roo, vegetación y usos del suelo. Imagen. Anatalia González Abraham (2006).

3. JUSTIFICACIÓN

El *Vitex gaumeri* Greenm (Ya'axnik), es una especie de la selva tropical subperenifolia que ocupa la tercera posición dentro de las más abundantes en el Estado de Quintana Roo, debido a su regeneración acelerada. Actualmente esta especie no tiene usos importantes, debido a que la clasifican como una especie corriente tropical, sin que se le hayan realizado estudios tecnológicos.

La presente investigación, tiene la finalidad de enriquecer la información sobre esta especie y que sus resultados sean tomados en cuenta para cualquier decisión sobre algún uso potencial que se le otorgue a la madera.

4. OBJETIVOS

4.1. Objetivo general:

Determinar las características del maquinado de la madera de *Vitex gaumeri* Greenm (Ya'axnik), a un contenido de humedad del 10% y 15%.

4.2. Objetivos específicos:

- ❖ Realizar las pruebas de cepillado al hilo y al contrahilo de la madera, con cuchillas de 30° y 20°, en ambos contenidos de humedad.
- ❖ Realizar las pruebas de lijado con lija del grano 80 y 100, en ambos contenidos de humedad.
- ❖ Realizar las pruebas de taladrado con broca de puntilla y broca para metal en ambos contenidos de humedad.
- ❖ Realizar las pruebas de moldurado con fresa de carburo de tungsteno y fresa de alta velocidad en ambos contenidos de humedad.
- ❖ Realizar las pruebas de torneado con la fresa especial indicada por la Norma ASTM-D 1666-87, en ambos contenidos de humedad.

5. HIPÓTESIS

El estudio del maquinado de la madera de *Vitex gaumeri* Greenm (Ya'axnik), permitirá orientar a esta especie a sus usos más apropiados.

6. MATERIALES Y MÉTODOS

6.1. Localización del abastecimiento del material de estudio

La colecta de la especie *Vitex gaumeri* Greenm (Ya'axnik), se realizó en el ejido Caoba, ubicado al sur del estado de Quintana Roo, perteneciente al municipio de Othón P. Blanco. Para llegar al ejido Caoba se puede hacer vía terrestre partiendo desde la Ciudad de Chetumal recorriendo 110 kilómetros de carretera pavimentada en la dirección carretera Chetumal-Escárcega. El área de colecta se ubicó la carretera ejido Caoba - ejido San José y a la altura del Kilómetro 8 se localizaron las especies para llevar acabo el derribo de los árboles.

Puntos geográficos de la extracción

Una vez ubicados en la carretera ejido Caoba – ejido San José, se tomaron las referencias geográficas de la localización directa cada árbol, (Cuadro 1).

Cuadro 1. Localización de los árboles colectados de la especie *Vitex gaumeri* Greenm (Ya'axnik), ejido Caoba, Quintana Roo.

Árbol numero	Posición (grados UTM)	Elevación (metros)	Altura del árbol (metros)	Diámetro 1.30 del árbol (cm)
1	UTM 2037592	122	6	33
2	UTM2037590	120	9	33
3	UTM 2037766	106	13	45
4	UTM2037584	117	12	41

Acopio del material de investigación

El proceso de extracción forestal se realizó bajo el siguiente esquema:

Derribo.- Antes del derribo se realizó una selección de árboles de manera física, que cumplieran los diámetros apropiados para ser aprovechados. El derribo, se realizó con una motosierra de la marca Husqvarna 61, con bomba de aceite y gasolina ajustable, caja de engranes de magnesio, freno de cadena de inercia y espada de 30 pulgadas, es decir capacidad para derribar arboles hasta de 1 metro de diámetro aproximadamente.

Desrame: una vez derribado el árbol se procedió a cortar con la motosierra las ramas que son primarias y secundarias que dependen del árbol. En esta actividad el fuste quedó limpio. Una de

las características de esta especie es que tienden a buscar la luz y se desarrolla muy bien el fuste, teniendo autopodas en las ramas viejas.

Troceo.- una vez limpio de ramas el árbol, se procedió a cortarlo en trozas a una distancia de 1.25 metros entre troza y troza partiendo desde la base del árbol hasta la punta aprovechable (Figura 5a).

Arrime: El arrime de las trozas fue de manera física o manual, debido que a las orillas del camino se encontraron arboles disponibles para colectar.

Carga, descarga y transporte.- Las trozas se trasladaron de manera manual, fueron cargadas a una camioneta de capacidad de tres toneladas y trasladadas hasta el aserradero, (Figura 5b).



Figura 5. Acopio de material de investigación del *Vitex gaumeri* Greenm (Ya'axnik) a) Derribo, desrame y troceo, b) Carga, descarga y transporte de las trozas al aserradero.

6.2. Aserrío de las trozas

Una vez obtenidas las trozas de 1.25 m de longitud y puestas en el aserradero, estas fueron procesadas para obtención de las tablas-patrón en cortes longitudinales (Figura 6b), utilizando la plantilla de aserrío Plain Sawn conocida en México como “al volteo”, (Figura 6a).

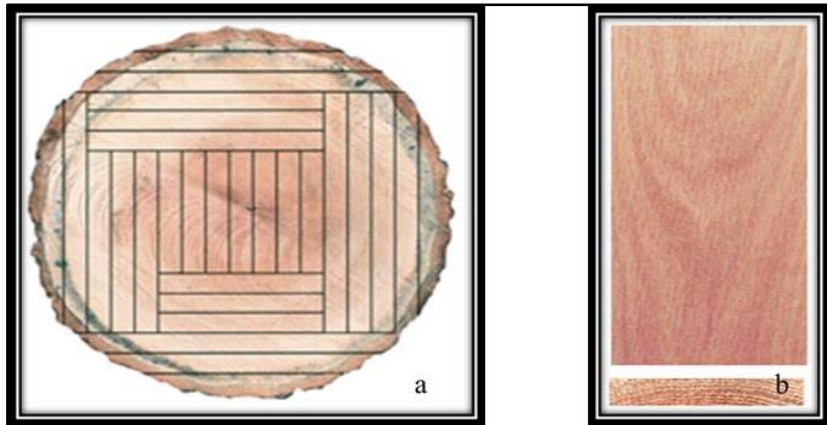


Figura 6. Plantilla de aserrío a) Plain sawn; b) Cortes longitudinales del Plain sawn.

Obtención y manejo las de las tablas-patrón en el aserrío

Una vez procesada la madera en el aserradero, se obtuvieron 102 tablas-patrón en promedio, cuyas medidas obtenidas fueron: largo 1.25 m, grueso 2.54 cm y ancho 15 cm (Figura 7a).

Las tablas-patrón, fueron estibadas una sobre otra hasta formar una carga rectangular, posteriormente se sellaron los extremos de las piezas con pintura blanca para evitar la pérdida de agua y los agrietamientos o rajaduras de la madera (contracciones de las fibras). Cabe destacar que el sellado se llevó a cabo con una brocha plana para acrílicos, aplicando tres pasadas de pintura de aceite color blanca rebajada con thinner, en lapsos de 15 minutos (Figura 7b).



Figura 7. Aserrío de las trozas: a) Obtención de tablas-patrón y aplicación de la plantilla “Plain sawn”; b) Sellado de las tablas-patrón.

6.3. Secado de las tablas-patrón

Acondicionamiento de las tablas-patrón

Las tablas-patrón fueron trasladadas del ejido Caoba (aserradero) hasta el ejido Huay-Pix (parque industrial), el cual está ubicado a 9 km sobre la carretera Chetumal-Bacalar donde llegaron a un patio de concentración para su pre-acondicionamiento antes de entrar a la estufa de secado. Se estibarón en pilas rectangulares, en la base de cada pila se colocó una tarima. Los separadores fueron colocados a 25 cm de distancia entre pieza y pieza, cuyas medidas suelen ser de $\frac{3}{4}$ de pulgada, (Figura 8b).

Características de la estufa de secado

La estufa de secado utilizada, es una cámara herméticamente cerrada de la marca NOVA DRY KILN LLC., con capacidad de 23,000 pies/tabla, calefacción a base de vapor de agua que recircula entre la cámara y la caldera que lo suministra. Las medidas de la cámara son: 18 m de largo, 14 m de ancho y 14 m alto hasta el cielo raso. De las características que más destacan para esta cámara, es que la humedad relativa (HR) solo radica en los mínimos de 32 a 35%, bajo estas condiciones la madera solo alcanza el 15% de contenido de humedad existen excepciones para alcanzar hasta el 10% y los ventiladores soplan en un solo sentido, no son reversibles, (Figura 8a).



Figura 8. Parque industrial Huay-Pix: a) Estufa de secado; b) Estibado y separadores de las tablas-patrón.

Duración del secado y secuela utilizada

Al llegar las tablas-patrón al patio de concentración, se encontraban en estado verde, estuvieron 12 días estibadas bajo techo con la finalidad de pre-acondicionarlas para entrar a la estufa de secado.

La secuela con la que fue secada la madera de Ya'axnik, correspondió a una madera dura, mejor conocida como: *Metopium brownei* (Jacq.) Urban. Cuyos nombres comunes son: chechém negro, chechén, kabal chechem, box cheché, palo de rosa, checham, de la familia *Anacardiaceae*, (Cuadro 2).

Cuadro 2. Programa de secado del *Metopium brownei* (Jacq.) Urban, con la que fue secado el *Vitex gaumeri* Greenm (Ya'axnik).

Etapa	Clase de contenido de humedad (%)	Temperatura (° F)		Contenido de Humedad en Equilibrio (%)	Humedad relativa (%)	Temperatura (°C)	
		Bulbo seco	Bulbo húmedo			Bulbo seco	Bulbo húmedo
1	Mayor a 40	100	96	17.6	86	37.5	35.5
2	De 40 a 35	100	95	16.4	83	37.5	35.0
3	De 35 a 30	100	92	13.4	74	37.5	33.5
4	De 30 a 25	110	96	9.9	60	43.5	35.5
5	De 25 a 20	120	90	5.5	32	49.0	32.0
6	De 20 a 15	130	90	4.0	22	54.5	32.0
7	De 15 a Final	150	100	3.2	18	65.5	37.5

La humedad inicial con la que las tablas-patrón ingresaron a la estufa fue arriba de 45% de contenido de humedad. El secado de la madera de Ya'axnik tuvo una duración de 47 días, iniciando el día 19 de Julio y terminando el día 3 Septiembre 2013, con 5 lecturas diarias de 8:00, 10:00, 12:00, 14:00 y 16:00 horas. Pasando por 7 etapas de secado y quedando acondicionada a un contenido de humedad final (C.H.F.) del 10%. Este dato fue corroborado con un xilohigrómetro marca DELMHORST (Figura 9a).

El proceso de secado en este tipo de estufas suele durar entre los 30 y 45 días, la razón por la cual el proceso se retrasa se debe a que las calderas no alcanzan las temperaturas del vapor de agua para suministrar al interior de la cámara debido a la alta HR del ambiente, sobre todo en épocas de lluvia, aunque las variables de medición son controlables para la estufa, la temperatura

del exterior influye en el comportamiento de las temperaturas al interior de la cámara y en el proceso de secado de la madera.

Empaque y traslado de las tablas-patrón acondicionadas

Las tablas-patrón fueron acondicionadas finalmente a un 10% de contenido de humedad final (C.H.F.) y para no sufrir el efecto de higroscopicidad, fueron envueltas con plástico sellador transparente, para conservar su estado acondicionado y no intercambiaran humedad con el exterior.

Las tablas-patrón una vez selladas, fueron trasladadas al Centro de Articulación Productiva Madera y Mueble (CAPMM), del Instituto Tecnológico de la Zona Maya (ITZM) para ser dimensionadas e iniciar con el proceso de maquinado, (Figura 9b).

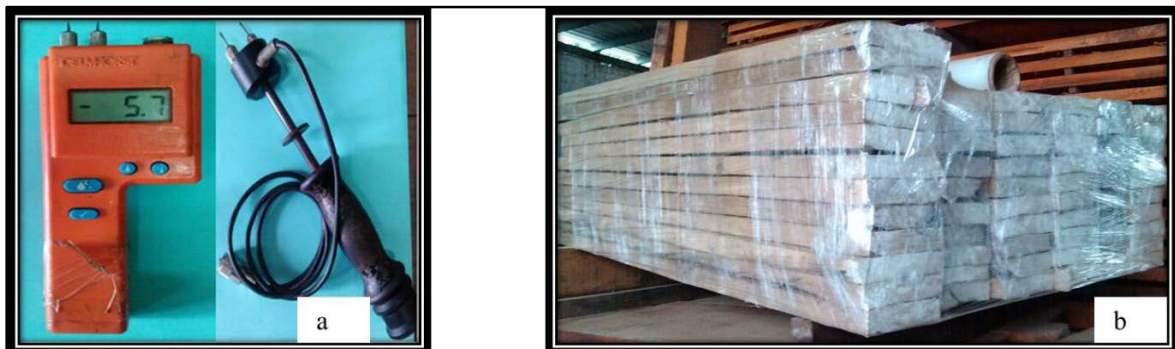


Figura 9. a) Xilohigrómetro DELMHORST b) Envoltura de las tablas-patrón de *Vitex gaumeri* Greenm (Ya'axnik), al 10% de contenido de humedad.

6.4. Localización del área de maquinado

El CAPMM, se localiza sobre la carretera Chetumal – Escárcega, a la altura del kilómetro 21.5, ejido Juan Sarabia del estado de Quintana Roo. Su posición geográfica es 18°31' 00.53'' latitud norte y 88°29'22.30 longitud oeste, (Figura 10).



Figura 10. Mapa de ubicación geográfica del CAPMM, Juan Sarabia, Quintana Roo. Fuente: Google eart.

6.5. Obtención de las probetas

En el CAPMM, se obtuvieron las probetas para el proceso de cepillado, lijado, taladrado, moldurado y torneado, de acuerdo a las medidas establecidas por la Norma ASTM-D 1666-86 (Re-aprobada en 1999).

Las probetas de mayor dimensión se cortaron en una sierra circular de la marca Invicta-RT 314881 (Figura 11a) y las probetas de menor dimensión se procesaron en una sierra cinta de la marca Silverline, DC-MJ3448 (Figura 11b).

Una vez dimensionado todo el material se realizaron dos grupos, probetas con contenido de humedad del 10% y probetas acondicionadas al ambiente, que alcanzaron el 15% de contenido de humedad. El primer grupo de probetas fueron envueltas con nylon autoadherente film o transparente, para conservar el contenido de humedad del 10%.

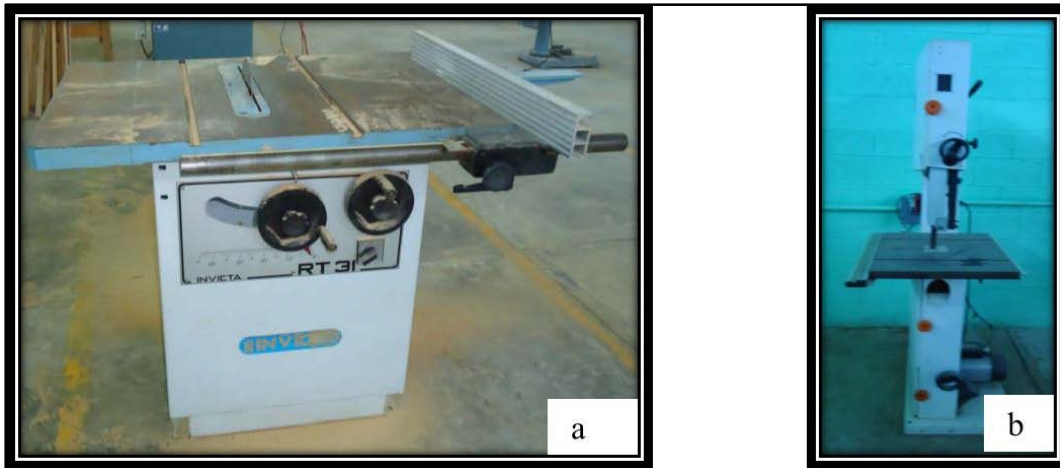


Figura 11. Maquinaria utilizada en la habilitación de las probetas a) Sierra circular; b) Sierra cinta.

En la figura 12, se observa la platilla tabla-patrón de madera de Ya'axnik y las secciones que se utilizaron para la obtención de las probetas de cada proceso.

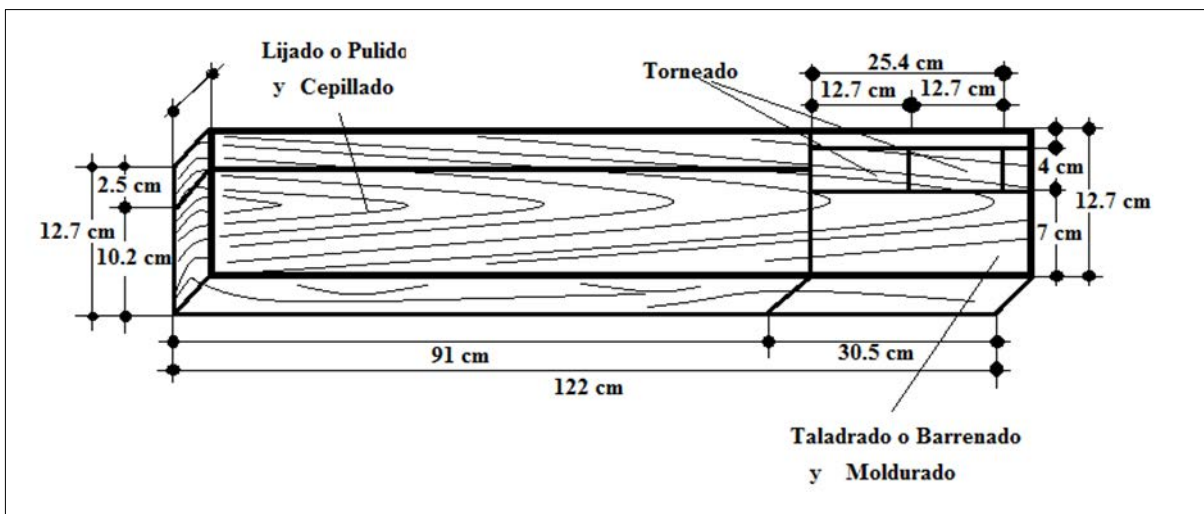


Figura 12. Plantilla para la obtención de probetas de *Vitex gaumeri* Greenm (Ya'axnik).

6.6. Descripción del equipo y herramientas de apoyo

Dentro de las instalaciones del CAPMM existe una gran diversidad de herramientas de corte con diversos implementos que facilitaron la trabajabilidad y el estudio de la madera. Para desarrollar el proceso de maquinado de la madera de Ya'axnik, se utilizó la siguiente maquinaria e implementos que a continuación se describen.

6.6.1. Cepilladora

Es una máquina, cuyo objetivo es desbastar los defectos del asierre en la madera. Para este proceso se utilizó un cepillo de la marca Silverline, DG401043, con capacidad de 5 caballos de fuerza y de 220 v. Cuenta con 1 cabezal apto para 3 cuchillas (las cuchillas pueden sustituirse en los diferentes grados como: 20°, 25°, 30°, 35°, entre otros) (Figura 13b) y a una velocidad de 2890 r.p.m., la mesa tiene una medida aproximadamente de 20” por 40”, (Figura 13a). El sentido de la alimentación se dio a favor del hilo.

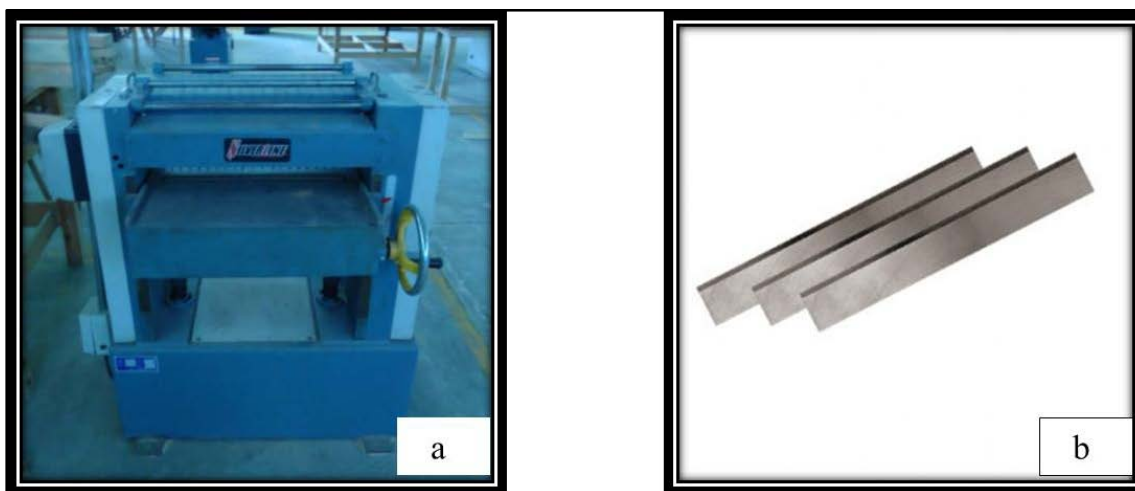


Figura 13. Maquinaria y equipo utilizado en la prueba de cepillado: a) Cepilladora marca Silverline, b) Cuchillas de 20° y 30°.

6.6.2. Lijadora de banda

Consiste en un motor eléctrico que impulsa a un par de tambores sobre los cuales se monta una pieza de papel de lija continua; la lija es de una sola medida y de acuerdo al grano, es la calidad del lijado a obtener.

Para este proceso se utilizó una lijadora de banda de la marca Invicta, modelo delta adaptado con salida de aserrín y potencia de motor de 5HP, de 220 v, con una velocidad de 20.24 m/seg. Usa lija del grano 80 y 100, la medida de la lija es de 7.20 metros de largo, pues las poleas son ajustables a la banda y el ancho es de 6 pulgadas. La mesa mide 4 m de largo por 1.6 m de ancho. La presión que se ejerce en el cojín opresor sobre la lija es de peso constante y uniforme (Figura 14).



Figura 14. Lijadora de banda invicta modelo delta adaptado con salida de aserrín.

6.6.3. Taladro de columna

Para este proceso se utilizó un taladro de pedestal de marca Silverline, con potencia de motor de 2HP conectado a 220 v, a 3240 revoluciones por minuto y con entrada de broca de 1 pulgada, (Figura 15a).

Implemento de sujeción de probetas del taladrado

Es una caja de madera de 45 cm de largo por el ancho de la probeta, esta complementada con dos sujetadores redondos de aproximadamente 25 cm de largo cuya función es sujetar a la probeta para abrir los orificios y coincidir con el implemento del moldurado, (Figura 15b).

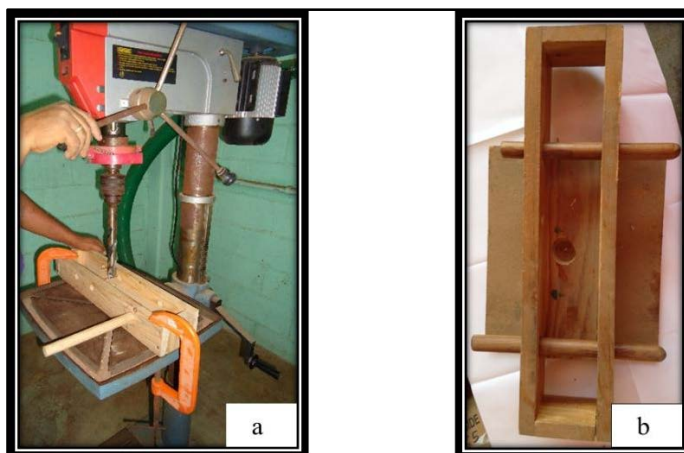


Figura 15. Equipo utilizado en la prueba de taladrado: a) Taladro de columna, b) Implemento de sujeción de probetas.

Broca torsión simple y con puntilla

Es una pieza metálica de corte que crea orificios o cavidad cilíndrica en la madera cuando se coloca en una herramienta mecánica como taladro de columna, la broca está fabricada a base de acero y se caracteriza porque su base es plana y al final tiene una punta muy afilada que es la que permite cortar las primeras fibras de la madera, la medida del diámetro de perforación es de 1 pulgada (Figura 16a).

Broca para metal

Es una pieza metálica, su forma es torneada, formando una figura helicoidal, su principal función es que sirve para perforar metales diversos, fabricados en acero de larga duración, la medida del diámetro de la broca es de 1 pulgada, (Figura 16b).

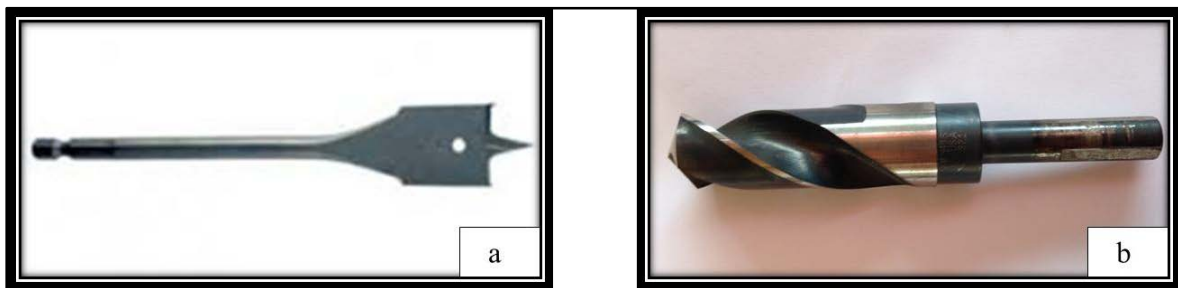


Figura 16. Herramienta de corte del taladrado: a) Broca torsión simple y de puntilla, b) Broca para metal.

6.6.4. Trompo o Tupi

El trompo, se define como una máquina para el trabajo con madera, permite realizar diversas operaciones, como el moldurado y el pulido de molduras. Consta de una mesa con un eje vertical giratorio, llamado flecha, impulsado por un motor. En la flecha se colocan las herramientas de corte, conocidas como fresas. Con una guía, se desplazan las piezas de madera, generalmente es de forma manual.

Para este proceso se utilizó un trompo de un cabezal, de la marca Invicta T1 – 14, con potencia de motor de 5HP, mesa de 100 x 90 cm, velocidad de giro del cabezal 7000 rpm revoluciones por minuto, (Figura 17a).

Fresa de Carburo de Tungsteno

Es una herramienta de corte de acero sólido de alta resistencia, con cuchillas afiladas muy duradera (se caracteriza por traer en la punta un acero inoxidable) y se coloca a la flecha del trompo para realizar un perfil a una pieza de la madera. En esta prueba se utilizó una fresa de dos cuchillas y 6 centímetros de diámetro en la base y 9 cm de altura, (Figura 17b).

Fresa de acero de Alta Velocidad

Para esta prueba se utilizó una fresa de dos aspas, cuya medida es de 6 cm de diámetro en la base y con 8 cm de altura. Ambas fresas armaron la misma figura al momento de elaborar la moldura sobre la madera de Ya'axnik (Figura 17c).

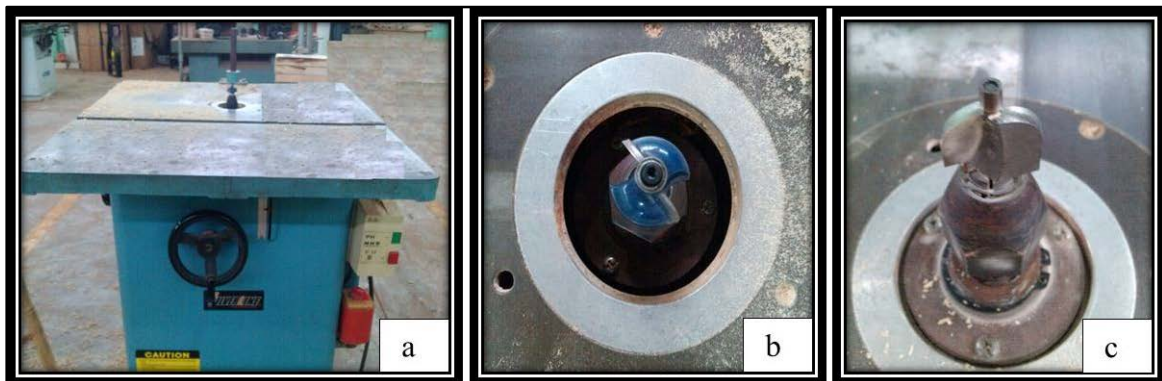


Figura 17. Maquinaria y equipo utilizado en el moldurado: a) Maquina trompo, b) Fresa de carburo de tungsteno, c) Fresa de alta velocidad.

Implemento de sujeción de probetas del moldurado

Consiste en un artefacto elaborado a base de madera y tornillos de 1 pulgada de grosor (estos deben coincidir con los orificios elaborados en el taladrado). En la base debe medir 30.5 cm de largo por 7.62 cm de ancho y de 2 a 4 cm de altura, respetando la medida de la probeta del taladrado (Figura 18). La base general es más grande y tiene doble manecilla para maniobrase con mayor facilidad.



Figura 18. Implemento de sujeción de probetas del moldurado.

6.6.5. Torno

Es una máquina, que se utiliza para elaborar piezas de madera de forma cilíndrica, en diferentes figuras tridimensionales utilizando una fresa.

Se utilizó un torno de la marca Silverline Wood Lathe 4, modelo DC-MC1100, con potencia de motor 1 HP a 5000 revoluciones por minuto el cabezal (Figura 19a), acompañado de una fresa especial, colocada en un sujetador (elaborada con base a las recomendaciones por la norma).

Fresa especial ASTM-D 1666-87

Es una cuchilla de acero reforzada, cuya forma es única y especial (Figura 19b), diseñada por la Norma ASTM-D 1666-87 (reaprobada 1999).

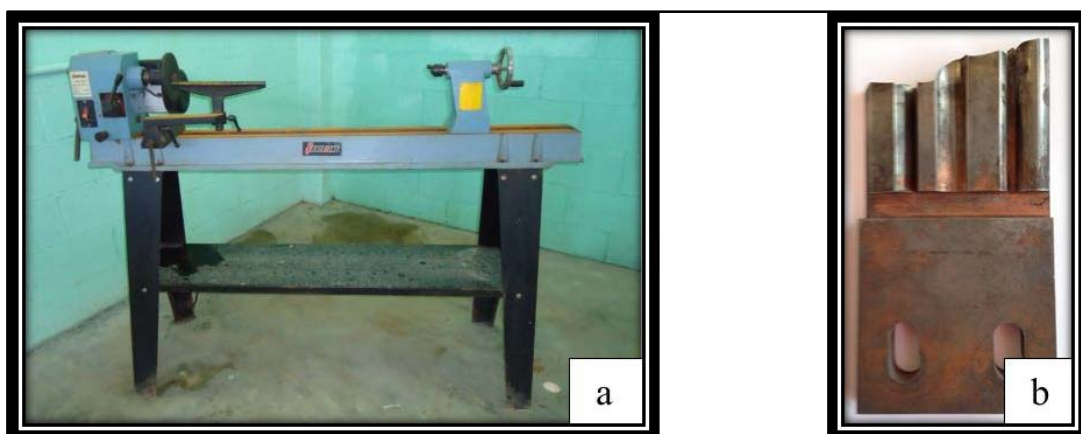


Figura 19. Maquinaria y equipo utilizado en el torneado: a) Torno para madera de 1100 mm; b) Fresa especial ASTM-D 1666-87.

6.7. Procesos de ensayo

El Maquinado (Tamarit y López, 2007), lo definen como el conjunto de operaciones que se le realizan a la madera mediante máquinas y herramientas de corte, para darle las dimensiones y perfiles con la estética y calidad deseados, para su posterior utilización en la elaboración de productos terminados y preparar la superficie para la aplicación de un acabado artificial.

Para el maquinado se valoraron cinco procesos que son cepillado, lijado, taladrado, moldurado y torneado, en los contenidos de humedad del 10% y 15%.

6.7.1. Cepillado

Para seleccionar las probetas al hilo y contrahilo, se realizó una inspección visual a detalle con lupa y de acuerdo a la cantidad dominante de hilos a favor o en contra que en la cara presentaron, se le asignó la categorización.

El cepillado de las piezas se realizó en la maquina cepilladora utilizando dos cuchillas, una con un ángulo de inclinación de 30° y la otra de 20°; cepillándose 25 probetas al hilo y las otras 25 probetas en contra-hilo para ambos contenidos de humedad. La medida de la probeta radicó en los 91.4 cm de largo por 10.16 de ancho y 2 cm de grueso. La penetración de la cuchilla fue de 2mm de grueso.

Para calcular el número de marcas por centímetro para el cepillado se utilizó la fórmula 1:

$$Nm = \frac{(Vc)(Nc)}{(Va)(100)}$$

Fórmula 1

Dónde:

Nm= Número de marcas de cuchillas por centímetro.

Vc= Velocidad del cabezal portacuchillas o revoluciones por minuto

Nc =Número de cuchillas en el cabezal

Va= Velocidad de alimentación m/min.

La velocidad de alimentación fue de 6 m/min y el número de marcas de cuchillas por centímetro de 25. Los defectos evaluados en la probeta fueron: probetas sin defectos, grano astillado, grano apelusado y grano levantado.

6.7.2. Lijado

El segundo proceso es el lijado y este se realizó en la dirección paralela al grano cuyo objetivo principal fue dejar la superficie tersa de la pieza de madera para recibir el acabado como: tinte, barniz, pintura, entre otros. Se realizó este proceso en una lijadora de banda, lijándose las 50 probetas sobre la cara del cepillado, con lijas del grano 80 y 100, este proceso se realizó para ambos contenidos de humedad (10% y 15%). Las probetas lijadas, fueron las procedentes del cepillado, cuyas medidas llegaron a ser de 91.4 cm de largo por 10.16 de ancho y 1.90 cm de grueso. Las medidas de la lija fueron de 6 pulgadas de ancho por 7.20 m de largo. Los tambores de la lijadora pueden ajustarse manualmente a la medida de la lija. La presión que se ejerce en el cojín opresor sobre la lija fue constante y uniforme. Las probetas fueron lijadas con tres pasadas constantes a lo largo de la pieza. Para calcular la velocidad lineal del lijado se aplicó la fórmula 2.

$$VL = \frac{l}{TEL/60}$$

Fórmula 2.

Dónde:

VL= Velocidad lineal.

l =Longitud en metros.

TEL=Tiempo efectivo de lijado en segundos.

Con un cronometro, se tomó la lectura en segundos de los tiempos en que la lija recorrió lo largo de la pieza y se calculó un promedio. Los defectos evaluados fueron: probetas sin defectos, rayones, grano velloso y grano levantado.

6.7.3. Taladrado

En el taladrado se utilizaron dos tipos de broca, la primera fue una broca de torsión simple y con puntilla y la segunda, una broca para metal. En todas las probetas se realizaron dos perforaciones y se tomó la lectura de alimentación en segundos con un cronometro, de las cuales se obtuvo el promedio. Las medidas de las probetas fueron de 30.5 cm de largo por 7.62 cm de ancho por 2 cm de grueso. Fueron 50 probetas procesadas en el contenido de humedad del 10%, 25 se

procesaron con la broca de torsión simple y con puntilla y las otras 25 con la broca para metal, repitiendo el mismo proceso con 50 probetas para el contenido de humedad del 15%. Se utilizó una plantilla cuya función fue sujetar la probeta, para evitar que se mueva al momento de ser penetrada por la broca. El promedio de la penetración de la broca sobre la probeta fue de 22 segundos y para calcular la velocidad de alimentación, se utilizó la fórmula 3.

$$VA = \frac{E}{TEC/60}$$

Fórmula 3

Donde:

VA= Velocidad de alimentación.
E= Espesor de la pieza en metros.
TEC= Tiempo efectivo de corte en segundos.

En el proceso se evaluaron los siguientes defectos: probetas sin defectos, grano arrancado, grano veloso y grano apelmusado.

6.7.4. Moldurado

El moldurado consiste en formar una figura a lo largo de una pieza de madera (curva o recta) a través de una herramienta de corte conocida.

Se utilizaron dos fresas para realizar este proceso, la primera fue una fresa de carburo de tungsteno y la segunda una fresa de alta velocidad. Las probetas fueron las provenientes del taladrado, pues las perforaciones realizadas en el anterior proceso (taladrado) coincidieron con los tornillos de la nueva plantilla a utilizarse. La plantilla del moldurado ayudó a sujetar la probeta para que fuese deslizada sobre el filo cortante de las fresas y armar la figura deseada. Con un cronometro se tomó el tiempo de deslizamiento de las probetas sobre el filo de la fresa y se obtuvo un promedio en segundos del paso de la fresa sobre la moldura de la probeta. El promedio para la fresa de carburo de tungsteno fue de 11 segundos y el de la fresa de alta velocidad fue de 19 segundos, la velocidad de alimentación fue de 5.55 segundos para la fresa de carburo de tungsteno y de 3.12 segundos para la de alta velocidad. Para calcular la velocidad de alimentación en el moldurado se utilizó la fórmula 4.

$$VA = \frac{l}{TEL/60}$$

Fórmula 4

Dónde:

VA= Velocidad de alimentación.
L= Longitud de la pieza en metros.
TEC= Tiempo efectivo de corte en segundos.

La velocidad periférica de la fresa fue tomada del manual de especificaciones técnicas de la máquina y equivale a 7000 r.p.m. En caso de no contar con las especificaciones técnicas de las r.p.m. de la fresa en el manual, úsese la fórmula 5 para calcular la velocidad periférica.

$$Vp = \frac{(D)(\pi)(Vr)}{60}$$

Fórmula 5

Dónde:

Vp= Velocidad periférica.
D= Diámetro de la fresa.
 π = Constante 3.1416.
Vr= Velocidad de rotación.

Los defectos evaluados en esta prueba fueron: probetas sin defectos, grano arrancado, grano vellosos, grano astillado y grano levantado.

6.7.5. Torneado

Para tornear la madera, se utilizó una fresa especial cuyas características son otorgadas por la norma ASTM-D 1666-87 (reaprobada 1999). Las medidas de las probetas fueron de 15 cm de largo por 2 cm de ancho por 2 cm de alto. Se procesaron 50 probetas con un contenido de humedad del 10% y otras 50 con un contenido de humedad del 15%. Con un cronómetro, se tomaron las lecturas en segundos y se obtuvo un promedio general de 8.2 segundos del paso de la cuchilla sobre la pieza a tornear. Para calcular la velocidad de alimentación en el torneado se utilizó la fórmula 6.

$$VA = \frac{l}{TEC/60}$$

Fórmula 6

Donde:

VA= Velocidad de alimentación.
 l= Longitud de la pieza en metros.
 TEC= Tiempo efectivo de corte en segundos.

Se evaluaron los siguientes defectos: probetas sin defectos, grano arrancado, grano vellosa, grano astillado y grano levantado.

6.8. Evaluación de los defectos

La evaluación de los ensayos se realizó como lo establece la Norma ASTM D 1666-87 (reaprobada en 1999), en la cual se consideran los siguientes defectos: grano astillado, grano apelmusado, grano levantado, marcas de astilla, grano rasgado, grano comprimido y rayones.

La evaluación se basó en la presencia y severidad de los defectos antes señalados, examinando las probetas visualmente y clasificándolas en cinco categorías que son: excelente, buena, regular, pobre y muy pobre. La clasificación final de cada uno de los ensayos, se basa en la suma del porcentaje de probetas excelentes (E), buenas (B), regulares (R), pobres (P) y muy pobres (MP) presentes después de cada ensayo, (Cuadros 3 y 4), otorgados por la Norma.

Cuadro 3. Evaluación de las condición de las probetas, aportado por la Norma. ASTM D 1666-87.

Grado	Condición	Descripción
1	Excelente	Libre de defectos.
2	Bueno	Con defectos superficiales que pueden ser eliminadas con lija del número 100
3	Regular	Con defectos marcados que pueden ser eliminados utilizando una lija gruesa 60 y después una del número 100.
4	Pobre	Con defectos severos que para eliminarse se requiere cepillarse de nuevo la pieza de madera.
5	Muy Pobre	Con defectos muy severos los cuales para eliminarlo se requiere sanear la pieza de madera.

Cuadro 4. Porcentaje en cantidad de defectos presentes en las probetas, aportado por la Norma. ASTM D 1666-87.

%E+B	Clasificación
90 -100	Excelente
80 – 89	Bueno
60 – 79	Regular
40 – 59	Pobre
0 – 39	Muy pobre

Cabe mencionar que la madera de Ya'axnik, presentó gran variedad de defectos de mal formación en la madera (presencia de nudos), por lo que se seleccionaron las probetas lo más libre de defectos posibles.

El valor porcentual asignado a cada probeta fue subjetivo, es decir, el evaluador a criterio propio, asignó los porcentos a cada defecto observado en la probeta. El valor final de la suma de porcentos de los defectos sumó la cantidad del 100%, es decir, que la pieza fue evaluada en su totalidad. Posteriormente se acudió al cuadro 3 y 4, para asignar la clasificación y grado de las probetas.

Los datos fueron almacenados y procesados en el programa de Excel 2013, donde se calcularon las medias y los porcentajes de cada defecto presente así como elaboración de sus respectivas gráficas.

Las probetas fueron agrupadas con base a su clasificación; cada clasificación obtuvo un valor diferente hasta sumar 25 probetas por proceso; posteriormente se calculó el porciento de cada valor y se representó en la tabla de calidad de cada proceso.

Para representar todos los defectos de cada proceso, se utilizó una gráfica de barras en la cual solo se mostró el comportamiento de la madera sobre la herramienta utilizada. En cada proceso se sumó la cantidad porcentual por defecto y se le calculó la media la cual es representada en las gráficas.

El valor porcentual mostrado en los cuadros y las gráficas, no coinciden los valores, debido a que valor porcentual del cuadro se calculó a partir de la cantidad del número de probetas en cada clasificación y las gráficas solamente es la suma de los promedios porcentuales de cada defecto por proceso evaluado.

Para asignar la clasificación de calidad a cada proceso del maquinado, se tomó como referencia el valor de mayor porcentaje mostrados en los cuadros 5 y 6 para cepillado, 7 y 8 para lijado, 9 y 10 para taladrado, 11 y 12 para moldurado y 13 para torneado, en ambos contenidos de humedad.

Como se realizaron 5 procesos de maquinado (cepillado, lijado, taladrado, moldurado y torneado) a la madera de Ya'axnik, utilizando diferentes herramientas de corte en cada proceso, se procedió a agrupar la calidad porcentual que van desde 1 a 20%, 21 a 40%, 41 a 60%, 61 a 80 y de 81 a 100%, con la finalidad de conocer cuál fue la distribución de las probetas en cuanto a calidad y frecuencia, comparando en todos los procesos de maquinado el contenido de humedad del 10% contra el 15% y herramienta contra herramienta utilizada; obteniendo así las humedades y herramientas que más favorecieron la trabajabilidad de la madera de Ya'axnik.

Es importante destacar que cada proceso de maquinado es diferente el uno del otro y solo se puede comparar entre sí mismo por la herramienta de corte utilizada y puede compararse solamente entre el mismo proceso cuando se trabaje con dos o más contenidos de humedad.

7. RESULTADOS

7.1. Cepillado

Se presentan los resultados del proceso de cepillado en los contenidos de humedad del 10% y 15%, con cuchillas de 30° y 20° cepilladas ambas al hilo y contrahilo de la probeta. (Cuadro 5 y 6).

Para este ensayo, se obtuvieron mejores resultados para el contenido de humedad del 10% que para la madera con contenido de humedad del 15%. La cantidad de probetas excelentes fue de un 92% cepilladas al hilo de la probeta con una cuchilla de 20°. La madera de Ya'axnik, con contenido de humedad del 15%, no superó la cantidad porcentual de probetas excelentes comparado con el contenido de humedad del 10%, pero si obtuvo resultados aceptables en todo el proceso (buenos y excelentes), al manejarse en las cuchillas de 30° y 20°, al hilo y contra hilo de la probeta.

Para ambas humedades, con cuchilla de 20° y al hilo de la probeta, se obtuvieron piezas de madera con clasificación excelente y grado 1; a una velocidad de alimentación de 6 m/min a 25 marcas de cuchilla por centímetro.

De la cantidad porcentual de probetas clasificadas como excelentes para ambos contenidos de humedad, el resultado porcentual más bajo se presentó en la cuchilla de 30°, al contrahilo de la probeta alcanzando solo el 40% de las piezas en el grado 3 con clasificación regular.

Cuadro 5. Calidad de cepillado del *Vitex gaumeri* Greenm (Ya'axnik), al 10% de contenido de humedad.

C.H. en %	A. C.	Orientación de la probeta	Piezas E+B en %	Grado	Clasificación	D.M.F.
10	30°	Hilo	48	2	Bueno	G. Astillado
			40	1	Excelente	*****
			12	3	Regular	G. Astillado
		Contra hilo	40	3	Regular	G. Apelusado
			24	4	Pobre	G. Apelusado
			20	1	Excelente	*****
	20°	Hilo	16	2	Bueno	G. Apelusado
			92	1	Excelente	G. Astillado
			8	3	Regular	G. Astillado
		Contra hilo	48	3	Regular	G. Astillado
			28	1	Excelente	*****
			24	2	Bueno	G. Astillado

C.H.: Contenido de Humedad, A.C.: Angulo de corte en grados, %E+B: Porcentaje de probetas excelentes más buenas, D.M.F.: Defecto más frecuente, G.: Grano.

Cuadro 6. Calidad de cepillado del *Vitex gaumeri* Greenm (Ya'axnik), al 15% de contenido de humedad.

C.H. en %	A. C.	Orientación de la probeta	Piezas E+B en %	Grado	Clasificación	D.M.F.
15	30°	Hilo	76	2	Bueno	G. Apelusado
			24	3	Regular	G. Apelusado
			Contra hilo	64	2	Bueno
		32		3	Regular	G. Levantado
		4		1	Excelente	*****
		20°	Hilo	68	1	Excelente
	24			2	Bueno	G. Apelusado
	Contra hilo		8	1	Regular	G. Apelusado
			68	2	Bueno	G. Apelusado
	32	3	Regular	G. Apelusado		

C.H.: Contenido de Humedad, A.C.: Angulo de corte en grados, E+B%: Porcentaje de probetas excelentes más buenas, D.M.F.: Defecto más frecuente, G.: Grano.

Los defectos más frecuentes en el cepillado fueron el grano astillado (Figura 20), el grano apelusado (Figura 21a) y el grano levantado (Figura 21b).

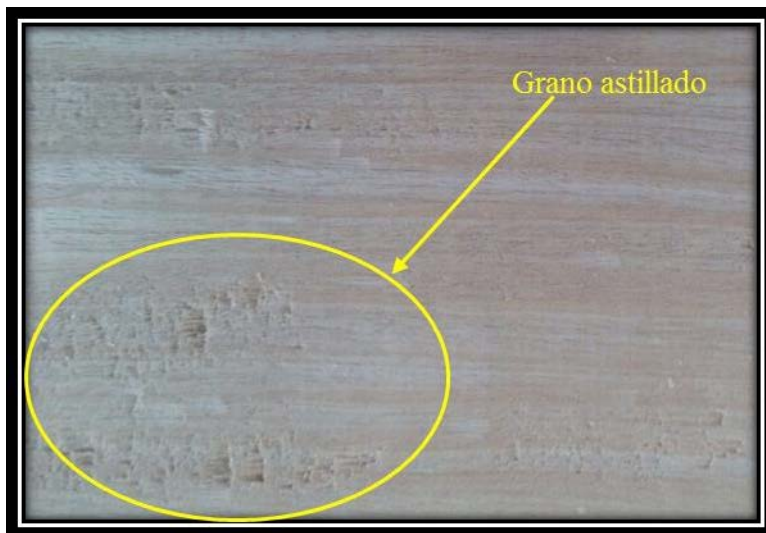


Figura 20. Grano astillado, defecto más frecuente en el cepillado al 10% de contenido de humedad.

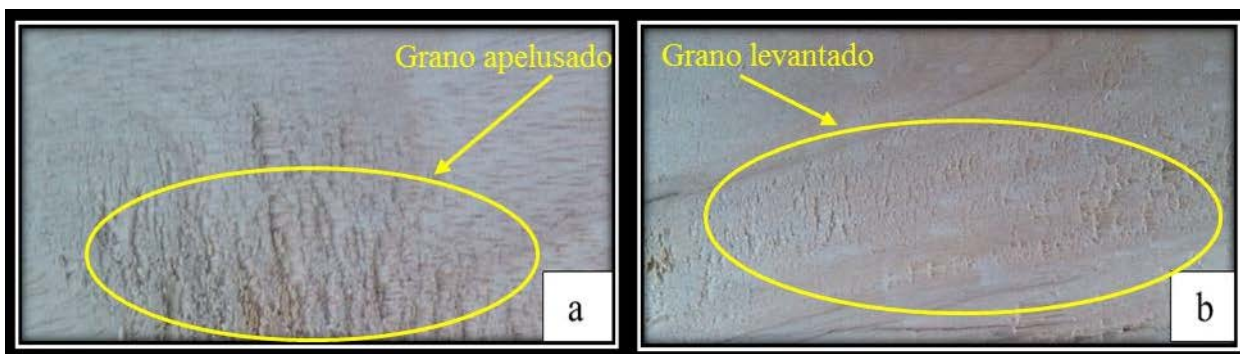


Figura 21. Defectos comunes encontrados en la prueba de cepillado: a) Grano apelusado, b) Grano levantado.

En la figura 22, se muestra la clasificación porcentual de los defectos en el ensayo de cepillado para la madera de 10% de contenido de humedad, donde la evaluación sin defecto logró sobresalir desde un 72% hasta un 93%, en las cuchillas de 30° y 20°, cepilladas al hilo y contrahilo de la probeta.

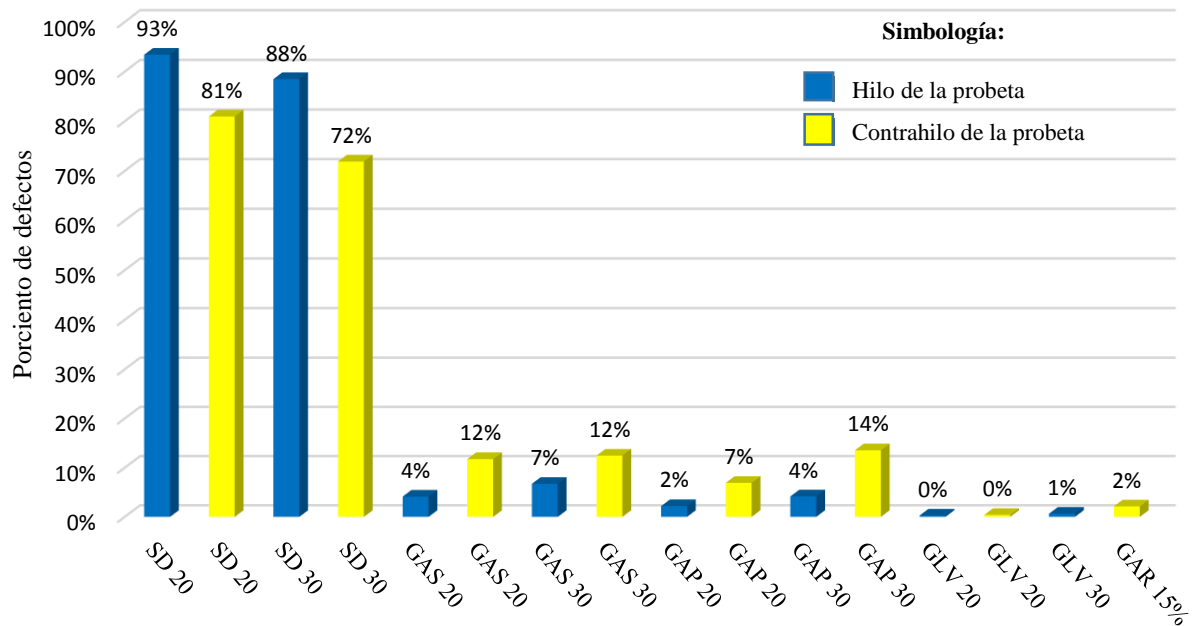


Figura 22. Porcentajes de defectos en el cepillado del *Vitex gaumeri* Greenm (Ya'axnik) al 10% de contenido de humedad.

Eje de las x significan: el número 20 y 30 son los ángulos en grados de las cuchillas, SD: sin defecto, GAS: grano astillado, GAP: grano apelusado y GLV: grano levantado.

En la figura 23, se muestra la clasificación porcentual de los defectos en el ensayo de cepillado para la madera de 15% de contenido de humedad, donde la evaluación sin defecto se presentó desde un 82% hasta un 91%, en las cuchillas de 30° y 20°, cepilladas al hilo y contrahilo de la probeta. Este contenido de humedad en la madera, presentó una menor aparición de defectos en la madera.

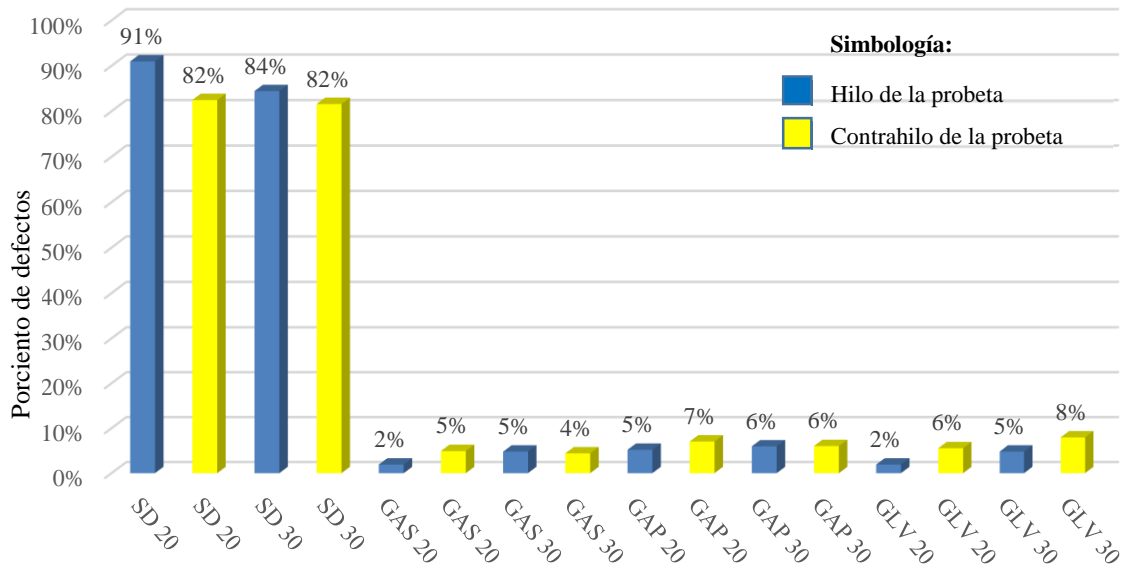


Figura 23. Porcentajes de defectos en el cepillado del *Vitex gaumeri* Greenm (Ya'axnik), al 15% de contenido de humedad.

Eje de las x significan: el número 20 y 30 son los ángulos en grados de las cuchillas, SD: sin defecto, GAS: grano astillado, GAP: grano apeluado y GLV: grano levantado.

A continuación se presentan dos graficas donde se compararon los contenidos de humedad del 10% y 15% en una cuchilla de 20° y otra de 30°, ambas al hilo y contrahilo de las probetas, marcando una diferencia porcentual en cada defecto (Figuras 24 y 25).

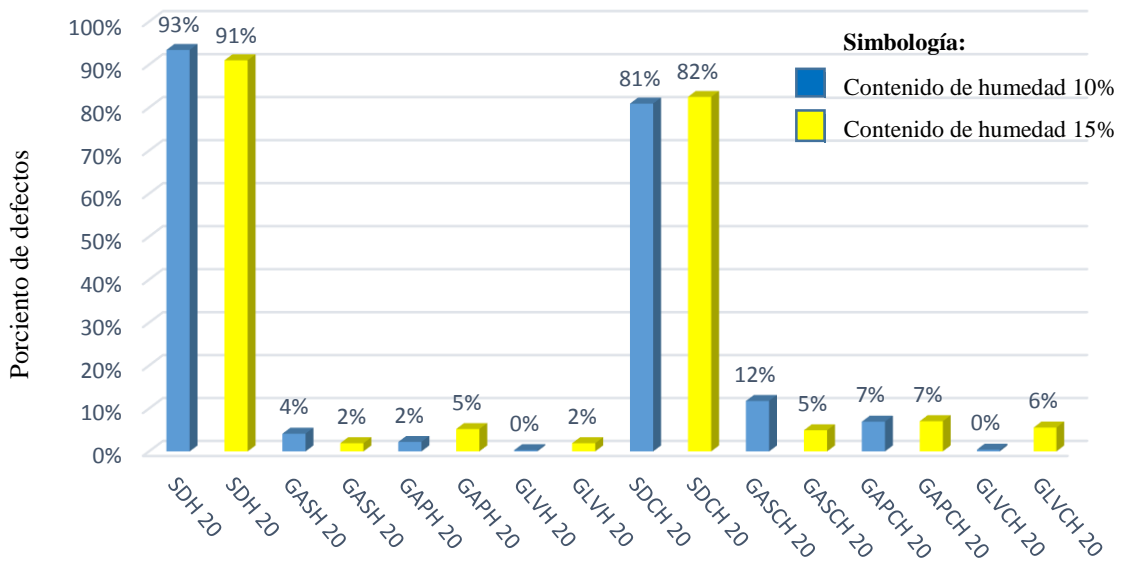


Figura 24. Comparación de defectos en el contenido de humedad 10% contra 15% en la cuchilla de 30°. Eje de las x significan: el número 20 es el ángulo en grados de la cuchilla, la letra H: hilo y CH: contrahilo. SD: sin defecto, GAS: grano astillado, GAP: grano apeluado y GLV: grano levantado.

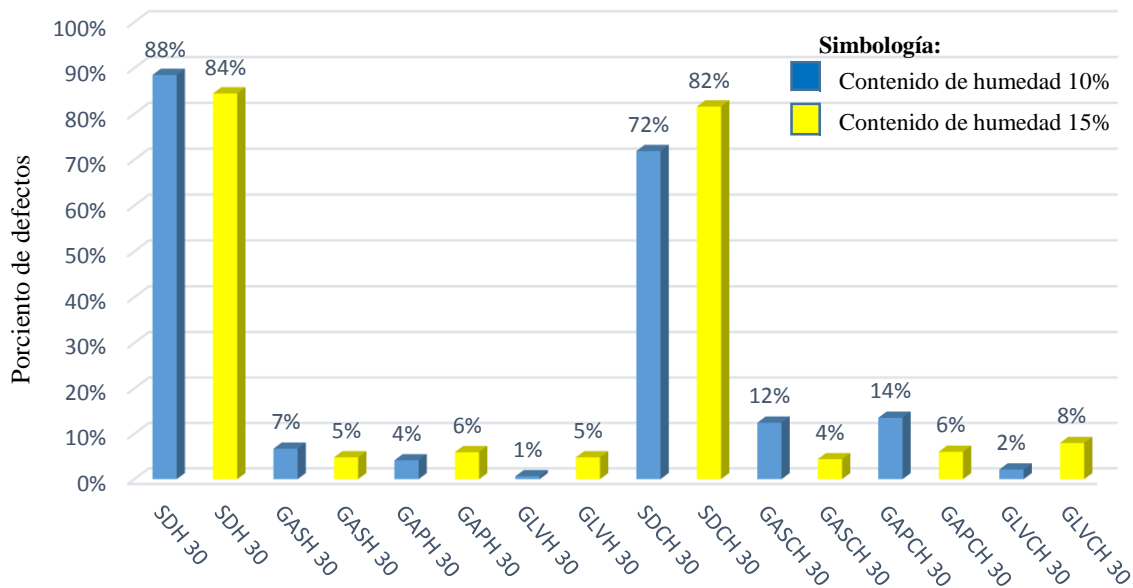


Figura 25. Comparación de defectos en el contenido de humedad 10% contra 15% en la cuchilla de 20°. Eje de las x significan: el número 30 es el ángulo en grados de la cuchilla, la letra H: hilo y CH: contrahilo. SD: sin defecto, GAS: grano astillado, GAP: grano apelusado y GLV: grano levantado.

Las figuras 26 y 27, muestran la variabilidad del comportamiento del hilo y contrahilo en el contenido de humedad del 10% en los dos ángulos de cuchilla (20° y 30°).

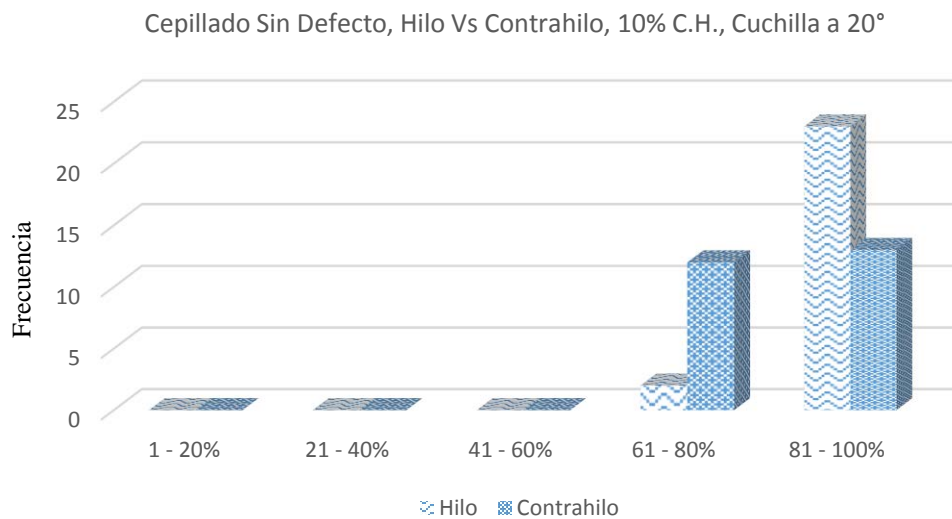


Figura 26. Comparación del cepillado de *Vitex gaumeri* Greenm (Ya'axnik), con cuchilla de 20° a 10% de contenido de humedad.

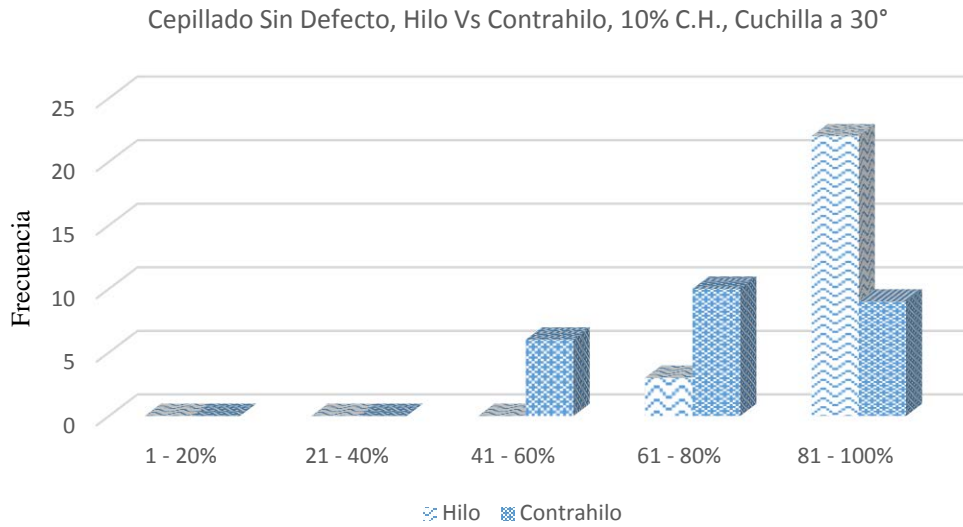


Figura 27. Comparación del cepillado de *Vitex gaumeri* Greenm (Ya'axnik), con cuchilla de 30° a 10% de contenido de humedad.

Se realizó la comparación hilo contra contrahilo, realizada en el contenido de humedad al 15% en cuchillas con ángulo de 20° y 30°, en las probetas del cepillado. (Figuras 28 y 29).

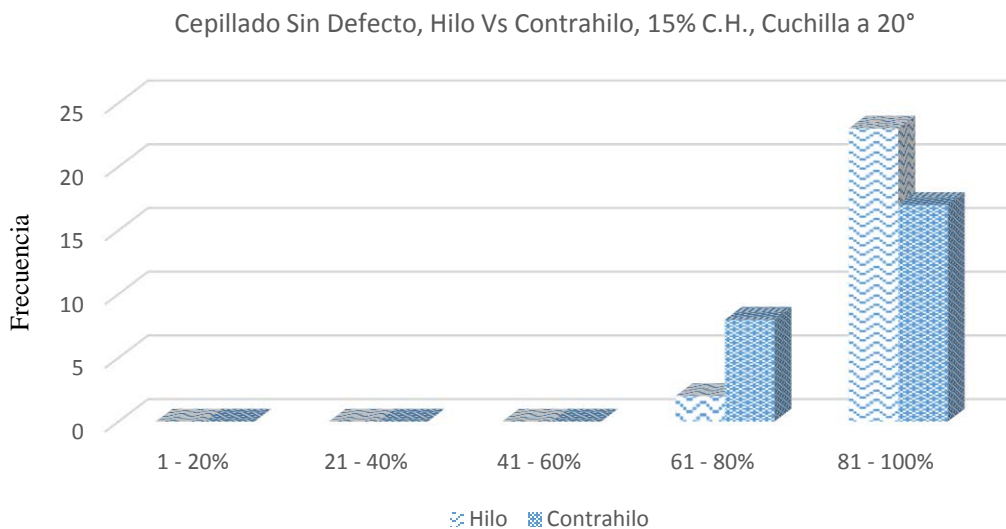


Figura 28. Comparación del cepillado de *Vitex gaumeri* Greenm (Ya'axnik), con cuchilla de 20° a 15% de contenido de humedad.

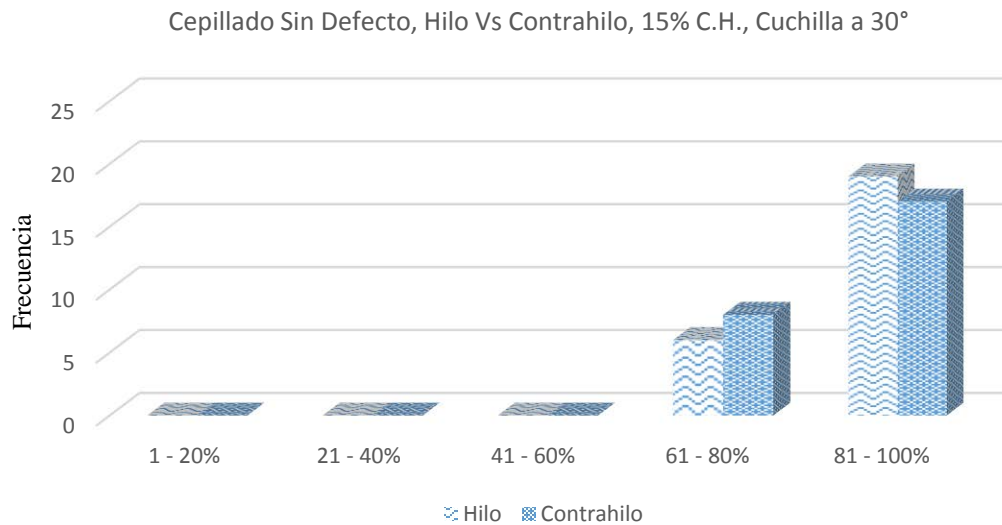


Figura 29. Comparación del cepillado de *Vitex gaumeri* Greenm (Ya'axnik), con cuchilla de 30° a 15% de contenido de humedad.

7.2. Lijado

En el lijado se obtuvieron excelentes resultados para la lija del grano 100 en ambos contenidos de humedad y el grano 80 consigue buenos y excelentes resultados en ambos contenidos de humedad (Cuadros 7 y 8).

Cuadro 7. Calidad de lijado del *Vitex gaumeri* Greenm (Ya'axnik), al 10% de contenido de humedad.

C.H. (%)	No. Lija	T.E.L. (s)	V.L. (m/seg)	Piezas E+B en %	Grado	Clasificación	D.M.F.
10	80	30	2	72	2	Bueno	Rayones
				28	3	Regular	Rayones
	100		76	1	Excelente	*****	
			24	2	Bueno	G. Velloso	

C.H.: Contenido de Humedad, No. Lija: Numero de Lija, T.E.L. (s): Tiempo efectivo de lijado en segundos, V.L.: Velocidad de lijado en metros por segundo, % E+B: Porcentaje de probetas excelentes más buenas, D.M.F.: Defecto más frecuente, G.: Grano.

Cuadro 8. Calidad de lijado del *Vitex gaumeri* Greenm (Ya'axnik), al 15% de contenido de humedad.

C.H. (%)	No. Lija	T.E.L. (s)	V.L. (m/seg)	Piezas E+B en %	Grado	Clasificación	D.M.F.
15%	80	30	2	60	1	Excelente	*****
				40	2	Bueno	Rayones
	84			1	Excelente	*****	
				16	2	Bueno	Rayones

C.H.: Contenido de Humedad, No. Lija: Numero de Lija, T.E.L. (s): Tiempo efectivo de lijado en segundos, V.L.: Velocidad de lijado en metros por segundo, % E+B: Porcentaje de probetas excelentes más buenas, D.M.F.: Defecto más frecuente.

A continuación se presenta el rayón como defecto más frecuente de la calidad del lijado (Figura 30).

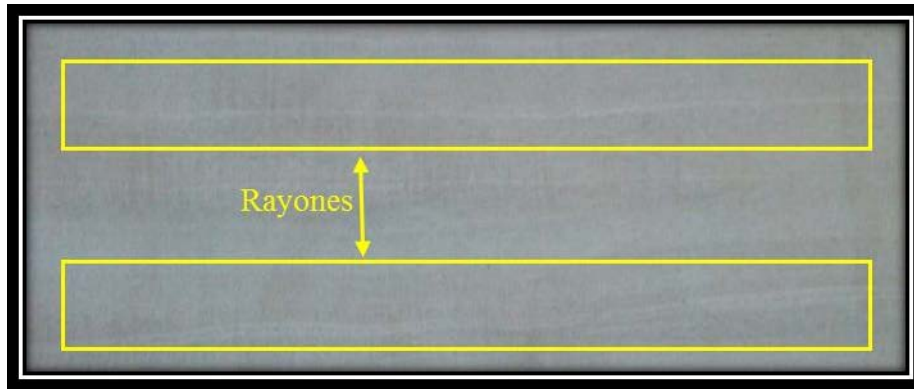


Figura 30. Rayones, defecto más frecuente en el lijado en ambos contenidos de humedad.

Se muestran los porcentajes de defectos evaluados durante el lijado con las lijas del grano 80 y 100 en contenidos de humedad del 10 y 15% (Figuras 31 y 32).

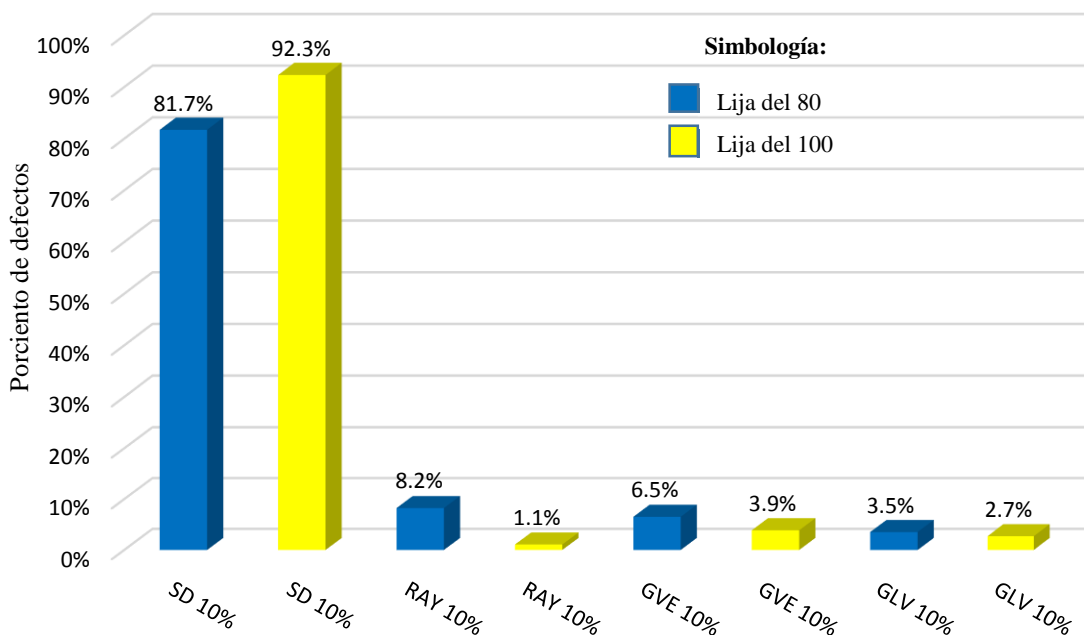


Figura 31. Porcentajes de defectos en el lijado del *Vitex gaumeri* Greenm (Ya'axnik), al 10% de contenido de humedad.
Eje de las x significan: SD: sin defecto, RAY: rayones, GVE: grano veloso y GLV: grano levantado.

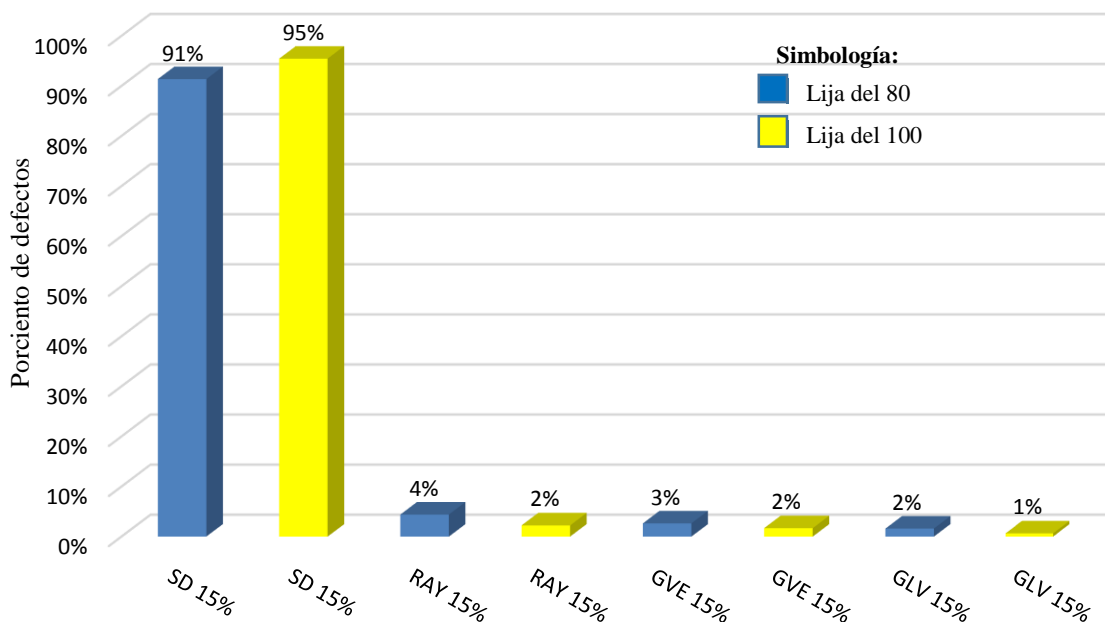


Figura 32. Porcentajes de defectos en el lijado del *Vitex gaumeri* Greenm (Ya'axnik) al 15% de contenido de humedad.
Eje de las x significan: SD: sin defecto, RAY: rayones, GVE: grano veloso y GLV: grano levantado.

A continuación se presenta una gráfica general donde se compararon los contenidos de humedad del 10% y 15% con las lijas de grano 80 y 100, donde se observa la diferencia porcentual obtenida en los defectos evaluados en el lijado, obsérvese en la figura 33.

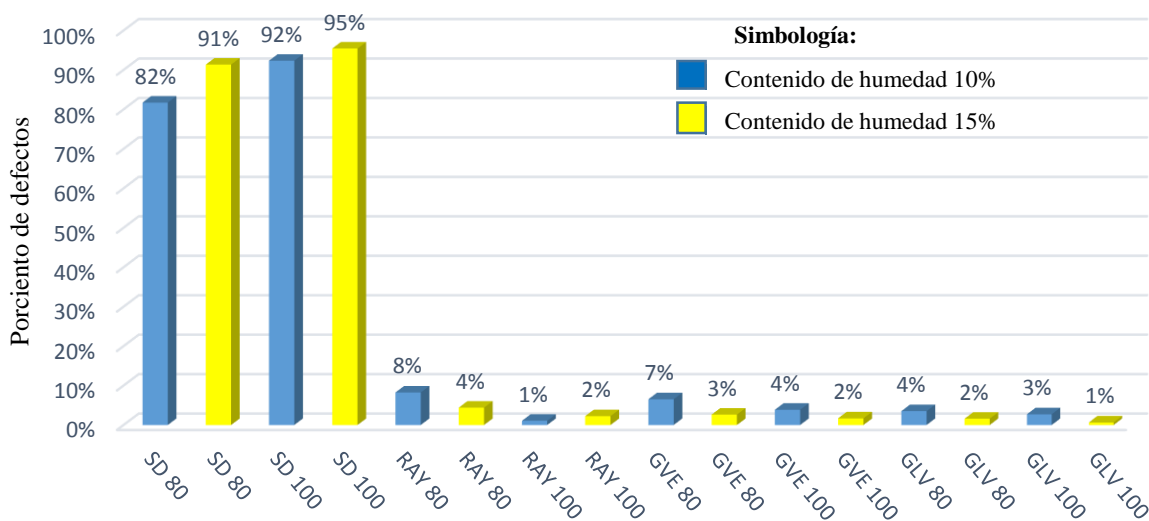


Figura 33. Comparación de defectos en el contenido de humedad 10% contra 15% en lijas de grano 80 y 100. Eje de las x significan: el número 80 y 100 es el grano de la lija SD: sin defecto, RAY: rayones, GVE: grano vellosos y GLV: grano levantado.

En las figuras 34 y 35, se comparó la lija del grano 80 contra la lija del grano 100, en los contenidos de humedad del 10% y 15%.

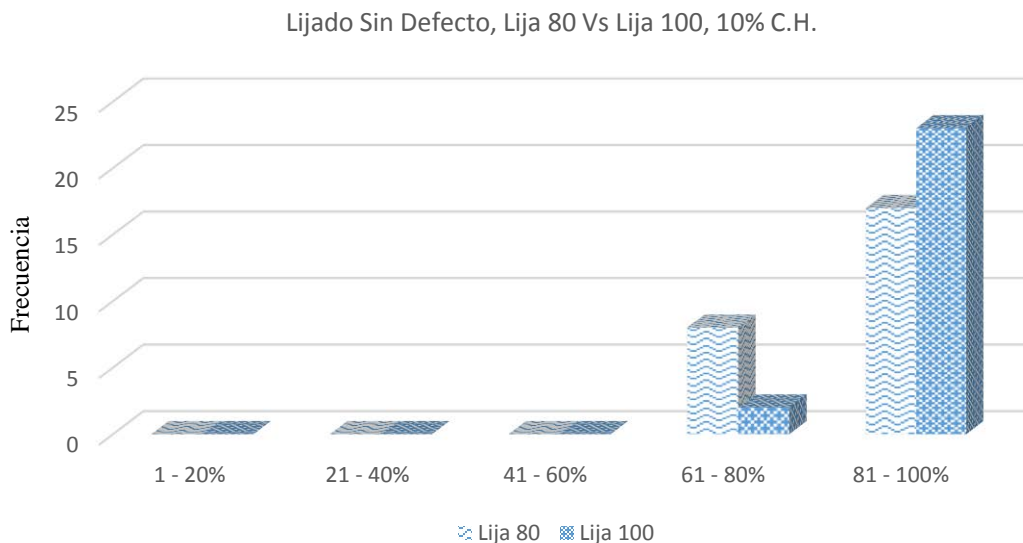


Figura 34. Comparación del lijado del *Vitex gaumeri* Greenm (Ya'axnik), con lija de 80 y 100 a 10% de contenido de humedad.

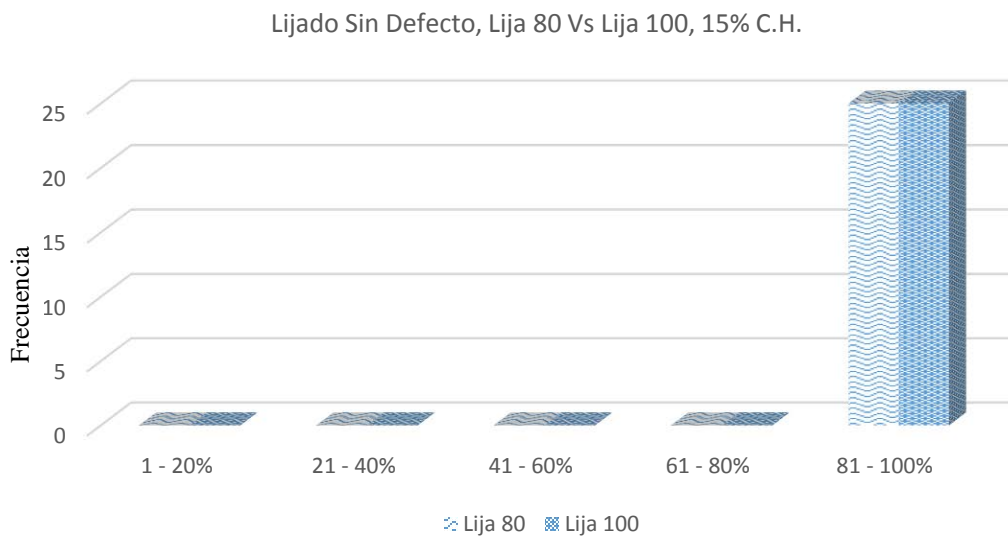


Figura 35. Comparación del lijado del (*Vitex gaumeri* Greenm) Ya'axnik, con lija de 80 y 100 a 15% de contenido de humedad.

La figura 36 y 37, son las comparaciones realizadas en el lijado con lija del grano 80 y 100 en contenidos de humedad del 10% contra el 15%.

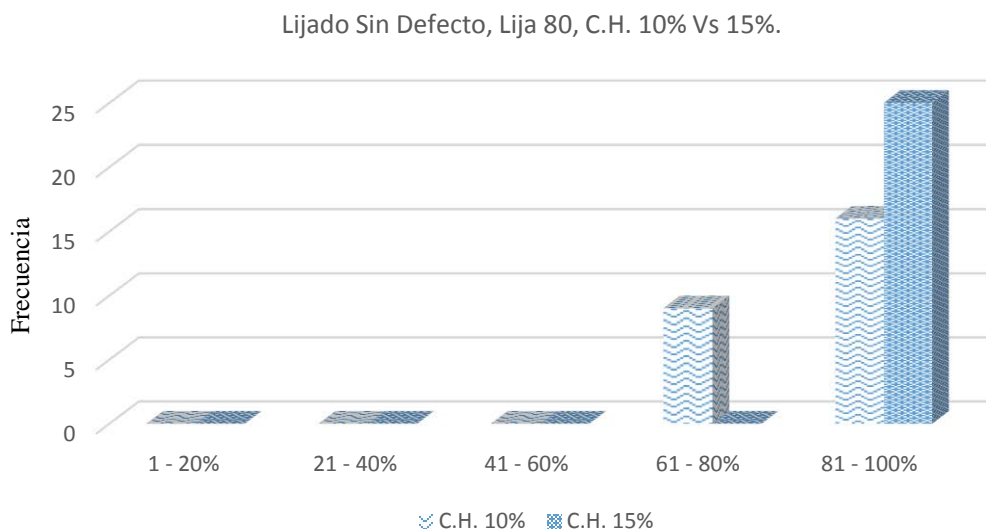


Figura 36. Comparación del lijado del *Vitex gaumeri* Greenm (Ya'axnik), con lija de 80 a un contenido de humedad del 10% contra 15%.

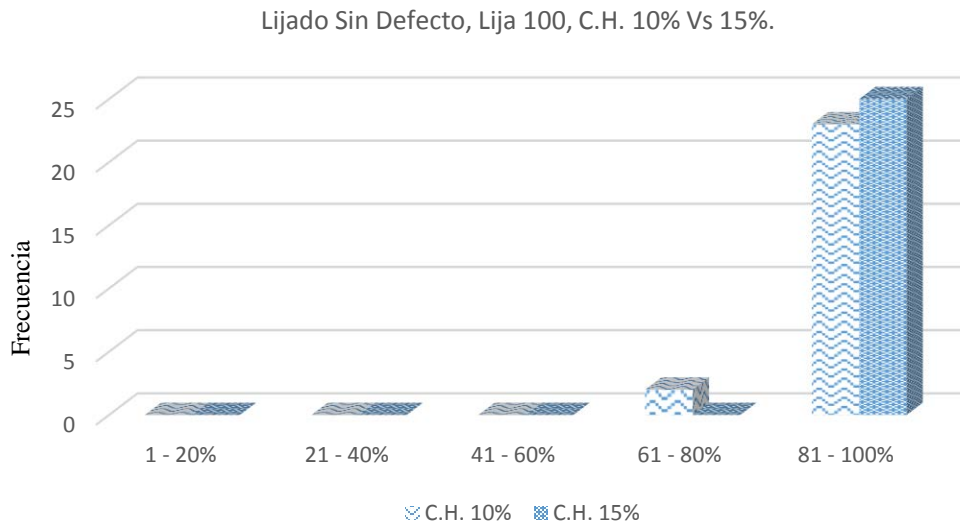


Figura 37. Comparación del lijado del *Vitex gaumeri* Greenm (Ya'axnik), con lija de 100 a un contenido de humedad del 10% contra 15%.

7.3. Taladrado

Los cuadros 9 y 10, muestran la calidad del comportamiento del taladrado para la madera de *Vitex gaumeri* Greenm (Ya'axnik). La clasificación para ambas humedades en este ensayo resultó de excelente y pobre, obteniéndose la clasificación de excelente cuando se trabajó con la broca de torsión simple y con puntilla al trabajarla a 3240 rpm a una velocidad de alimentación de 5.47 segundos en promedio y el tiempo efectivo del taladrado a 22 segundos en promedio; la broca para metal en ambos contenido de humedad obtuvo la más baja clasificación de pobre a muy pobre, se trabajó a la misma rpm, velocidad de alimentación y tiempo efectivo de taladrado. La broca de torsión simple y de puntilla, es la que recibió los excelentes resultados en esta evaluación para los ambos contenidos de humedad.

Cuadro 9. Calidad del taladrado del *Vitex gaumeri* Greenm (Ya'axnik), al 10% de contenido de humedad.

C.H. (%)	T.B.	V.A. (s)	T.E.T. (s)	Piezas E+B en %	Grado	Clasificación	D.M.F.
10%	Broca torsión simple y puntilla	5.47	22	56	1	Excelente	*****
				24	2	Bueno	G. Arrancado
				8	3	Regular	G. Arrancado
				8	5	Muy Pobre	G. Arrancado
	Broca para metal			4	4	Pobre	G. Arrancado
				36	4	Pobre	G. Arrancado
				32	5	Muy Pobre	G. Arrancado
				16	2	Bueno	G. Arrancado
16	3	Regular	G. Arrancado				

C.H.: Contenido de Humedad, T.B.: Tipo de broca, V.A.: Velocidad de alimentación (s) segundos, T.E.T. (s): Tiempo efectivo de taladrado en segundos, % E+B: Porcentaje de probetas excelentes más buenas, D.M.F.: Defecto más frecuente, G: Grano.

Cuadro 10. Calidad del taladrado del *Vitex gaumeri* Greenm (Ya'axnik), al 15% de contenido de humedad.

C.H. (%)	T.B.	V.A. (s)	T.E.T. (s)	Piezas E+B en %	Grado	Clasificación	D.M.F.
15%	Broca torsión simple y puntilla	5.47	22	84	1	Excelente	*****
				16	2	Bueno	G. Velloso
	Broca para metal			92	5	Muy pobre	G. Velloso
				8	4	Pobre	G. Velloso

C.H.: Contenido de Humedad, T.B.: Tipo de broca, V.A.: Velocidad de alimentación (s) segundos, T.E.T. (s): Tiempo efectivo de taladrado en segundos, % E+B: Porcentaje de probetas excelentes más buenas, D.M.F.: Defecto más frecuente, G: Grano.

Representan a los defectos más frecuentes presentados en el lijado que fueron: el grano arrancado (Figura 38) y el grano velloso (Figura 39).



Figura 38. Grano arrancado, defecto más frecuente en el taladrado al contenido de humedad del 10%.

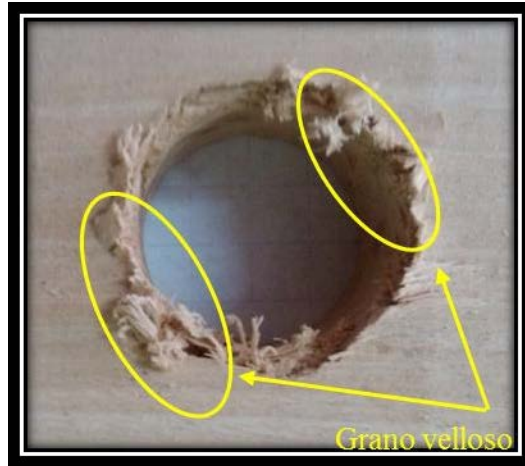


Figura 39. Grano velloso, defecto más frecuente en el taladrado al contenido de humedad del 15%.

Porcentajes de aparición de defectos del taladrado en ambos contenidos de humedad (Figuras 40 y 41).

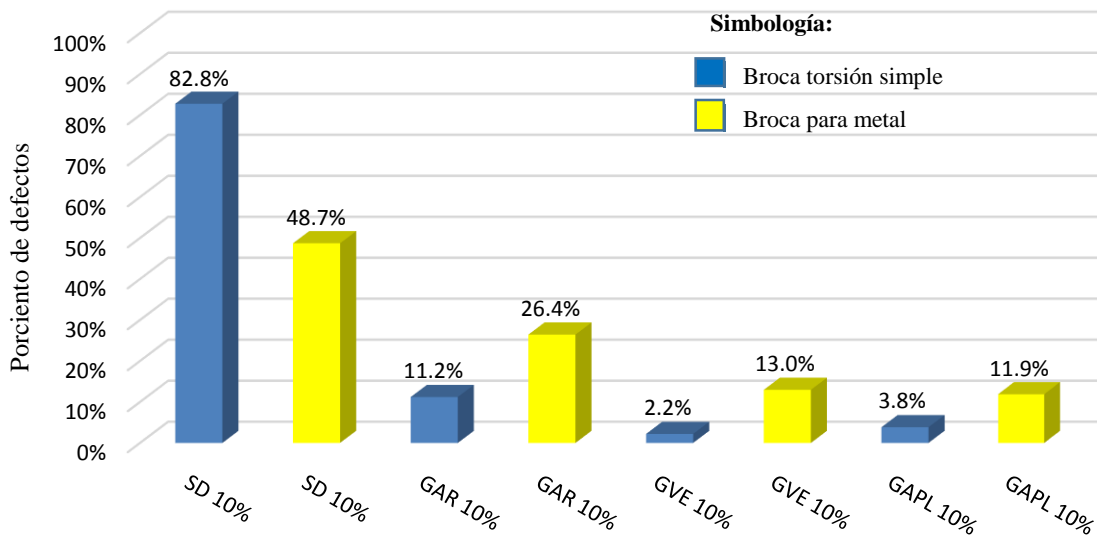


Figura 40. Porcentajes de defectos en el taladrado del *Vitex gaumeri* Greenm (Ya'axnik), al 10% de contenido de humedad.

Eje de las x significan: SD: sin defecto, GAR: grano arrancado, GVE: grano velloso y GAPL: grano aplastado.

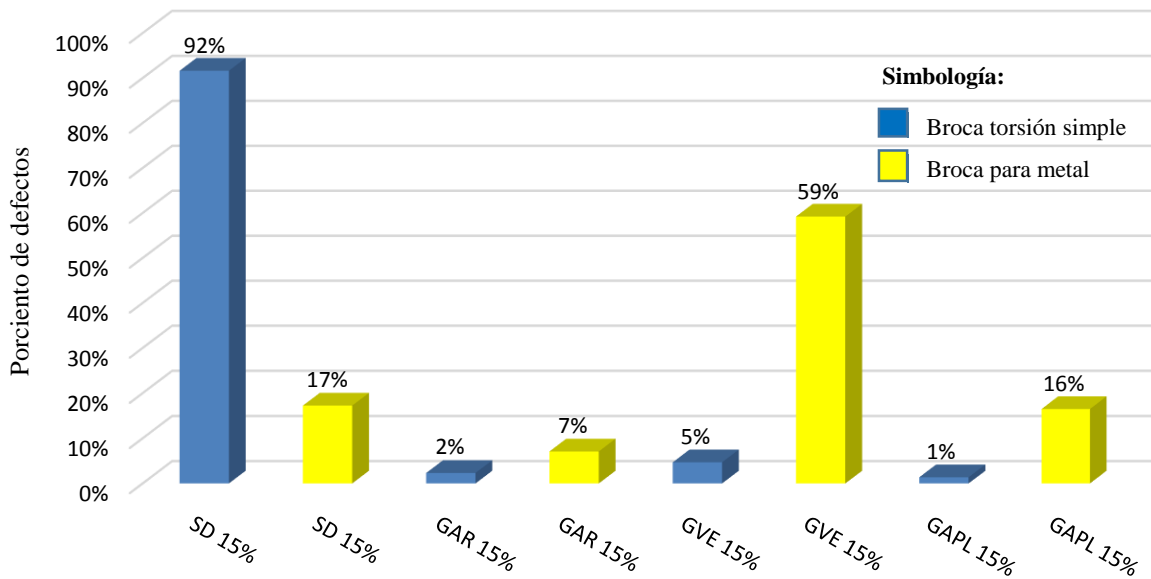


Figura 41. Porcentajes de defectos en el taladrado del *Vitex gaumeri* Greenm (Ya'axnik) al 15% de contenido de humedad.

Eje de las x significan: SD: sin defecto, GAR: grano arrancado, GVE: grano vellosa y GAPL: grano aplastado.

A continuación se presenta una gráfica general donde se compararon los contenidos de humedad del 10% y 15% con la broca de torsión simple y puntilla y la broca para metal, donde se observó la diferencia porcentual obtenida en los defectos evaluados en el taladrado, (Figura 42).

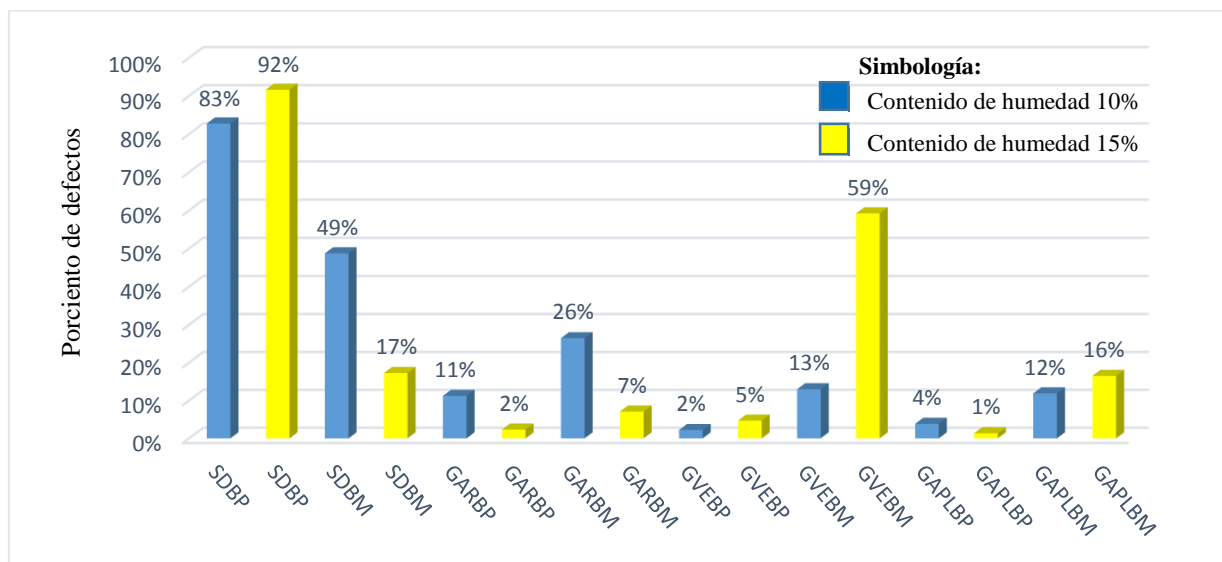


Figura 42. Comparación de defectos en el contenido de humedad 10% contra 15% en el taladrado del *Vitex gaumeri* Greenm (Ya'axnik).

Las abreviaturas del eje de las x significan: las abreviaturas SD: sin defecto, GAR: grano arrancado, GVE: grano vellosa y GAPL: grano aplastado; las abreviaturas BP y BM: broca torsión simple y puntilla y broca para metal.

En la figura 43 y 44, muestran la variabilidad que presentó el taladrado del Ya'axnik con las dos brocas. En ambas figuras se comparó la broca de torsión simple y de puntilla contra la broca para metal, variando solamente el contenido de humedad del 10% y 15%.

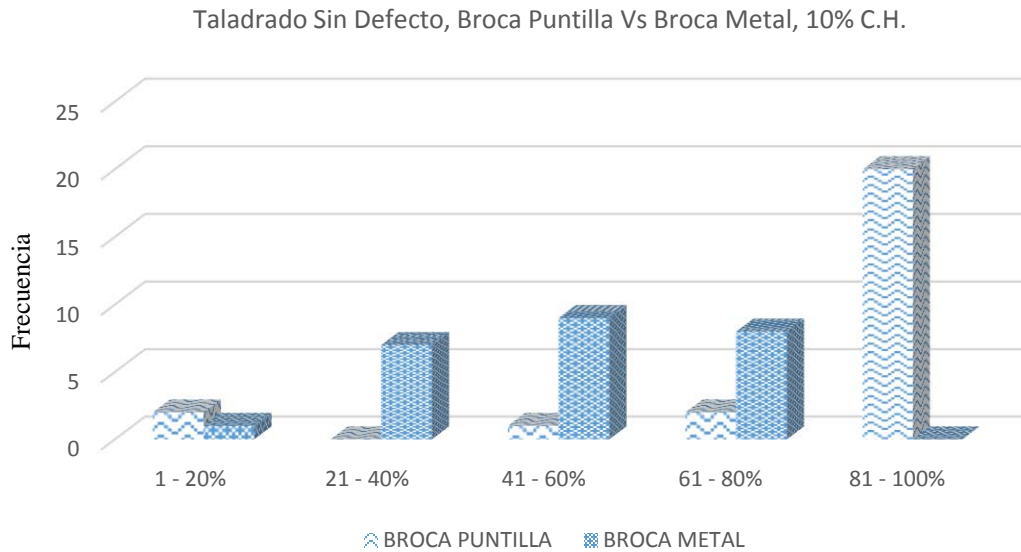


Figura 43. Comparación del taladrado del *Vitex gaumeri* Greenm (Ya'axnik), con broca puntilla y broca metal a un contenido de humedad del 10%.

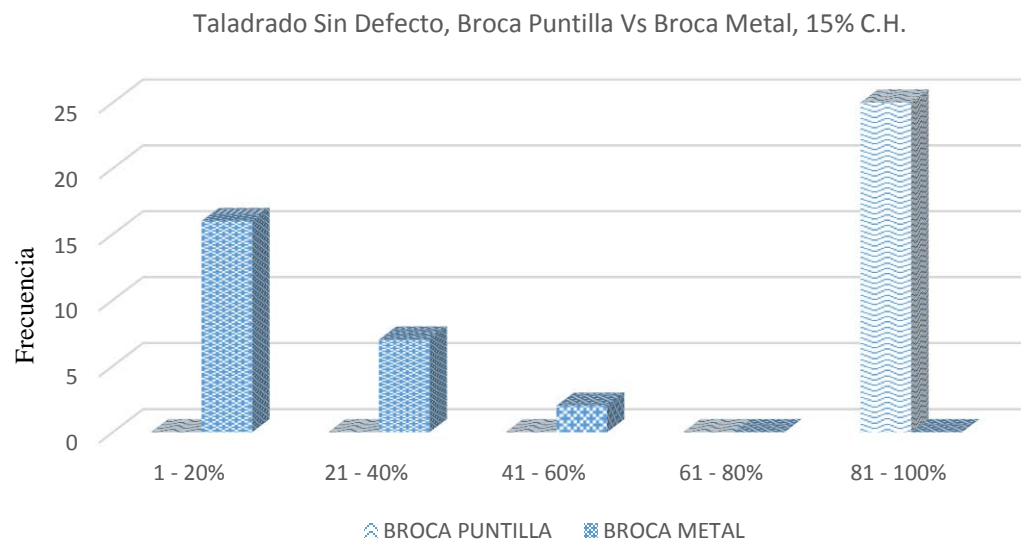


Figura 44. Comparación del taladrado del *Vitex gaumeri* Greenm (Ya'axnik), con broca puntilla y broca metal a un contenido de humedad del 15%.

En la figura 45 y 46, muestran las comparaciones realizadas de un solo tipo de broca, en ambos contenido de humedad en el proceso de taladrado.

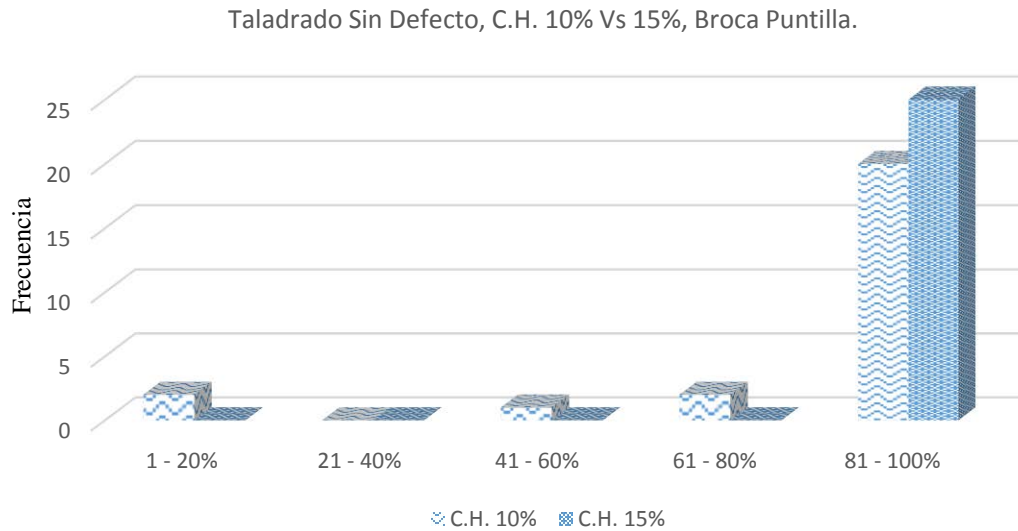


Figura 45. Comparación del taladrado del *Vitex gaumeri* Greenm (Ya'axnik), a un contenido de humedad del 10% contra 15%, en la broca de puntilla.

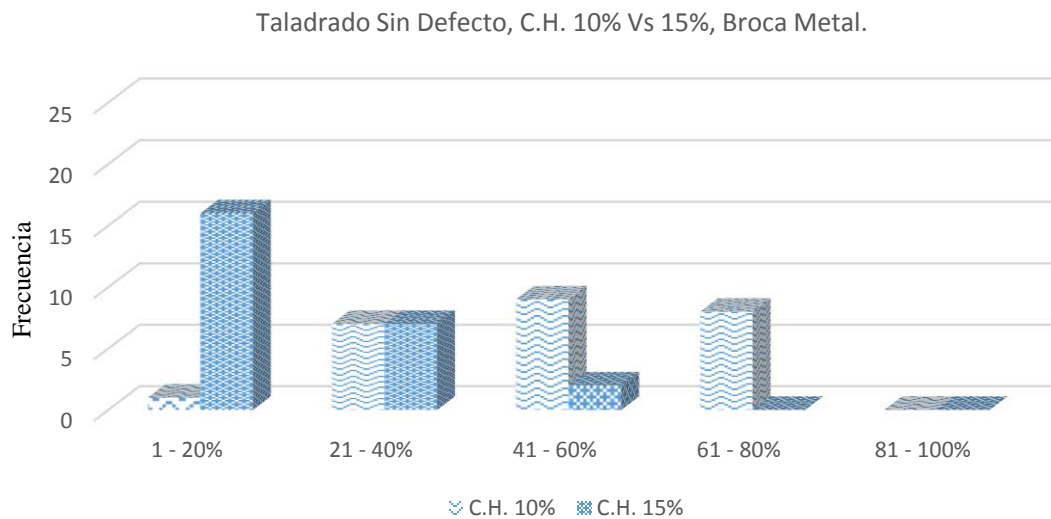


Figura 46. Comparación del taladrado del *Vitex gaumeri* Greenm (Ya'axnik), a un contenido de humedad del 10% contra 15%, en la broca para metal.

7.4. Moldurado

La clasificación que se obtuvo para la calidad superficial en el proceso de moldurado fue de excelente y regular para ambas humedades respectivamente. Con la fresa de carburo de tungsteno se encontró el grado 1, pues alcanzó un 84 % de las probetas excelente en ambas humedades. Con la fresa de alta velocidad el proceso fue bueno y clasificado como grado 2 (bueno) para la humedad del 10% con el 56% de las probetas buenas y grado 3 clasificado como regular para la humedad del 15% como se muestra en los cuadros 11 y 12.

Cuadro 11. Calidad del moldurado del *Vitex gaumeri* Greenm (Ya'axnik), al 10% de contenido de humedad.

C.H. (%)	T.F.	T.E.M. (s)	V.A. (s)	V.P.F rpm	Piezas E+B en %	Grado	Clasificación	D.M.F.
10%	Carburo de Tungsteno	11	5.55	7000	84	1	Excelente	*****
					16	2	Bueno	G. Arrancado
	56	2	Bueno		G. Arrancado			
	32	3	Regular		G. Arrancado			
	8	1	Excelente		*****			
Alta velocidad	19	3.12	4	4	Pobre	G. Arrancado		

C.H.: Contenido de Humedad, T.F.: Tipo de fresa, T.E.M. (s): Tiempo efectivo en el moldurado en segundos, V.A.F.: Velocidad de alimentación en segundos, V.P.F.: Velocidad periférica de la fresa, % E+B: Porcentaje de probetas excelentes más buenas, D.M.F.: Defecto más frecuente, G.: Grano.

Cuadro 12. Calidad del moldurado del *Vitex gaumeri* Greenm (Ya'axnik), al 15% de contenido de humedad.

C.H. (%)	T.F.	T.E.M. (s)	V.A. (s)	V.P.F	Piezas E+B en %	Grado	Clasificación	D.M.F.
15%	Carburo de Tungsteno	11	5.55	7000	84	1	Excelente	*****
					8	2	Bueno	G. Arrancado
	8	3	Regular		G. Arrancado			
	48	3	Regular		G. veloso			
	36	4	Pobre		G. veloso			
Alta velocidad	19	3.12	16	5	Muy Pobre	G. veloso		

C.H.: Contenido de Humedad, T.F.: Tipo de fresa, T.E.M. (s): Tiempo efectivo en el moldurado en segundos, V.A.: Velocidad de alimentación en segundos, V.P.F.: Velocidad periférica de la fresa, % E+B: Porcentaje de probetas excelentes más buenas, D.M.F.: Defecto más frecuente, G.: Grano.

Los defectos más frecuentes del moldurado fueron el grano arrancado (Figura 47) y el grano veloso (Figura 48).

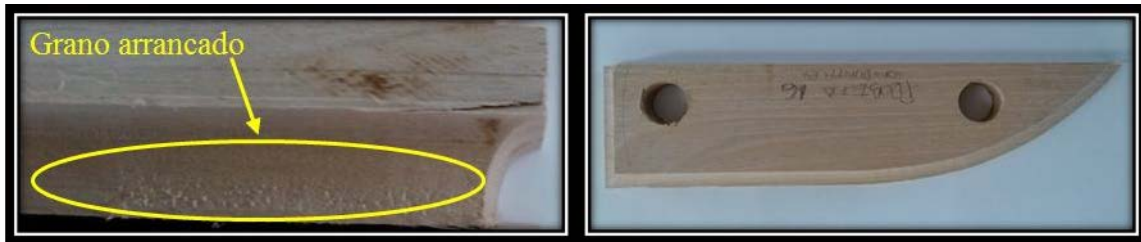


Figura 47. Grano arrancado, defecto más frecuente en el moldurado a un contenido de humedad del 10%.

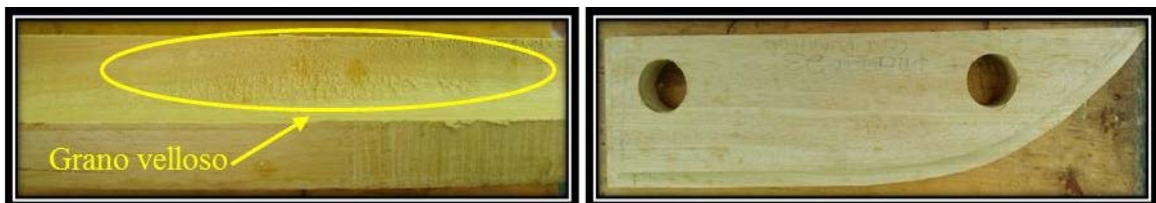


Figura 48. Grano veloso, defecto más frecuente en el moldurado a un contenido de humedad del 15%.

Cantidad porcentual de defectos que aparecieron durante la prueba de moldurado, para las fresas de carburo de tungsteno y la fresa de alta velocidad, para las dos humedades evaluadas (Figuras 49 y 50).

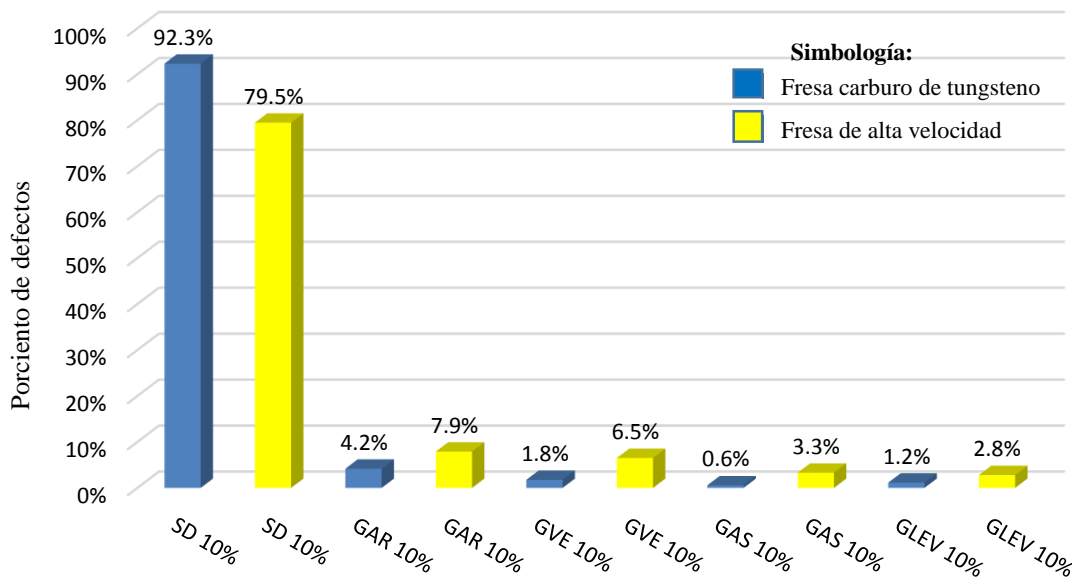


Figura 49. Porcentajes de defectos en el moldurado del *Vitex gaumeri* Greenm (Ya'axnik), al 10% de contenido de humedad.

Eje de las x significan: SD: sin defecto, GAR: grano arrancado, GVE: grano veloso, GAS: grano astillado y GLEV: grano levantado.

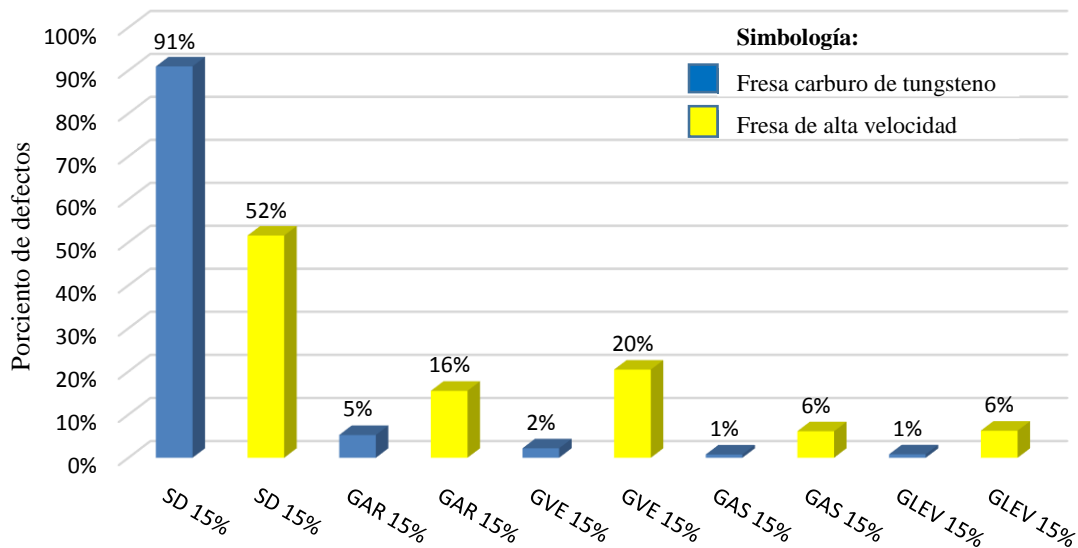


Figura 50. Porcentajes de defectos en el moldurado del *Vitex gaumeri* Greenm (Ya'axnik), al 15% de contenido de humedad.

Eje de las x significan: SD: sin defecto, GAR: grano arrancado, GVE: grano veloso, GAS: grano astillado y GLEV: grano levantado.

A continuación se presenta una gráfica general donde se compararon los contenidos de humedad del 10% y 15% con la fresa de carburo de tungsteno y la fresa de alta velocidad, donde se observó la diferencia porcentual obtenida en los defectos evaluados en el moldurado, (Figura 51).

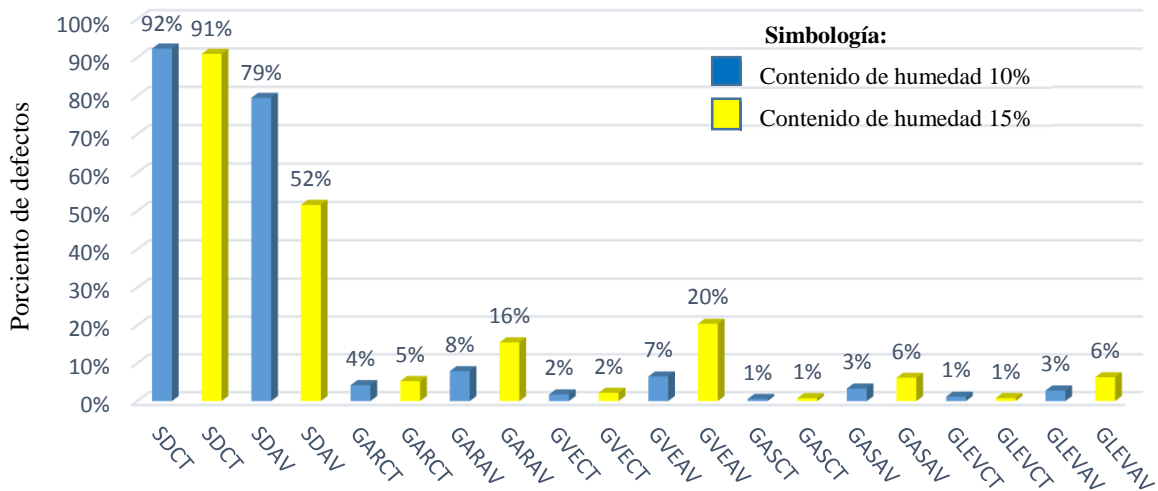


Figura 51. Comparación de defectos en el contenido de humedad 10% contra 15% en el moldurado del *Vitex gaumeri* Greenm (Ya'axnik)

Eje de las x significan: SD: sin defecto, GAR: grano arrancado, GVE: grano veloso, GAS: grano astillado y GLEV: grano levantado; las abreviaturas CT y AV: fresa de carburo de tungsteno y fresa de alta velocidad.

La figura 52 y 53, son las comparaciones realizadas para el moldurado, donde se confrontó la fresa de carburo de tungsteno contra la fresa de alta velocidad en los contenidos de humedad del 10% y del 15%.

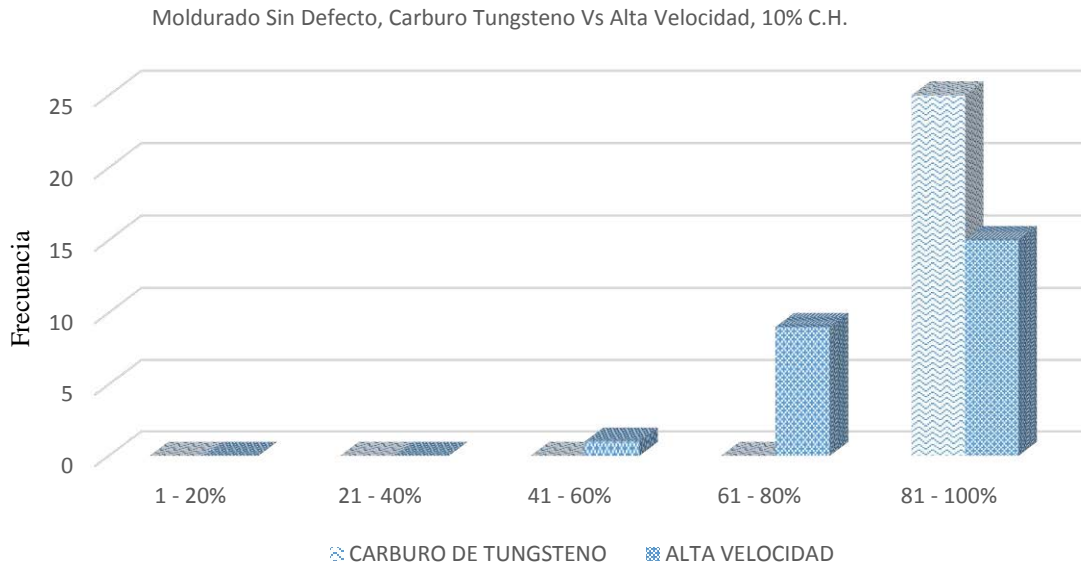


Figura 52. Comparación del moldurado del *Vitex gaumeri* Greenm (Ya'axnik), con fresa carburo de tungsteno y alta velocidad a un contenido de humedad del 10%.

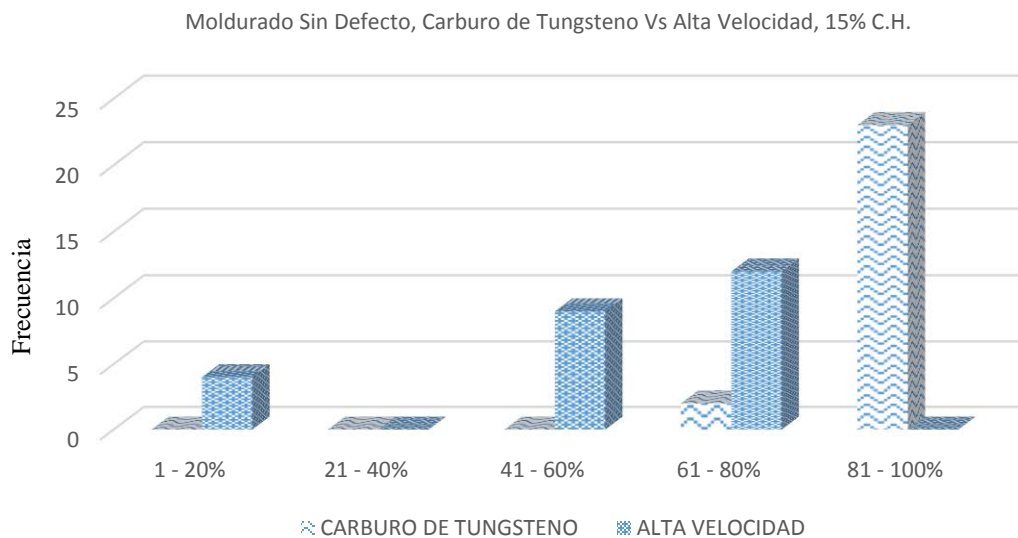


Figura 53. Comparación del moldurado del *Vitex gaumeri* Greenm (Ya'axnik), con fresa carburo de tungsteno y alta velocidad a un contenido de humedad del 15%.

Las figuras 54 y 55, son las comparaciones realizadas para el moldurado, donde se confrontó el contenido de humedad del 10% contra el 15% para cada fresa (carburo de tungsteno y alta velocidad).

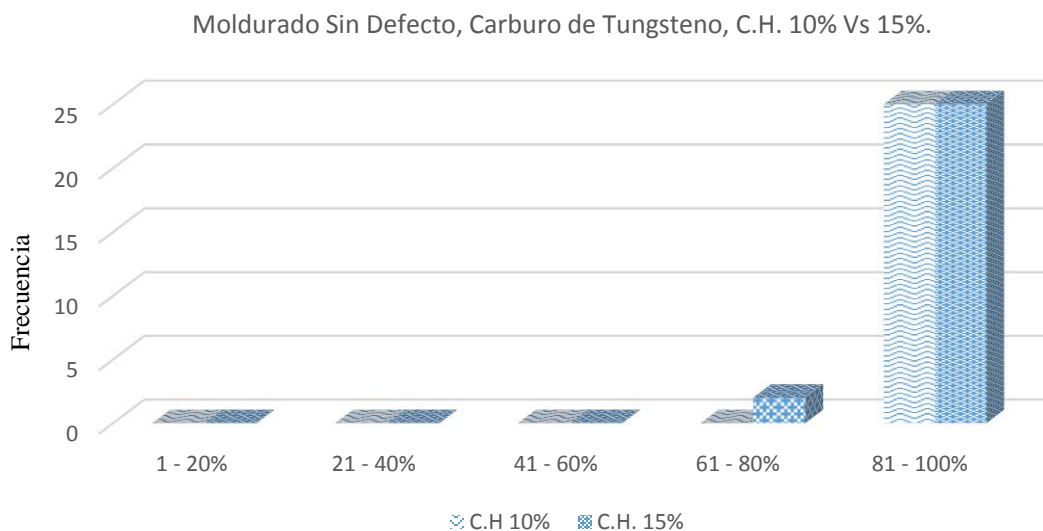


Figura 54. Comparación del moldurado del *Vitex gaumeri* Greenm (Ya'axnik), con fresa de carburo de tungsteno y un contenido de humedad del 10% contra el 15%.

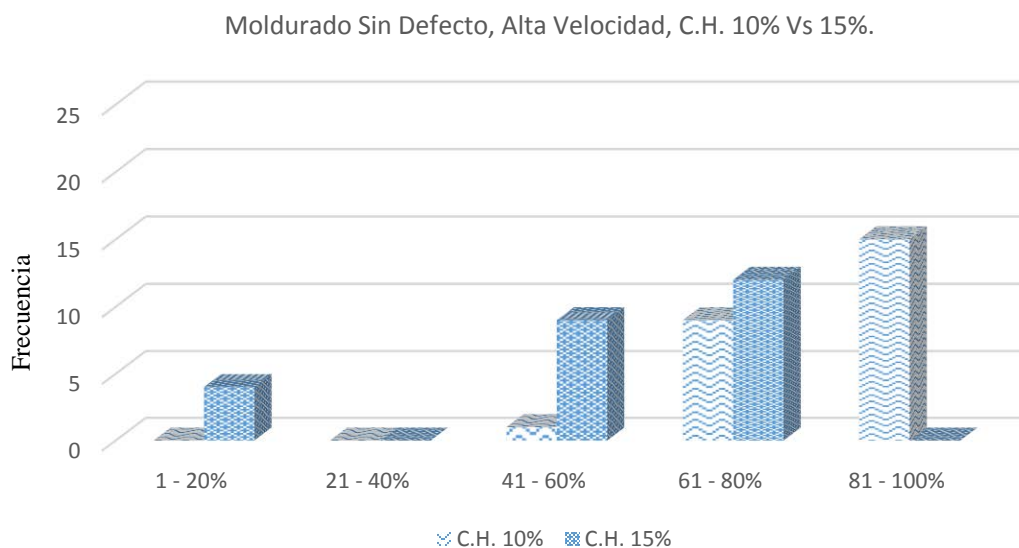


Figura 55. Comparación del moldurado del *Vitex gaumeri* Greenm (Ya'axnik), con fresa de alta velocidad y un contenido de humedad del 10% contra el 15%.

7.5. Torneado

En el torneado se obtuvieron dos resultados: el primero fue un resultado pobre con grado 4 en la madera del contenido de humedad del 10% y una clasificación excelente para el contenido de humedad del 15%. En ambas humedades el defecto más frecuente fue el grano arrancado acompañado del grano vellosa. El cuadro 13 que reúne la calidad del torneado.

Cuadro 13. Calidad del torneado del *Vitex gaumeri* Greenm (Ya'axnik), al 10% y 15% de contenido de humedad.

C.H. (%)	r.p.m.	T.E.C. (s)	V.A. (m/min)	Piezas E+B+R (%)	Grado	Clasificación	D.M.F.
10	5000	8.2	7.14	84	4	Pobre	G. Arrancado
				10	3	Regular	G. Arrancado
				6	5	Muy Pobre	G. Arrancado
15				80	1	Excelente	*****
				20	2	Bueno	G. Arrancado

C.H. Contenido de humedad en porcentaje, r.p.m.: Revoluciones por minuto del cabezal porta-herramientas, T.E.C.: Tiempo efectivo de corte en segundos, V.A.: Velocidad de alimentación en metros por minuto, %E+B+R: Porcentaje de piezas excelentes más buenas más regulares, D.M.F.: Defecto más frecuente. G.: Grano.

El defecto más frecuente del torneado del Ya'axnik fue el grano arrancado en ambos contenidos de humedad (Figura 56).



Figura 56. Grano arrancado, defecto más frecuente en el torneado al 10% y 15% de contenido de humedad.

La cantidad porcentual de la calidad de los defectos que aparecieron al evaluar el torneado (Figura 57).

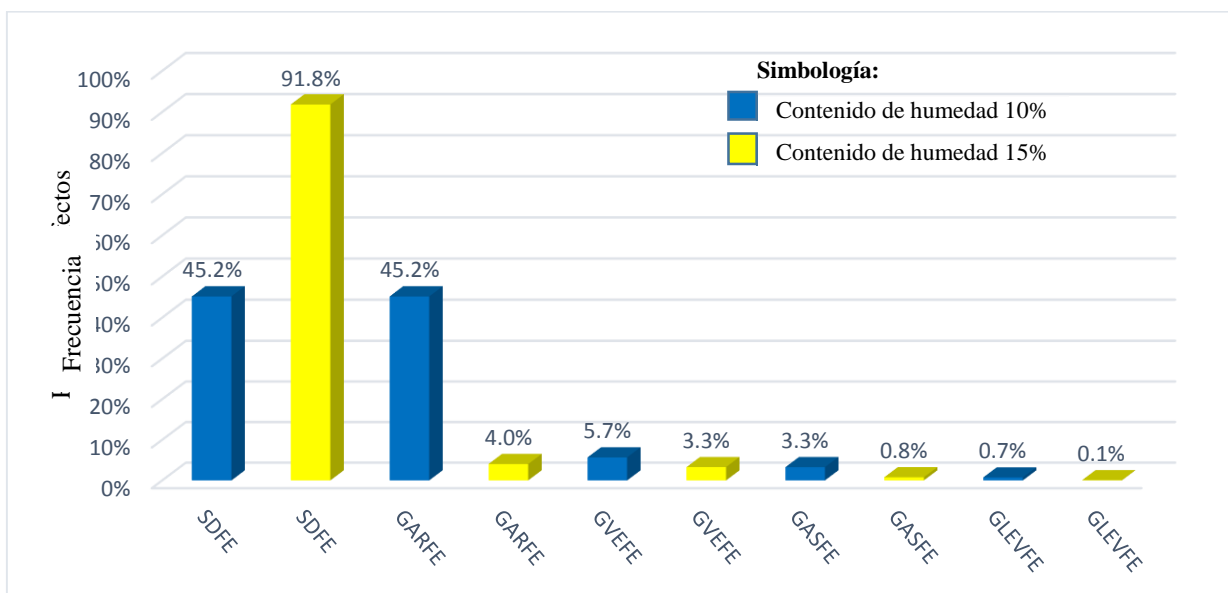


Figura 57. Comparación de defectos en el contenido de humedad 10% contra 15% en el torneado del *Vitex gaumeri* Greenm (Ya'axnik).

Eje de las x significan: SD: sin defecto, GAR: grano arrancado, GVE: grano vellosa, GAS: grano astillado y GLEV: grano levantado; FE: fresa especial de la ASTM-D 1666.

La figura 58, es la comparación que se realizó en el contenido de humedad del 10% contra el contenido de humedad del 15% con la fresa especial.

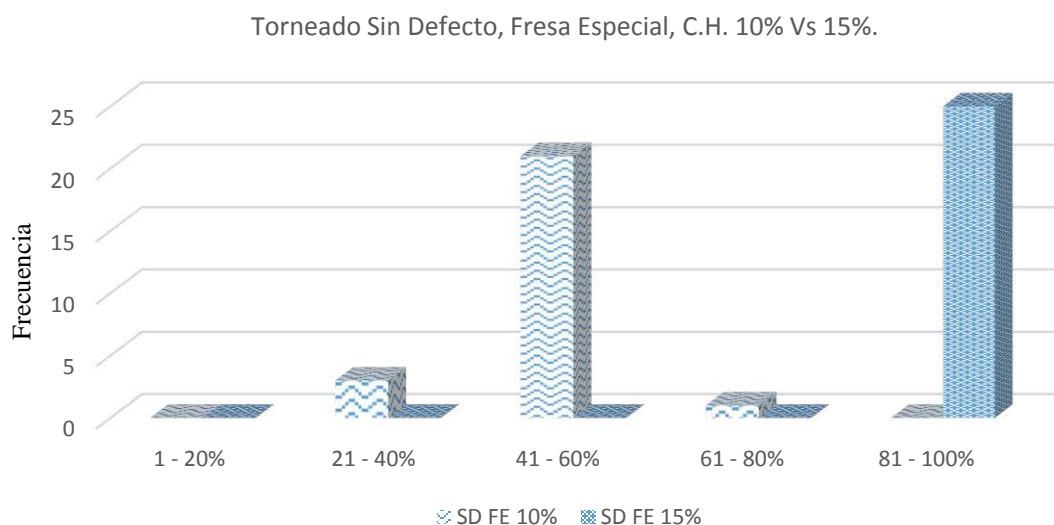


Figura 58. Comparación del torneado del *Vitex gaumeri* Greenm (Ya'axnik), con fresa especial a un contenido de humedad del 10% contra el 15%.

8. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN

8.1. Cepillado

Para la madera del *Vitex gaumeri* Greenm (Ya'axnik), tomando en cuenta que la densidad básica de esta especie es alta (Hernández *et al.*, 2013) y se le clasifica como una madera dura además de un hilo entrecruzado (Hernández y Cruz-de-León, 2013), el mejor ángulo de corte de la cuchilla para el cepillado fue de 20°; con estas características de cepillado, no se tendría ninguna dificultad en incorporar la madera de estas dos humedades a las condiciones de procesamiento industrial.

Cuando se trabaja con una cepilladora y se le realizan combinaciones de las revoluciones por minuto a las que gira el cabezal, el número de cuchillas y la velocidad de alimentación, condiciona de manera directa el número de marcas de cuchilla por centímetro, indicando de manera general que al ser trabajada la madera con un mayor número de marcas de cuchilla, en este caso 25 marcas por centímetro para el Ya'axnik, dan resultados aceptables, superando la cantidad de 20 marcas por centímetro que indica la norma. Todo lo anterior se puede explicar de la siguiente manera; que la madera al presentar en la superficie (cara de cepillado) un mayor número de marcas de cuchilla, los elementos de corte se encuentran removiendo una menor cantidad de madera por unidad de longitud, esto coincide con lo reportado por Flores y Fuentes (1998), Flores (1990) y Zavala (1976), quienes señalaron que a mayor número de marcas de cuchilla por centímetro existe una mayor calidad en el cepillado y con los indicados por Flores (1991), quien señaló que el número de marcas de cuchilla por centímetro influye de manera directa en la calidad de cepillado de cualquier especie.

En ocasiones se trabaja a la velocidad de alimentación que las cepilladoras comúnmente traen establecidas de fábrica, en este proceso se trabajó con una alimentación baja equivalente a 6 m/min, favoreciendo a que las probetas tuviesen un mejor cepillado. Lo anteriormente descrito coincide con los autores Tamarit y López (2007), que mencionan que cuando la velocidad de alimentación se reduce, se incrementa la calidad de la superficie trabajada debido a que la cantidad de madera que tiene que remover cada cuchilla es menor.

Para la madera con un contenido de humedad del 10% se observó que el defecto más frecuente es el grano astillado (figura 20), con un 12% de presencia presentándolo en el ángulo de 30° al hilo de la probeta y en el ángulo de 20° en ambas direcciones del hilo. Finalmente, para este

contenido de humedad, con el 14% de frecuencia apareció el grano apelmusado en la cuchilla de 30° y a contrahilo de la madera.

Por otra parte, la madera con contenido de humedad del 15% presentó como defecto de mayor cantidad porcentual al grano levantado (figura 21b) con el 8% de frecuencia en contrahilo con una cuchilla de 30° y durante el resto de la prueba dominó el grano apelmusado (figura 21a) como defecto más frecuente.

El grano entrecruzado en la madera fue notorio a simple vista, a lo largo de las probetas se podría apreciar la presencia parcial de nudos y el cambio repentino de dirección del hilo, esto provocó algunas ventajas de mejor calidad para la cuchilla de 20° que para la cuchilla de 30°.

El sentido de alimentación con respecto al hilo de la probeta se observó que éste influyó positivamente en la calidad de los resultados, pero en el contrahilo si hubo baja calidad en las caras de la probeta, debido a la presencia de hilo entrecruzado (Hernández y Cruz-de-León, 2013), puesto que las fibras se encontraban dispuestas en varias direcciones, esto provocó que variaran las propiedades tecnológicas a lo largo de las piezas de madera. Dado que la dureza Janka de esta especie es de dureza longitudinal media de 929 kg/cm² y una dureza lateral alta de 801 kg/cm² (Hernández *et al.*, 2013), esta característica puede influir en la facilidad o dificultad de la penetración de la cuchilla, sobre zona de trabajo.

Los resultados obtenidos fueron comparados con dos especies de densidad básica alta, la primera densidad es reportada por Zizumbo (1998) y correspondió a la especie *Pithecellobium ébano* (Benth) Berlan, con hilo inclinado, estudiada por Trujillo en el 2003 y la segunda especie fue *Mangifera indica* L. que presenta hilo ondulado y entrecruzado estudiada por Báez en el 2006, donde reportaron para ambas especies un cepillado pobre a un ángulo de 20°.

Lo anteriormente expuesto, difieren de los resultados obtenidos en el Ya'axnik, pues a una cuchilla con ángulo de 20°, densidad alta e hilo entrecruzado, se han encontrado excelentes resultados para el cepillado. Los autores Tamarit y López (2007), mencionan que las maderas duras se cepillan mejor a favor del hilo y utilizando un ángulo de corte de cuchilla igual o menor a 20° y el hilo recto y ocasionalmente el hilo ligeramente entrelazado da la mejor calidad de maquinado comparado con los otros tipos de hilo.

Comparativamente con especies de latifoliadas de densidad alta, tomando en cuenta la variable del ángulo de corte y otras, se difiere con lo reportado por Zavala-Zavala y Vázquez-Rodríguez (2001), donde afirman que las maderas blandas se cortan mejor con ángulo de corte de 30° y las

duras con ángulo de 20°, a excepción del Chulul, Guaité, Ya'axnik y Tinco consideradas como maderas duras; pues estos autores trabajaron con dos revoluciones por minuto, la primera fue de 4312 y la otra de 6200, no se señaló el lugar de procedencia de la especie ni cuantos arboles fueron derribados para este estudio, tampoco se especificó si el cepillado fue al hilo o al contrahilo mencionando solamente un contenido de humedad; en la presente investigación se trabajó con 2890 r.p.m. a una velocidad de alimentación de 6 m/min, 25 marcas de cuchilla por centímetro y cepilladas al hilo y contrahilo en los dos contenidos de humedad, por lo tanto se demuestra lo contrario para la madera del Ya'axnik.

Los resultados clasificados como pobres obtenidos en este ensayo, concuerdan con lo reportado por Trujillo (2003), en el caso del *Pithecellobium ébano* (Benth) Berlan, Báez (2007), con *Mangifera indica* L., con un ángulo de corte de 30° y difiriendo de una velocidad de alimentación, además coincide con el defecto más frecuente para ambos estudios.

Para el cepillado se encuentra una relación en la combinación de los cuadros de resultados de calidad observados. Para encontrar la mejor calidad superficial de la madera de Ya'axnik se ha encontrado una relación entre probeta, la calidad de superficie, el contenido de humedad y ángulo de la cuchilla, cuya relación dice:

- ❖ A 10% de contenido de humedad se consiguen excelentes resultados para la calidad de superficie en el ángulo de 20° de la cuchilla cepillando al hilo de la madera.
- ❖ A 15% de contenido de humedad se consiguen excelentes resultados para la calidad de superficie en el ángulo de 20° de la cuchilla cepillado al hilo de la madera.
- ❖ A 10% y 15% de contenido de humedad, la cuchilla con ángulo de 30° se consiguen buenos y regulares resultados en la calidad de superficie al hilo de la madera.

La relación anteriormente expuesta se debe a que la humedad de la madera, el hilo entrecruzado y el filo de la cuchilla, juegan el papel determinante de la calidad superficial del cepillado de la madera.

Para conocer mejor el comportamiento de la calidad del cepillado se realizó una comparación entre las diferentes variables con las que fue evaluado, comparando en primera instancia el hilo contra contrahilo en un contenido de humedad del 10% en los ángulos de cuchilla de 20° y 30° y la misma comparación se realizó para el contenido de humedad del 15% (Figuras 26, 27, 28 y 29).

En la figura 26, se observó que las probetas que mejor calidad de cepillado tuvieron se agruparon desde el 81 hasta el 100% al hilo de la probeta, ocupando la mayor frecuencia en un contenido de humedad del 10% con 20° de ángulo en la cuchilla.

En la figura 27, se observó que las probetas que mejor calidad de cepillado encontraron, se agruparon desde el 81 hasta el 100% al hilo de la probeta, ocupando la mayor frecuencia en un contenido de humedad del 10% con 30° de ángulo de la cuchilla.

En ambas figuras 26 y 27, se ha verificado que la mayor frecuencia de calidad en el cepillado sucedió al hilo de la probeta, por lo tanto debe de cepillarse el Ya'axnik al hilo de la probeta al 10% de contenido de humedad.

En la figura 28 y 29, se observó que las probetas que mejor calidad de cepillado tuvieron se agruparon desde el 81 hasta el 100% al hilo de la probeta, ocupando la mayor frecuencia, en un contenido de humedad del 15% con ángulos de cuchilla de 30° y 20°.

En las figuras anteriores, se demostró que la madera de Ya'axnik obtuvo la mejor calidad superficial al hilo de la probeta.

8.2. Lijado

Para ambas humedades y para el grano de lija 100, el lijado se clasificó como excelente, grado 1, aunque la madera de esta especie presenta densidad alta (Hernández *et al.*, 2013), es viable reconocer que se acentúan los defectos conocidos como rayones y grano apelmusado, como sucede en especies de igual densidad e incluso baja.

Tomando en cuenta que el Ya'axnik, es una madera dura (Hernández *et al.*, 2013), se observó que la madera opuso mucha resistencia a la abrasión por parte de la lija, por lo que se considera que aunque presentando estas características de densidad alta, este no fue un factor determinante en la calidad presentada para este ensayo, como lo expresan en sus trabajos de investigación (Davis, 1962; Zavala, 1976), donde mencionan que las maderas más densas están más propensas a los rayones, siendo este defecto el más frecuente en la presente investigación.

Lo anteriormente expuesto coincide con los autores Zavala-Zavala y Vázquez-Rodríguez (2001), donde realizaron el lijado para 34 especies tropicales y estudiaron al Ya'axnik y se

afirmó que los rayones afectaron severamente a la especie Bayo y del Guaité y en menor grado al Chiquinib, Ya'axnix y el Chulul, interpretando que se encontró calidad en el lijado sin reportar a que contenido de humedad fue determinado.

El defecto más frecuente en esta prueba fueron los rayones (figura 30) que se presentaron para ambas humedades en una cantidad porcentual de un 8.2% de presencia en la madera del 10% de contenido de humedad y 4% de presencia porcentual en la madera del contenido de humedad del 15% con una severidad superficial, por lo que se considera que el grado de afectación de los rayones sobre la calidad del lijado en la madera de Ya'axnik, es mínimo, (Cuadros 7 y 8).

Los rayones se presentaron principalmente por el entrecruzamiento del hilo y la textura mediana heterogénea (Hernández y Cruz-de-León, 2013), esto provocó que al momento de incidir el material abrasivo sobre la superficie de la madera arrancara diminutas porciones de fibras dejando un pequeño rasguño sobre la cara lijada. Este defecto apareció cuando las fibras estuvieron orientadas desordenadamente y por el contrario las fibras que estuvieron bien orientadas en un solo plano al sentido de paso de la lija, permanecieron unidas a la probeta.

La madera de 10% de contenido de humedad fue la única en presentar el defecto conocido como grano velloso de manera superficial, principalmente cuando se trabajó con la lija del número 100; esto puede atribuirse a que la cantidad de agua presente en las fibras fue baja provocando un ligero desprendimiento de fibras sin arrancarse por completo, además el grano entrecruzado (Hernández y Cruz-de-León, 2013) a lo largo de la pieza de madera es más pronunciado en algunas secciones que en otras, por tanto el material abrasivo desbastó de forma semi-transversal a las fibras de la probeta, rompiendo las paredes celulares y al toparse con los lúmenes de las células, el espacio creado por el abrasivo se acentuaba dándole mayor vista al grano velloso y los rayones en ambos granos de la lija.

Los resultados excelentes obtenidos se compararon con la especie *Pithecellobium ébano* (Benth) Berlan de densidad alta reportado por Trujillo (2003) y coinciden con lo reportado por Zavala-Zavala y Vázquez-Rodríguez (2001), donde manifestaron una ligera severidad de rayones en el lijado del Yaxnik, coincidiendo con los resultados de la presente investigación.

En el proceso de lijado, la densidad, juega un papel importante en la calidad de la madera, pues le permite a esta madera competir visualmente y estéticamente ante otras especies que puedan ser compradas por tener estas características aceptables para los trabajos industriales.

En la figura 31 y 32, se puede apreciar que en el proceso de lijado del Ya'axnik, en ambas humedades y para ambas granulometrías de lija, la suma de piezas excelentes otorgó una clasificación de excelente en tres de sus resultados porcentuales más altos y solo mostró una clasificación buena cuando se usó lija del 80 a un contenido de humedad del 10%.

De lo observado en los cuadros de resultados, de los porcentajes obtenidos para la calidad del lijado, se encontró que existe una relación entre el contenido de humedad y las lijas, quedando de la siguiente forma:

- ❖ En el Ya'axnik al 15% de contenido de humedad existe mayor suavidad de las fibras, por lo tanto, la madera de Ya'axnik con la lija del grano número 100, borra las imperfecciones del cepillado quedando la superficie lista para recibir algún acabado.
- ❖ Al 10% de contenido de humedad la lija del grano 80 en la madera de Ya'axnik, no logra eliminar todos los defectos del cepillado durante el lijado de la madera.

Finalmente un grano de lija grueso produce superficies ásperas, remueve más madera por unidad de tiempo e incrementa la temperatura en la superficie de la madera lijada.

Para conocer aún mejor el comportamiento del proceso de lijado en la madera de Ya'axnik, se realizaron comparaciones primero en las lijas grano 80 contra el 100 en 10% y 15% de contenido de humedad y en segunda instancia se compararon los contenidos de humedad del 10% contra el 15% en las lijas con grano del 80 y 100 (Figuras 34, 35, 36 y 37).

En la figura 34, se observó que las probetas que mejor calidad de lijado tuvieron se agruparon desde el 81 hasta el 100%, ocupando la mayor frecuencia de calidad la lija del grano 100 en un contenido de humedad del 10%.

En la figura 35, se observó que la madera de Ya'axnik encontró calidad en el contenido de humedad del 15% en ambos granos de la lija, pues las agrupaciones radicaron desde un 80 hasta el 100% de la calidad porcentual y alcanzando la máxima frecuencia.

En la figura 36, la lija del grano 80 alcanzaron una frecuencia de 15 en el contenido de humedad del 10%, mientras que para el contenido de humedad del 15% la frecuencia llegó a 25, es decir, que a mayor contenido de humedad mayor suavidad de las fibras, por lo tanto la lija del grano 80 se tiende a comportar excelentemente en el contenido de humedad del 15%.

En la figura 37, la lija del grano 100 alcanzó una frecuencia arriba de 20 en el contenido de humedad del 10%, mientras que para el contenido de humedad del 15% la frecuencia casi llegó a la cantidad 25 (tope límite de la frecuencia); lo que indicó que la lija del grano 100 alcanzó la mejor calidad en el contenido de humedad del 15%.

En las figuras anteriormente mostradas, se ilustra que la madera de Ya'axnik obtuvo la mejor calidad superficial del lijado con la lija del grano 100.

8.3 Taladrado

La madera de Ya'axnik, al ser penetrada por la broca de torsión simple y de puntilla mostró en ocasiones una suavidad en la penetración y con la broca para metal, una alta resistencia; compréndase que las fibras están desordenadas (grano entrecruzado, Hernández y Cruz-de-León, 2013) y varía de una zona a otra, lo que afectó severamente al corte de las fibras, por lo cual en la madera de Ya'axnik, la velocidad de alimentación y la velocidad de giro de la broca deben reducirse, para que al momento de atacar la zona de corte de la madera, este se realice de manera más lenta, con la finalidad de buscar la calidad del taladrado y que los defectos no se acentúen notoriamente.

Los defectos más frecuentes fueron el grano arrancado (Figura 38) y el grano velloso (Figura 39) estos contribuyeron al detrimento de la calidad de la superficie maquinada (Cuadros 9 y 10), su presencia se atribuyó al grano entrecruzado, a la textura mediana heterogénea (Hernández y Cruz-de-León, 2013) y al parénquima paratraqueal vasicéntrico (Pérez *et al.*, 1980), debido que al incidir la broca en la madera y cortar las fibras en diferentes direcciones sólo se cortó parcialmente la pared celular, dejando en la superficie la presencia de grano arrancado y grano velloso. Los poros, se ven a simple vista (Hernández y Cruz-de-León, 2013), las fibras en su mayoría son de tipo libriformes y algunas fibrotraqueidas, clasificadas como de longitud larga con respecto al valor de su media y el grosor de las paredes es clasificado como delgado (Pérez

et al., 1980). Presentando estas características anatómicas la madera de esta especie provoca que al incidir la broca en el material, ésta arranque pedazos considerables de fibras dejando la apariencia de huecos en la superficie maquinada o pedazos de madera prendidos a la superficie.

Durante el proceso de taladrado, cuando se empezó a cambiar el sentido de las brocas, bien sea la broca de torsión simple y de puntilla y la broca para metal, se observa que durante el corte en las probetas aparece un ligero grano veloso en la madera y se debe al cambio de orientación de las fibras, algunas de estas fibras estuvieron en sentido longitudinal y otras en el sentido transversal.

La calidad del taladrado se mantuvo estable para la broca simple y con puntilla, la velocidad de alimentación fue de 5.47 segundos en promedio y el tiempo efectivo de taladrado de 22 segundos en promedio. Estas velocidades de trabajo permitieron encontrar los mejores resultados en la madera pero con la broca para metal, sucedió todo lo contrario.

Los resultados excelentes pueden explicarse por la combinación de la velocidad de penetración utilizada que fue de 22 segundos en promedio y por la densidad alta (Hernández *et al.*, 2013) de la madera, tratando de que la broca realice propiamente un trabajo de corte en lugar de enredar las fibras de la probeta, evitando en sí, que la madera se quemara como efecto de un mayor tiempo de contacto entre la herramienta de corte y la madera.

Los excelentes resultados se obtuvieron en la broca de torsión simple y con puntilla en ambas humedades y coinciden con el trabajo reportado por Trujillo (2003), sobre el maquinado de la madera de *Pithecellobium ébano* (Benth) Berlan, donde se obtuvieron excelentes resultados en el proceso y lo atribuyó a la cantidad de revoluciones por minuto aplicadas. Estos resultados también coinciden con Zavala-Zavala y Vázquez-Rodríguez (2001), donde estudiaron a las maderas duras tales como: Chicozapote, Machiche, Chacahuante, Ramón, Ya'axnik, Chechen, Popiste, entre otros, y obtienen excelentes resultados en este proceso y lo atribuyeron a las revoluciones por minuto aplicadas, sin mencionar la velocidad de alimentación, el tiempo efectivo del taladrado, el contenido de humedad y ni el tipo de broca que utilizó.

En las figuras 40 y 41, se pueden apreciar las cantidades porcentuales de los defectos presentes en el taladrado. Estos defectos variaron de acuerdo a la broca utilizada y la cantidad en agua presente en las fibras de la madera. Se puede considerar que una madera de hilo entrecruzado

(Hernández y Cruz-de-León, 2013) como lo es el Ya'axnik, cuando presentó el contenido de humedad bajo, la broca penetra más fácilmente las fibras, dando un aspecto quebradizo sobre la superficie perforada, mientras que cuando presentó una humedad más estable con el ambiente la madera reaccionó dejando mayor calidad en el proceso.

Realizando el análisis de los cuadros de resultados, se encontró que en las probetas de la madera estudiada tienen una variabilidad en el comportamiento de la calidad y se atribuye este último al tipo de broca (herramienta de corte) y contenido de humedad, por lo tanto, existe una relación de trabajabilidad cuando se busque conseguir la calidad como factor principal y se explica de la siguiente manera:

- ❖ A 15% de contenido de humedad excelente calidad del taladrado con la broca de puntilla.
- ❖ A 10% de contenido de humedad, se pone en riesgo la calidad del taladrado cuando se trabaja con broca puntilla.
- ❖ La broca para metal cuando se trabajó a 15% de contenido de humedad, encontró una mayor suavidad de las fibras, provocando un alto desprendimiento de fibras sin cortar dejándolas adheridas a la madera.

Es importante destacar que las especificaciones técnicas del taladro como máquina de trabajo, pueden influir directa o indirectamente en la calidad del proceso.

Para conocer más a detalle la calidad del taladrado, se realizaron las comparaciones de la broca de torsión simple y de puntilla contra la broca para metal en cada contenido de humedad (10 y 15%) y también se comparó el contenido de humedad del 10% contra el 15% en cada tipo de broca (broca puntilla y broca metal) observando en las figuras 43, 44, 45 y 46, lo siguiente:

La figura 43, demostró que las probetas que mejor calidad durante el taladrado tuvieron se agruparon desde el 81 hasta el 100%, ocupando la mayor frecuencia en un contenido de humedad del 10% para la broca de puntilla.

En la figura 44, las probetas que mejor calidad de taladrado tuvieron se agruparon desde el 81 hasta el 100%, ocupando la mayor frecuencia en un contenido de humedad del 15% para la broca de puntilla.

Se especifica entonces que la madera de Ya'axnik debe de taladrarse con la broca de torsión simple y de puntilla y la broca para metal no sería una buena opción para el taladrado en ambos contenidos de humedad (10% y 15%).

En la figura 45, las probetas que mejor calidad de taladrado tuvieron se agruparon desde el 81 hasta el 100%, ocupando la mayor frecuencia en el contenido de humedad del 15% para la broca de puntilla.

En la figura 46, las probetas evaluadas con la broca para metal alcanzaron la calidad porcentual más baja que va desde 1 a 20% con una frecuencia de 15 en el contenido de humedad del 15%, mientras que para el contenido de humedad del 10% hay una calidad porcentual que va desde el 41 al 60% con una frecuencia arriba de 5. La broca para metal, en ambos contenidos de humedad no es favorable para el proceso del taladrado.

La broca de torsión simple y de puntilla obtuvo los excelentes resultados, comparándola con la broca para metal y con los contenidos de humedad del 10% y 15% a los que se trabajó la madera.

8.4 Moldurado

Los defectos más frecuentes en el corte del moldurado con contenido de humedad del 10% y 15% de la madera de Ya'axnik, fueron el grano arrancado (Figura 47) y el grano vellosos (Figura 48). Dominando el grano arrancado como defecto más frecuente. Se presentó el grano vellosos en el corte transversal de las fibras y el grano levantado se presentó por una diferencia de densidades en las zonaciones de crecimiento entre madera tardía y madera temprana, apareciendo con un porcentaje de presencia del 6% en el contenido de humedad del 15%.

El grano astillado fue el defecto que menos cantidad porcentual ocupó, con un 0.6% de presencia para el contenido de humedad del 10% y con el 1% en el contenido de humedad del 15% (Figura 49 y 50), el grano astillado se presentó al momento de realizar el cambio del corte transversal a longitudinal con respecto a las fibras, lo que puede atribuirse al entrecruzamiento del hilo (Hernández y Cruz-de-León, 2013) y a la alta densidad de la especie (Hernández *et al.*, 2013) donde la flexibilidad y la capacidad de adhesión entre las fibras resulta ser baja, ocasionando que en lugar de cortar se produzca un desprendimiento de grandes astillas al realizar el cambio de dirección en el corte.

También se presentó el grano levantado para ambas fresas y en ambas humedades (Figura 49 y 50, muestran la cantidad porcentual de cada uno) de manera superficial sin afectar la calidad del moldurado. En el corte paralelo a las fibras se observó para el caso de ambas humedades que

apareció en forma incipientemente el grano veloso ocupando un mayor porcentaje en la fresa de alta velocidad.

Los excelentes resultados para este proceso fueron comparados con los resultados de *Pithecellobium ébano* (Benth) Berlan, reportado por Trujillo (2003), quien afirma haber obtenido buenos resultados de moldurado para esta especie que pueden deberse en gran medida a la textura fina de la especie y a su alta densidad. Para la madera Ébano y el Ya'axnik, en cuanto a su densidad alta (Hernández *et al.*, 2013) coincide con lo que menciona Zavala (1976), donde afirma que las maderas más densas presentan mejores características de moldurado.

Los resultados obtenidos de pobres y muy pobres se atribuyen al implemento de la fresa de alta velocidad la cual se trabajó con un tiempo efectivo de moldurado de 19 segundos y una velocidad de alimentación de 3.12 segundos, en ambas humedades y coinciden con el trabajo de Zavala-Zavala y Vázquez-Rodríguez (2001), en donde la madera de Chulul, Ya'axnik, Cedrillo, Chechén blanco, Jobo, Maca blanca, Tinco, Guacibán, Masamorro y Palo de picho obtuvieron resultados pobres en el proceso de moldurado, sin especificar la velocidad que se usó para este proceso y en qué tipo de broca sucedió la clasificación asignada.

En la fresa de alta velocidad se observó un ligero descenso en la calidad de la moldura y se debió en gran parte a que la fresa solo contaban con dos cuchillas de corte y la velocidad se observó que tendía a disminuir cuando la herramienta de corte hizo contacto con las fibras de la probeta, pero Koch (1964), menciona que a una velocidad de 3,600 rpm el número de cuchillas puede incrementarse en proporción directa a la velocidad de avance, es decir si se aumenta las rpm se aumenta la velocidad de avance de las cuchillas. Otro factor importante pudo ser la velocidad periférica del corte de acuerdo con Davis (1962), donde encontró ligeros descensos de calidad al momento de realizar el moldurado.

De los cuadros de calidad mostrados en el moldurado y tomando en cuenta los niveles de la evaluación porcentual en las probetas excelentes, buenas, regulares, pobres y muy pobres, se encontró que existe una relación entre las variables, contenido de humedad y tipo de fresa (herramienta de corte). Cuando se busca como factor principal la calidad de la moldura la relación madera y variables, quedó de la siguiente manera:

-
- ❖ A 10% y 15% de contenido de humedad, en la madera de Ya'axnik, se obtienen los excelentes resultados con la fresa de carburo de tungsteno. El filo de la herramienta realiza efectivo los cortes de las fibras en el sentido transversal y longitudinal.
 - ❖ La fresa de alta velocidad, no logra cortar efectivamente las fibras del Ya'axnik dejando un porcentaje medio de fibras prendidas a la madera en el sentido transversal y longitudinal en los contenidos de humedad del 10% y 15%.

La calidad en el moldurado radicó también en función de las características del trompo y de sus especificaciones técnicas emitidas por la industria fabricante. Tómese en cuenta las características anatómicas, físicas, mecánicas y químicas de la especie en todos los procesos.

Para conocer más a detalle la calidad del moldurado, se realizaron las comparaciones de la fresa de carburo de tungsteno contra la fresa de alta velocidad en cada contenido de humedad (10% y 15%) y también se comparó el contenido de humedad del 10% contra el 15% en cada tipo de fresa (fresa carburo de tungsteno y fresa de alta velocidad) observando en las figuras 52, 53, 54 y 55, lo siguiente:

En la figura 52, se demostró que las probetas que mejor calidad de moldurado tuvieron se agruparon desde el 81 hasta el 100%, ocupando una frecuencia de casi 25 en un contenido de humedad del 10% para la fresa de carburo de tungsteno, mientras que la fresa de alta velocidad ocupó una frecuencia arriba de 10 muy por debajo de la fresa de carburo de tungsteno.

La figura 53, demostró que la mejor calidad del moldurado se dio en el contenido de humedad del 15% y con la fresa de carburo de tungsteno, agrupándose la calidad porcentual desde el 81 hasta el 100% y ocupando una frecuencia por encima de 20.

De ambas comparaciones, se observó que la fresa de carburo de tungsteno, encuentra la calidad de moldura cuando se trabaja en cualquiera de las dos humedades y que la fresa de alta velocidad no es adecuada para la trabajabilidad del Ya'axnik.

En la figura 54, los contenidos de humedad del 10% y 15%, no mostraron diferencias cuando se trabajó con la fresa de carburo de tungsteno, agrupándose porcentualmente desde el 81 hasta el 100% y la frecuencia alcanzada por esta fresa radica casi en los 25 (límite de la frecuencia).

En la figura 55, las probetas procesadas con la fresa de alta velocidad tuvieron una gran variabilidad en la calidad porcentual de la evaluación sin defecto. Esta variabilidad se atribuye quizás al filo de la fresa y al entrecruzamiento del hilo (Hernández y Cruz-de-León, 2013). Los contenidos de humedad no le son favorables a ésta broca.

8.5 Torneado

Las probetas torneadas se analizaron visualmente exponiéndolas a la luz natural, evaluándolas en una escala del 1 al 5, con base en la presencia o ausencia de los defectos como: sin defecto, grano vellosos, grano arrancado, grano astillado y grano levantado.

En el caso de la madera de 15% de contenido de humedad tuvo poca influencia directa en la calidad de la superficie trabajada pues los resultados expresan cómo reacciona la especie ante la fresa especial, es decir a mayor contenido de humedad se obtuvo una mejor calidad en el torneado; caso contrario sucedió en el contenido de humedad del 10% donde los defectos del Ya'axnik se hicieron presentes notoriamente en la tersura de su superficie, puesto que a un contenido de humedad bajo la calidad del torneado descendió hasta la clasificación de dejarlo pobre.

La calidad superficial de la madera en el proceso de torneado es atribuible al contenido de humedad presente en las fibras de la madera, provocando mayor suavidad y deslizamiento de la cuchilla cuando esta hace contacto sobre la superficie de la superficie.

Por otra parte el entrecruzamiento del hilo (Hernández y Cruz-de-León, 2013) es permanente en todas las probetas y siendo así este proceso la madera de Ya'axnik consigue calidad en el torneado, esto difiere de lo que sucede con la madera de *Acrocarpus fraxinifolius* Wigh & Arn., reportada por Meraz (2007), que durante el proceso del torneado de esta especie obtuvo resultados pobres y se contraponen a la calidad encontrada en el Ya'axnik.

De igual manera la dureza del Ya'axnik se consideró que no fue un factor determinante en la calidad de torneado debido a que se mostraron resultados excelentes y coincidiendo con lo que expresan Echenique y Plumptre (1994), para condiciones semejantes en cuanto a dureza, densidad, hilo y textura para la especie *Zanoxylum beliziense*, la clasifican como fácil y aceptable en los resultados del torneado.

El defecto más frecuente en la humedad del 10% fue el grano arrancado (Figura 56), seguido del grano vellosos en la madera del 15%. El astillamiento del grano vellosos, se atribuyó principalmente al hilo entrecruzado de la madera, este astillamiento se debió al ataque de la cuchilla sobre las fibras en diferentes direcciones, provocando un desprendimiento de las mismas, que en combinación con la textura mediana heterogénea de esta madera al incidir la cuchilla en estos elementos, los arranca desprendiéndolos de la superficie trabajada, dejando pequeñas huellas en forma de agujeritos y en ocasiones lo dejó prendido a la superficie trabajada formando un apelmusamiento.

A mayor contenido de humedad en la madera de Ya'axnik, se pueden encontrar excelentes resultados en el torneado de la especie, de lo anteriormente expuesto, se difiere de lo expuesto por Meraz (2007) en el maquinado de *Acrocarpus fraxinifolius* Wigh & Arn, procedente de una plantación forestal y Morales (2007) para *Pinus oaxacana*, quienes obtuvieron excelentes resultados en el torneado de su especie estudiada y afirman que el contenido de humedad no influyó en la calidad obtenida.

Los resultados pobres y excelentes, obtenidos en dos contenidos de humedad, difieren de lo reportado por Zavala-Zavala y Vásquez-Rodríguez (2001), en donde se reportó que el Ya'axnik a un contenido de humedad del 8% obtuvo el 71% de ocupación en el grado 2 (bueno), mientras que para la humedad del 12% alcanzó el grado 3 (regular), no se menciona la velocidad de alimentación a la que consigue estos resultados, ni el tiempo efectivo en segundos en las que procesa cada probeta. Caso contrario sucedió cuando se compararon los resultados obtenidos en el presente estudio del Ya'axnik pues a un contenido de humedad de 10% el torneado es pobre (grado 4) y en el contenido de humedad del 15% se encontraron excelentes resultados (grado 1). La excelencia de los resultados se logró a 5000 revoluciones por minuto del cabezal portaherramientas, en un tiempo efectivo de corte de 8.2 segundos y una velocidad de alimentación de 7.14 m/min.

Finalmente revisando otros trabajos en cuanto a la influencia del contenido de humedad en el torneado la presente investigación coincide con lo reportado por Zavala (1976) con la especie *Alnus arguta* y con Medina (2003) con *Eucaliptus urophylla* y *Eucaliptus grandis*, quienes obtuvieron mejores resultados cuando el contenido de humedad fue mayor e indicando que esta variable influye en la calidad del torneado de manera directa, puesto que a un contenido de

humedad bajo, las fibras son más rígidas y por lo tanto presentan una mayor resistencia a ser cortadas por la cuchilla, dando como resultado que en la severidad de los defectos se incrementa principalmente el grano astillado, por lo que se obtiene una mejor calidad en el resultado a un mayor contenido de humedad, esto se debe a que las fibras oponen menor resistencia al corte de la cuchilla; coincide con el comportamiento de la calidad del Ya'axnik, que a mayor humedad, mayor calidad en el torneado.

En la Figura 57 se mostró la comparación entre ambas humedades y se pudo observar que el contenido de humedad influyo en la calidad superficial obtenida para la madera de 15% de contenido de humedad, mientras que la madera de 10% de contenido de humedad tuvo una reacción inversa, coincidiendo con los autores anteriormente reportados.

La relación entre las humedades, madera y fresas, arrojaron la siguiente relación de trabajabilidad para el Ya'axnik:

- ❖ A 15% de contenido de humedad, se consiguen excelentes resultados en el torneado de la madera con la fresa especial. Las fibras en el contenido de humedad del 15%, son más húmedas facilita a la fresa especial cortarlas fácilmente sin dejar alto porcentaje de imperfecciones.
- ❖ A 10% de contenido de humedad, las fibras de la madera estuvieron mayormente rígidas, lo que provocó el desfibrado de la madera al hacer contacto con el filo de fresa, bajando la calidad al proceso.

Tómese en cuenta siempre al afilado constante de la fresa especial, porque puede variar los excelentes resultados de acuerdo a las especificaciones técnicas del torno con el que se trabaje.

Finalmente la madera de Ya'axnik presentó algunas quemaduras en el contenido de humedad del 10%. Para conocer más a detalle la calidad del torneado, se realizó solamente la comparación del contenido de humedad del 10% contra el 15%, ambas humedades, con la fresa especial recomendada por la norma (Figura 58) y obteniendo un grado de excelencia en el contenido de humedad del 15% con una frecuencia de casi 25 (tope límite de la frecuencia) agrupándolas del 81 al 100% con la mejor calidad, mientras que para el contenido de humedad del 10% la clasificación fue pobre y con una frecuencia de 20, la calidad en la moldura radicó entre el 41 y el 60%.

9. CONCLUSIONES

- ❖ El quemado de la madera, se presentó en los procesos de maquinado del Ya'axnik, ya que la madera es de alta densidad (Hernández et al., 2013), esto pudo haberse evitado o eliminarse en parte, si le hubiese aumentando la velocidad a las herramientas de corte utilizadas en cada proceso.

9.1. Cepillado

- ❖ El cepillado de la madera de Ya'axnik, presentó condiciones excelentes (grado 1) cuando es cepillada con una cuchilla de 20° a un contenido de humedad del 15%.
- ❖ A la prueba de cepillado se le calificó como excelente al 15% de contenido de humedad.
- ❖ El cepillado del Ya'axnik, obtiene excelentes resultados cuando se efectuó al hilo de la probeta.

9.2. Lijado

- ❖ En el lijado se consiguieron excelentes resultados con una lija del grano 80 y la del grano 100 en todo el proceso.
- ❖ El contenido de humedad del 15%, fue el más efectivo para conseguir excelentes resultados en el procesamiento de lijado durante el maquinado del Ya'axnik.

9.3. Taladrado

- ❖ Se consiguió el grado 1 con el 84% de excelencia para la broca de torsión simple y de puntilla en el contenido de humedad del 15%.
- ❖ En el 10% de contenido de humedad, la madera suele quebrarse y desfibrarse con la broca para metal.
- ❖ En los contenidos de humedad del 10% y 15%, la broca para metal no es la adecuada para realizar los orificios.

9.4. Moldurado

- ❖ En la prueba de moldurado, el 84% de las piezas se declararon excelentes en el proceso de evaluación para 10% y 15% contenidos de humedad; trabajando con una fresa de carburo de tungsteno.
- ❖ Para la elaboración de molduras, el contenido de humedad influye en la calidad y también el tipo de fresa a utilizar.
- ❖ La fresa de alta velocidad no es recomendable para elaborar piezas de moldura de la especie *Vitex gaumeri* Greenm (Ya'axnik).

9.5 Torneado

- ❖ En la prueba del torneado se obtuvieron excelentes resultados con el 80% de calidad excelente a un contenido de humedad del 15%.
- ❖ La madera con contenido de humedad del 10% suele desfibrarse al momento de hacer contacto con la fresa especial.
- ❖ La humedad, es un factor que debe considerarse al tornearse la madera de Ya'axnik, ya que juega un papel muy importante en la calidad final de la pieza procesada.

El 80% de los procesos evaluados durante el maquinado de la madera de Ya'axnik suelen ser favorables para el contenido de humedad del 15%, es decir la madera puede maquinarse cuando esté bajo estas condiciones.

10. RECOMENDACIONES

Para todos los procesos de maquinado utilícese madera de *Vitex gaumeri* Greenm (Ya'axnik), a un 15% de contenido de humedad para obtener excelentes calidades.

Cepillado

- ✓ Al cepillar Ya'axnik (*Vitex gaumeri* Greenm), utilice el mayor número de marcas de cuchilla posible, con una baja velocidad de alimentación para obtener una mejor calidad de la madera.
- ✓ Las cuchillas deben estarse afilando continuamente, para obtener calidad y disminuir la presencia de defectos en la madera.
- ✓ En caso de presentarse los defectos en la madera con una lija del grano 80 se pueden eliminar, dándole una mayor calidad a la cara de la madera.

Lijado

- ✓ Si la madera de Ya'axnik, presenta un gran porcentaje de defectos después de cepillarse, se recomienda usar una lija del grano 80 para eliminar los granos apelmusado y arrancado; posteriormente aplique la lija del grano 100, para pulir la pieza de madera.
- ✓ Si la madera de Ya'axnik se acondiciona a 15% de contenido de humedad, con la lija del grano 100 borrara las imperfecciones del cepillado y obtendrá excelentes resultados en el proceso.

Taladrado

- ✓ Para conseguir calidad en el taladrado del Ya'axnik, disminuya la velocidad de penetración de la broca cuando se haga el primer contacto con la madera.
- ✓ Cuando se retire la broca una vez finalizada la perforación de la madera, hágase lentamente y precautoriamente para evitar desprendimientos de fibras.
- ✓ La broca de torsión simple y de puntilla manténgala muy bien afilada para el obtener un corte limpio de las fibras.
- ✓ Para eliminar los defectos como grano arrancado y apelmusado durante el taladrado, aplique una lija del grano 80 para conseguir una buena o excelente calidad.

Moldurado

- ✓ Cuando se elaboren molduras con madera de Ya'axnik, úsese la fresa de carburo de tungsteno en humedades que van desde 10 % hasta 15%, obteniendo la mejor calidad posible.
- ✓ La moldura debe realizarse en sentido longitudinal al hilo de la madera, para reducir los defectos de maquinado.
- ✓ Con una lija del grano 100, se pulen bien los defectos del moldurado, dándole calidad a la pieza.

Torneado

- ✓ Úsese madera con humedad ambiental para encontrar la calidad en las piezas torneadas.
- ✓ Con la lija del grano 100, se pulen bien los defectos de la pieza torneada si la madera está en condiciones ambientales.

Generales

- ✓ Es importante recomendar al menos cada hora de trabajo afilar las cuchillas, fresas, brocas o cualquier otro implemento en la trabajabilidad de especies tropicales. En caso de no afilarse la madera tiende a presentar mayor cantidad de defectos.
- ✓ Considere de 1 hora a 1 hora y ½ de descanso a las cuchillas, fresas y brocas, debido a que si se continúa trabajando sobre la pieza de madera suelen quemarse las fibras superficiales provocando manchas negras provocadas por la fricción entre la herramienta de corte y la madera.
- ✓ Es una especie que por tener características Físico-Mecánicas de dureza alta (Hernández *et al.*, 2013), hilo entrecruzado (Hernández y Cruz-de-León, 2013) en la madera y características de calidad en el proceso de cepillado y lijado, se recomienda para implementarse principalmente en la fabricación de duelas para piso o parquet, muebles con ángulo de corte de 90° sean para interiores o exteriores, cocinas integrales, lambrin y chambranas para marcos de puertas y ventanas.

11.- SUGERENCIAS PARA FUTUROS TRABAJOS

- ❖ Para evitar la subjetividad de los criterios del evaluador en virtud de que son parámetros visuales se recomienda la aplicación de medios numéricos como por ejemplo el Rugosímetro o un Escáner Digital, los cuales pueden proporcionar un factor numérico estandarizado durante toda la evaluación del proceso de maquinado. Esta propuesta habría que valorarla, analizar las estrategias que más se apeguen a la inspección visual y corroborar los resultados con lo observado en primera instancia para posteriormente ser aplicado.
- ❖ Para tratar de corregir el hilo entrecruzado y la presencia de nudos en la madera de Ya'axnik, se sugiere realizar una Plantación Forestal teniendo como característica principal un alta densidad de árboles por hectárea, con la finalidad de buscar la competencia de crecimiento entre los individuos provocando en primera instancia el crecimiento en altura y posteriormente en diámetro. Después de un manejo forestal adecuado a la especie comparar la calidad de la madera procedente del bosque natural con la de la plantación forestal.

12. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 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.
- Báez T., M.I. 2006. Características anatómicas y de maquinado de *Mangifera indica* L. (Mango criollo). Tesis de licenciatura. Facultad de Tecnología de la Madera. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia, Michoacán, México. 92 p.
- Blanco J., J., P. Escalante, K. Libura, R. Martínez, L. G. Morales, A. Pinet, A. Sánchez y C. Urrutia. 1994. El hombre en la historia 3. Ed. Patria. México. D.F. México. 286 p.
- 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.
- CONAFOR., 2009. Comisión Nacional Forestal. Silvicultura comunitaria. http://www.conafor.gob.mx/index.php?option=com_content&task=view&id=97&Itemid=460. (15 de Febrero de 2009).
- 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 Product Journal. 10 (1): 1-3 p.
- Davis E., 1962. Machining and related characteristics of United States hardwoods. U.S. Department of Agriculture. Forest Service. Madison, Wisconsin. USA. 49 p.
- Echenique M., R. y R. Plumtre A., 1994. Guía para el uso de maderas de Belice y México. Universidad de Guadalajara, Consejo Británico, Laboratorio de ciencia y Tecnología de la Madera y Universidad de Oxford. Guadalajara, Jalisco, México. 196 p.
- Flores V., R., 1990. Características de maquinado de 4 especies Maderables de Encino del Estado de Puebla. Tesis profesional. División de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma de Chapingo. Chapingo, México. 65 pp.
- Flores G., E. 1991. Características de maquinado y comparación de dos aleaciones de acero de las cuchillas en el cepillado en tres especies de encino del estado de Guanajuato. Tesis profesional. División de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Texcoco, Estado de México. 49 p.
- Flores V., R. y M. E. Fuentes L., 1998. Estudio de maquinado de dos especies de encino (*Quercus affinis* y *Quercus crassifolia*) del estado de Guanajuato. En: memoria de resúmenes del II Congreso Mexicano de Tecnología de Productos Forestales. Morelia, Michoacán. 23 p.
- Fuentes S., M., 1995. Apuntes para el curso de tecnología de la madera I. División de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma Chapingo. Serie de apoyo académico número 33. Chapingo, Texcoco, Estado de México. 99 p.
- García, E., 1973. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana). Instituto de Geografía. UNAM. México, D.F. México. 246 p.
- González A., A., B. Schmook y S. Calmé. 2006. Distribución espacio-temporal de las actividades extractivas en los bosques del ejido Caoba, Quintana Roo. Investigación Geográfica No. 62. Revista científica Scielo. México.

-
- Hernández S., J.J. y J. Cruz-de-León, 2013. Anatomía macroscópica de la madera de Ya'axnik (*Vitex gaumeri* Grenm) de 10 años de edad. Resumen del IV Congreso Mexicano de Recursos Forestales, celebrado en Octubre de 2013. Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro”, Saltillo, Coahuila, México.
- Hernández S. J.J., J.G. Rivera R. y R. Espinoza H., 2013. Propiedades físicas y mecánicas de la madera de *Vitex gaumeri* Greenm (Ya ‘axnik). Resumen del IV Congreso Mexicano de Recursos Forestales, celebrado en Octubre de 2013. Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro”, Saltillo, Coahuila, México.
- Herrera B. A., 1981. Avance en la determinación de las características de maquinado de cinco especies de encino que vegetan en México. Ciencia Forestal N° 34, Vol. 6 Instituto Nacional de investigaciones Forestales. SFF – INIF – SARH. Coyoacán, México, D.F. 45-63.
- INEGI 1988. Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática. Atlas Ejjidal de Quintana Roo Encuesta Nacional Agropecuaria Ejjidal. México, D.F. México. 101 p.
- Junac., 1989. Manual del Grupo Andino para el Secado de Maderas. Lima. Perú. s/p.
- Koch P., 1964. Wood machining processes. Edit. Ronald. New York. United States of America. 530 p.
- Koch, P., (1972). Utilization of the Southern Pines. Two volumes: I The Raw Material, II Processing. Agriculture Handbook No. 420. U.S. Department Of Agriculture Forest Service. Southern Forest Experiment Station.
- Longwood F. R., 1989. Maderas Puertorriqueñas. Relacionado a su trabajo a máquina, secado y otras relacionadas. Instituto de Dasonomía Tropical. Estación Experimental Forestal del Sur. Río Piedras, Puerto Rico. 87 p.
- Longwood F. R., 1961. Puerto Rican Woods. USDA, Forest Service. Handobook No 205. Washington, D. C. 98 p.
- López-Portillo J, Keyes MR, González A, Cabrera C. E & Odilón Sánchez., 1990. Los incendios de Quintana Roo: ¿catástrofe ecológica o evento periódico? Ciencia y Desarrollo, 16(91):43-57.
- 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.
- Martínez-Castillo. 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-Castillo. J. L., & Martínez-Pinillos, C. E., 1996a. Características de maquinado de 32 especies de madera. Madera y Bosques, 2(1), 45–62.
- McKenzie W. M., 1960. Fundamental aspects of the Wood Cutting Process. Forest Products Journal. 10(9): 447-456.
- Meraz A., R., 2007. Maquinado de la madera de *Acrocarpus fraxinifolius* Wigh & Arn, proveniente de plantaciones de la sierra norte de Puebla. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma de Chapingo. División de ciencias forestales. México. 76p.
- Miranda F., 1958. Estudios acerca de la vegetación. En: (E. Beltran, ed.). Los recursos naturales del sureste y su aprovechamiento. Tomo II: 215-271. Instituto Mexicano de Recursos Naturales Renovables México.
- 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.

-
- Morales V., E. 2007. Maquinado de la madera de *Pinus oaxacana*, Mirov. Proveniente de plantaciones. Tesis de licenciatura. División de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Texcoco, Estado de México. 65 p.
- Moreno Z., F. y J. F. Martínez C., J. F. y F. Moreno Z., 1984. Estudio de trabajabilidad de cuatro especies de maderas mexicanas. Tesis de licenciatura. Departamento de Enseñanza, Investigación y Servicio en Bosques. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Texcoco, Estado de México. 58 p.
- Ordóñez C., V. R. y J. L.M. Martínez Castillo, J. L. 1997. Maquinado y susceptibilidad a la impregnación de la madera del hule (*Hevea brasiliensis*). *Madera y Bosques*. 3(2): 63-71.
- Pardo Q. E. J., 2009. Determinación de la calidad superficial del cepillado de *Pinus radiata* D. Don. Tesis. Universidad Austral de Chile. Valdivia, Chile.
- Pérez O., C. P.; T. F. Carmona V. y M. Rogel G., 1980. Estudio anatómico de la madera de 43 especies tropicales. Boletín Técnico No. 63. SARH. INIF. México. 276 p.
- Pennington, T. D. y J. Sarukhán., 1968. Árboles Tropicales de México. INIF/FAO. México, D.F. México. 413 p.
- Pennington, T.D., y J. Sarukhán., 1998. Árboles tropicales de México. Manual para la identificación de las principales especies, 2a. ed. Universidad Nacional Autónoma de México-Fondo de Cultura Económica, México.
- Rzedowski, J., 1978. Vegetación de México. LIMUSA, México, DF, 431 pp.
- Santos J, V; Carreón, M; Nelson, KC. 1998. La organización de ejidos productores forestales de la Zona Maya. Un proceso de investigación participativa. Fundación Rockefeller/Red de Gestión de Recursos Naturales. 129 p. (Serie Estudios de Caso sobre Participación Campesina en Generación, Validación y Transferencia de Tecnología).
- SEMARNAT. 2007. Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Datos estadísticos de volúmenes en pie de árboles tropicales en los municipios de Othón. P. Blanco, F.C.P y J. María Morelos, Quintana Roo. Datos digitales.
- Sipson, W. T.; Tenwolde, A., 1992. Physical properties and moisture relations of wood. In: Forest Products Laboratory. Wood Handbook: Wood as an engineering material. Agric. Handb. 72. Washington, DC. U.S. Department of Agriculture. 466 p.
- Shniewind A. P., 1963. Comparison of young-growth and old-growth Redwood. Machinability, Fastening, Strength and Shrinkage. Calif. For. and For. Prod. Calif. F.P.L. No. 33.
- Soto R. D. 2013. Identificación molecular de dos especies vegetales del género *Ageratina* Spach (Asteraceae: Eupatorieae). Tesis de Maestría. Facultad en Tecnología de la Madera. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Marzo 2013. Morelia, Michoacán.
- Stewart, H. A., 1970. Abrasive Vs knife planing. *Forest Products Journal*, 20(7), 43–47
- Torelli N., 1982. Estudio promocional de 43 especies forestales mexicanas. Programa de Cooperación Científica y Técnica México-Yugoslavia. SARH. SFF. México. 73 p.
- Trujillo J. U., 2003. Características de maquinado de la madera de *Pithecellobium ébano* (Benth) Berlan. Tesis de licenciatura. Facultad de Tecnología de la madera. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. México. 73 p.
- Tamarit U., J. C. y J. L. López T., 2007. Xilotecnología de los principales árboles tropicales de México. Libro Técnico No. 3. INIFAP-CIR Golfo Centro, Campo Experimental San Martinito. Tlahuapan, Puebla. México. 264 p.

-
- Trujillo J., U., 2003. Características de maquinado de la madera de *Pithecellobium ébano* (Benth) Berlan. Tesis de licenciatura. Facultad de Tecnología de la madera. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia, Michoacán, México. 73 p.
- Vignote P. S.; Jiménez P., F. J., 1996. Tecnología de la madera. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Madrid, España. 602 p.
- Zavala Z. D., 1976. Características de maquinado de seis especies maderables. Tesis de licenciatura. Unidad de Enseñanza e Investigación y Servicio en Departamento de Bosques. Escuela Nacional de Agricultura. Chapingo, Texcoco, Estado de México. 68 p.
- Zavala Z. D. y Vásquez R., 1999. Determinación de las características de cepillado y lijado de la madera de 34 especies tropicales. Ciencia y Tecnología de la Madera. Época 2, 3:29-45.
- Zavala Z. D., 1993. Factores que influyen en las características de maquinado de la madera. Secretaria de Agricultura y Recursos Hidráulicos, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias. Memoria del IV Seminario Nacional de la Industria Maderera. 145-157 p.
- Zavala-Zavala D. y M. Vásquez-Rodríguez., 2001. Determinación de las características de maquinado de la madera de 34 especies tropicales. Revista Chapingo, serie ciencias forestales y del ambiente. 7 (2): 169-183.
- Zizumbo C., F. 1998. Estudio Tecnológico de la Madera de *Pithecellobium ébano* (Benth) Berlan, como fundamento para el aprovechamiento racional. Tesis de Maestría. Facultad de Ingeniería en Tecnología de la Madera, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia, Michoacán, México. 159 pp.

Páginas electrónicas

http://es.wikipedia.org/wiki/Morfolog%C3%ADa_foliar

<http://es.wikipedia.org/wiki/Inflorescencia>

https://www.google.com/search?q=vitex+gaumeri+green&tbm=isch&tbo=u&source=univ&sa=X&ei=go0XU72wK-6E2gWqpYHgCw&ved=0CCMQsAQ&biw=1366&bih=667#facrc=_&imgdii=_&imgrc=gp0Uhcpnox3-YM%253A%3BsNnTahdqTuI7OM%3Bhttp%253A%252F%252Fwww.backyardnature.net%252Fn%252F11%252F110807vx.jpg%3Bhttp%253A%252F%252Fwww.backyardnature.net%252Fyucatan%252Fvitex.htm%3B700%3B574

<http://www.medicinatradicionalmexicana.unam.mx/monografia.php?l=3&t=Vitex%20gaumeri&id=7801>

13. GLOSARIO

ASTM: American society for Testing and Materials. D 1666-87 reprobada en 1999.

Ángulo de la cuchilla: es el grado de inclinación o bisel que se le da al filo de una cuchilla, estos varían y van desde 20°, 25° 30 y 35°, por lo general las empresas producen cuchillas con bisel de 30°.

Broca: barra fina de acero, con surcos en forma de hélice, que se monta en un taladro, se hace girar y sirve para hacer agujeros en la madera y otros materiales.

Cepillado: es el corte periférico realizado mediante cuchillas con la maquina cepillo sobre la superficie de ambas caras de las tablas para obtener el espesor deseado uniforme y una superficie tersa y lisa.

Cepillo: máquina de metal cuyo objeto es cepillar madera. Tiene una base lisa y plana en la que asoma el filo de una cuchilla metálica y sirve para desbastar maderas.

Cepillado al contrahilo: cortar, aserrar o cepillar la madera en el sentido contrario de las fibras.

Cepillado al hilo: cortar, aserrar o cepillar la madera en el sentido de las fibras.

Contenido de Humedad (CH): es la cantidad de agua presente en una pieza de madera en relación con su peso anhidro, expresado en porciento.

Contenido de Humedad en Equilibrio (CHE): es cuando la madera pierde parte del agua contenida en sus paredes celulares, hasta que el CH se estabiliza por efecto de condiciones fijas de temperatura y humedad relativa del ambiente en que se encuentra.

Contracción e Hinchamiento: se refieren a los cambios de dimensiones y volumen de la madera como resultado de los cambios en el contenido de humedad por abajo del PSF, es decir, dentro del rango del agua higroscópica.

Defecto: imperfección o falta que tiene la madera en alguna parte de la cara o superficie puede ser una cualidad o característica.

Densidad o peso específico: es el peso de un material por unidad de volumen, reportado en g/cm³ o kg/m³. Es en esta propiedad en donde mejor se aprecia la calidad de una madera, ya que de ésta depende su resistencia mecánica, estabilidad dimensional trabajabilidad, calidad de acabados, producción de pulpa para papel, poder calorífico, entre otros.

Fresa para trompo o torno: implemento de metal o de carburo de tungsteno que parte con dos, tres y cuatro cuchillas de corte, cuya función es elaborar figuras en la moldura o torneado. Existen diversas fresas en el mercado que pueden formar diversas figuras en la madera.

Grano apelmusado o veloso: Es la condición de aspereza de la superficie de la madera en la que pequeñas partículas o grupos de fibras o traqueidas que no fueron cortadas por la herramienta de corte (fresa, cuchilla, broca, etc.) sobresalen de la superficie general de la tabla sin desprenderse, permaneciendo adheridas a ella.

Grano astillado o arrancado: Es la condición de aspereza que presenta la superficie de la madera cuando las fibras o traqueidas se desprenden de la superficie trabajada dejando pequeñas huellas en forma de diminutos agujeros.

Grano comprimido: Son grupos de fibras aplastadas por efecto de la fricción de la broca, este defecto es exclusivo del ensayo de barrenado.

Grano levantado: Es la condición de aspereza de la superficie de la madera en la que una parte del anillo de crecimiento u otra sección de madera se levanta sobre la superficie general de la pieza trabajada, debido a la diferencia de densidad entre madera tardía y madera temprana.

Grano rasgado: Es la condición de aspereza que presenta la superficie trabajada de una pieza de madera, en donde las fibras o traqueidas son cortadas transversalmente por la herramienta de corte; este defecto se presenta en los ensayos de moldurado, torneado y barrenado.

Hilo o grano: se refiere a la dirección, ordenamiento y arreglo de los elementos anatómicos constitutivos axiales con respecto al eje longitudinal del árbol. Indica la mayor o menor facilidad con que una madera se puede trabajar e influye en su resistencia mecánica. Los tipos de hilo son el recto, inclinado u oblicuo, entrecruzado, espiralado, crespado u ondulado, irregular y entrelazado. Maderas con hilo recto son fáciles de trabajar y tienen buena resistencia mecánica, pero desde el punto de vista estético no ofrecen mayor atractivo. Maderas con hilo inclinado y espiralado ofrecen dificultad para trabajarse, presentando menor resistencia mecánica que las de hilo recto. El hilo entrecruzado desde el punto de vista estético da lugar a diseños llamativos. Maderas con hilo crespado son muy difíciles de trabajar, aunque proporcionan diseños interesantes.

Lijado: consiste en someter la madera a la acción abrasiva de una lija con el fin de calibrar el espesor de la madera, para obtener superficies planas y lisas y para remover marcas de astilla y otros defectos, preparando la superficie para la aplicación de un acabado artificial, también para igualar las piezas que han sido unidas por medio de espigas.

Lija: es una herramienta que consiste en un soporte de papel sobre el cual se adhiere algún material abrasivo, como polvo de vidrio o esmeril. Se usa para quitar pequeños fragmentos de material de las superficies para dejar sus caras lisas, como en el caso del detallado de maderas, a modo de preparación para pintar o barnizar. También se emplea para pulir hasta eliminar ciertas capas de material o en algunos casos para obtener una textura áspera, como en los preparativos para encolado.

Lijadora de banda: es una máquina que se usa para un rápido lijado de madera y otros materiales. Consiste de un motor eléctrico que gira un par de tambores sobre los cuales se monta una pieza de papel de lija continua para lijar la madera.

Madera: Es un material heterogéneo, estructurado por diversos tipos de células distribuidas y organizadas en diferentes direcciones, que forman un sistema de tejidos.

Maquinado: es el conjunto de operaciones que se realizan a la madera mediante máquinas y herramientas de corte, para darle las dimensiones y perfiles con la estética y calidad deseados, para su posterior utilización en la elaboración de productos terminados y preparar la superficie para la aplicación de un acabado artificial.

Marcas de astilla: Son huellas (abolladuras) poco profundas en la superficie de la tabla, causadas por virutas que permanecen adheridas al cabezal porta cuchillas del cepillo, debido a que no son eliminadas por el escape del mismo. Este defecto es exclusivo del ensayo de cepillado.

Moldurado consiste en dar un perfil determinado y una forma deseada a uno o más de los bordes de las piezas de madera mediante la herramienta de corte denominada fresa, por lo que la tersura del corte y detalle de la figura es de primordial importancia. Se realiza en máquinas trompos, el tipo de trompo más utilizado en pequeños talleres y carpinterías es el de un solo eje vertical movable y de alimentación manual.

Parénquima: es un tejido de color más claro que el tejido fibroso, su función es de almacenamiento y conducción de nutrimentos. Puede ser de diferentes tipos y se determina en cortes transversales. Su variación en cantidad y tipo es de ayuda en la identificación de maderas latifoliadas. Según la posición en relación con los poros se clasifica en apotraqueal y paratraqueal.

Plantación forestal: es el establecimiento de plantas por siembra cuya función puede ser para procesos de forestación o reforestación.

Porosidad: se refiere al arreglo y disposición de los vasos leñosos (poros) en el corte transversal en los anillos o zonaciones de crecimiento, puede ser porosidad circular (anillada) o difusa. La primera se presenta en maderas en que se distinguen los anillos de crecimiento y se caracteriza por que se presenta en forma alternada de manera concéntrica, poros grandes seguidos de zonas con poros pequeños. La porosidad difusa se caracteriza por que los poros son sensiblemente del mismo tamaño y se distribuyen sin arreglo alguno en todo el anillo o zona de crecimiento. Existen maderas con condiciones intermedias llamadas de poros semianillados o de porosidad semicircular.

Probeta: pieza volumétrica de madera cuyas dimensiones están basadas en los estándares de una norma para ser probada en el estudio del comportamiento de un fenómeno y tener datos del comportamiento del mismo.

Propiedades Físicas: Son aquellas que determinan su comportamiento ante los factores del ambiente, se determinan mediante la inspección, el peso, la medición y el secado sin que se

modifique química y mecánicamente la estructura e integridad de la muestra de madera ensayada.

Rayones: Son marcas semejantes a un rasguño, ocasionadas por la lija, por lo que este defecto se presenta exclusivamente en el ensayo de lijado.

Revoluciones por minuto (rpm): es una unidad de frecuencia que se usa también para expresar velocidad angular o indica el número de rotaciones completadas cada minuto por un cuerpo que gira alrededor de un eje.

Rugosímetro: éste, permite definir la microgeometría de las superficies para hacerlas válidas para la función para la que hayan sido realizadas y mide el conjunto de irregularidades que posee una superficie. La mayor o menor rugosidad de una superficie depende de su acabado superficial.

Secado: se llama así al proceso de eliminar el agua en la madera disminuyendo su contenido de humedad.

Secuela de secado: Es un programa de secado que consiste en proporcionar las temperaturas, humedades relativas y otros elementos, por etapas periódicas, para ir retirando lentamente el agua de la madera. Se aplica en estufas de secado convencional.

Taladro: Herramienta que sirve para hacer agujeros en materiales duros mediante una broca; la broca se hace girar (por procedimientos mecánicos o eléctricos) y perfora la superficie.

Taladrado: consiste en hacer una o varias perforaciones de diámetros determinados a una pieza de madera con una o varias brocas colocadas vertical u horizontalmente en una máquina taladro, desplazando la madera hacia la broca o viceversa; se realiza para poder efectuar uniones o ensambles.

Tablas-patrón: Pieza de madera cuyas dimensiones van desde 1.25 metros de largo por 15 centímetros de ancho por una pulgada de grueso, cuya función es acondicionarse en la humedad deseada para posteriormente obtener las probetas para el maquinado.

Torneado: consiste en darle forma específica a una pieza de madera, haciéndola girar en un torno contra una pieza cortante que puede ser cuchilla o gurbia. Se hace para elaborar productos de alta calidad como mangos para herramientas, artículos deportivos o partes para muebles.

Torno: herramienta que sirve para hacer formas cilíndricas en madera, colocando un trozo de madera y este gira por su centro y con alguna herramienta con filo se le puede ir dando formas o desbastando hasta dejarlo estructuralmente estético.

Trompo o Tupi: es una máquina herramienta para el trabajo con madera, muy habitual en los talleres. Permite realizar diversas operaciones, el moldurado y el pulido de molduras. Consta de una mesa con un eje vertical giratorio, llamado flecha, impulsado por un motor. En la flecha se

colocan las herramientas de corte, conocidas como fresas. Con una guía, se desplaza la pieza de madera, generalmente de forma manual.

Velocidad de Alimentación (VA): es la distancia que recorre la madera por unidad de tiempo, se expresa en m/min.

Velocidad de giro del cabezal portacuchillas: puede determinarse directamente mediante un tacómetro aparato que sirve para determinar las rpm o bien utilizando la relación matemática de transmisión directa de fuerza mediante bandas.

Veteado: es el diseño, dibujo o figura que se forma en las caras longitudinales de una tabla debido a la distribución, disposición y orientación de los elementos leñosos; tiene alto valor decorativo y comercial. Los tipos de veteado son: veteado rayado y liso que son muy simples y de escaso atractivo; el veteado parabólico, angular o elíptico que se observa en caras tangenciales de maderas de porosidad circular o semicircular, el veteado jaspeado o floreado que se observa en tablas radiales de maderas con rayos anchos y da origen a un veteado atractivo y sumamente apreciado; el veteado espigado debido al hilo entrecruzado en caras radiales es muy interesante desde el punto de vista estético y; el veteado cromático homogéneo y heterogéneo, éste último presenta alternancia de zonas con diferentes colores o tonalidades con cierto valor decorativo.

Xilohigrómetro Dieléctrico: es útil para determinar el contenido de humedad en la superficie de la madera, de importancia para el encolado en la industria de tableros contrachapados, sus electrodos tienen forma de superficies planas y no dañan la madera porque no la penetran como los electrodos en forma de agujas que tienen los medidores de resistencia eléctrica.

Ya'axnik: palabra del *vocablo Maya*. Nominación común que la zona maya de Quintana Roo, le ha dado a la especie *Vitex gaumeri* Greenm. Significa “árbol de la flor de Mayo”.

14. ANEXOS

- ❖ En los anexos se encuentran los datos de las evaluaciones de los defectos durante el maquinado comenzando por los datos obtenidos en la madera de 10% de contenido de humedad y posteriormente los datos del 15% de contenido de humedad, en el siguiente orden:
 - ✓ Cepillado
 - ✓ Lijado
 - ✓ Taladrado
 - ✓ Moldurado
 - ✓ Torneado
- ❖ Programa de secado de Ya'axnik.
- ❖ Sustitución de fórmulas del proceso de maquinado.
- ❖ Imágenes del proceso de maquinado.

ANEXO A. Resultados del cepillado al 10% de contenido de humedad con cuchilla de 30° al hilo y contrahilo.

 <p>UMSNH INGENIERIA</p>	<p>UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO FACULTAD DE INGENIERÍA EN TECNOLOGÍA DE LA MADERA División de Estudios de Posgrado Maestría en Ciencias y Tecnología de la Madera Edificio D, planta alta, Ciudad Universitaria, 58000 Morelia, Michoacán.</p>	
 <p>CAPM MADERA MUEBLE CENTRO DE ARTICULACION PRODUCTIVA</p>	<p>INSTITUTO TECNOLÓGICO DE LA ZONA MAYA CENTRO DE ARTICULACIÓN PRODUCTIVA MADERA Y MUEBLE DEPARTAMENTO DE INGENIERÍAS Carretera Chetumal - Escárcega, Km 21.5, Ejido Juan Sarabia.</p>	 <p>ITZM INSTITUTO TECNOLÓGICO DE LA ZONA MAYA CENTRO JUAN SARABIA, QUINTANA ROO</p>
<p>MAQUINADO DE LA MADERA DE <i>Vitex gaumeri</i> Greenm (YA' AXNIK) PROCEDENTE DE QUINTANA ROO, MÉXICO.</p>		

PROBETA	CONDICION	AL HILO DE LA PROBETA 30° CUCHILLA 10% DE HUMEDAD				CONDICION	AL CONTRA HILO DE LA PROBETA 30° CUCHILLA 10% DE HUMEDAD			
		SDH 30	GASH 30	GAPH 30	GLVH 30		SDCH 30	GASCH 30	GAPCH 30	GLVCH 30
1	E	100	0	0	0	B	84	4	9	3
2	E	97	3	0	0	R	65	16	19	0
3	B	84	4	12	0	R	79	7	14	0
4	E	93	7	0	0	R	79	8	13	0
5	E	100	0	0	0	B	82	7	9	2
6	B	87	10	3	0	P	42	24	32	2
7	B	91	7	2	0	R	77	7	16	0
8	R	75	20	5	0	B	81	14	5	0
9	B	86	11	3	0	E	90	7	3	0
10	R	65	18	11	6	P	50	28	17	5
11	R	69	24	3	4	B	87	5	5	3
12	B	85	13	2	0	E	93	3	4	0
13	B	88	7	2	3	E	91	2	7	0
14	E	97	3	0	0	P	51	29	8	2
15	E	98	2	0	0	P	58	21	18	3
16	B	85	2	13	0	P	55	15	26	4
17	B	82	5	12	1	R	63	11	17	9
18	E	97	0	3	0	E	92	5	3	0
19	B	88	10	2	0	R	66	14	17	3
20	E	94	3	3	0	R	62	8	23	7
21	E	97	1	2	0	E	94	3	3	0
22	E	92	6	2	0	R	71	21	6	2
23	B	88	3	7	2	R	61	12	24	3
24	B	89	7	4	0	R	62	24	13	1
25	B	85	2	13	0	P	55	15	26	4

ANEXO A.1. Resultados del cepillado al 10% de contenido de humedad con cuchilla de 20° al hilo y contrahilo.

 <p>UMSNH INGENIERIA</p>	<p>UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO FACULTAD DE INGENIERÍA EN TECNOLOGÍA DE LA MADERA División de Estudios de Posgrado Maestría en Ciencias y Tecnología de la Madera Edificio D, planta alta, Ciudad Universitaria, 58000 Morelia, Michoacán.</p>	
 <p>CAPM MADERA MUEBLE CENTRO DE ARTICULACION PRODUCTIVA</p>	<p>INSTITUTO TECNOLÓGICO DE LA ZONA MAYA CENTRO DE ARTICULACIÓN PRODUCTIVA MADERA Y MUEBLE DEPARTAMENTO DE INGENIERÍAS Carretera Chetumal - Escárcega, Km 21.5, Ejido Juan Sarabia.</p>	 <p>ITZM INSTITUTO TECNOLÓGICO DE LA ZONA MAYA EJIDO JUAN SARBABIA, QUINTANA ROO</p>
<p>MAQUINADO DE LA MADERA DE <i>Vitex gaumeri</i> Greenm (YA'AXNIK) PROCEDENTE DE QUINTANA ROO, MÉXICO.</p>		

CONDICION	AL HILO DE LA PROBETA 20° CUCHILLA 10% DE HUMEDAD				CONDICION	AL CONTRA-HILO DE LA PROBETA 20° CUCHILLA 10% DE HUMEDAD			
	SDH 20	GASH 20	GAPH 20	GLVH 20		SDCH 20	GASCH 20	GAPCH 20	GLVCH 20
E	94	4	2	0	R	75	9	16	0
E	95	2	3	0	B	84	12	4	0
E	91	7	2	0	E	92	8	0	0
E	97	1	2	0	R	65	28	7	0
R	79	13	8	0	R	66	23	11	0
R	68	16	13	3	R	72	22	8	0
E	94	4	2	0	R	74	9	17	0
E	90	8	2	0	R	77	9	14	0
E	96	2	2	0	E	97	3	0	0
E	97	3	0	0	E	90	7	3	0
E	94	2	4	0	E	96	4	0	0
E	95	4	1	0	E	98	0	2	0
E	90	4	6	0	E	93	4	3	0
E	91	6	3	0	R	69	24	7	0
E	98	2	0	0	B	82	13	5	0
E	98	2	0	0	R	76	13	11	0
E	96	4	0	0	E	94	2	4	0
E	92	3	3	2	R	72	20	8	0
E	94	3	1	2	R	68	21	11	0
E	99	1	0	0	B	83	8	9	0
E	100	0	0	0	R	65	19	12	4
E	97	3	0	0	B	84	9	4	3
E	95	4	1	0	B	88	10	2	0
E	97	3	0	0	B	89	4	4	3
E	98	2	0	0	R	76	13	11	0

ANEXO B. Resultados del lijado al 10% de contenido de humedad con lija del grano 80 y 100.

 <p>UMSNH TECNOLOGÍA DE LA MADERA INGENIERÍA</p>	<p>UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO FACULTAD DE INGENIERÍA EN TECNOLOGÍA DE LA MADERA <i>División de Estudios de Posgrado</i> Maestría en Ciencias y Tecnología de la Madera <i>Edificio D, planta alta, Ciudad Universitaria, 58000 Morelia, Michoacán.</i></p>	
 <p>CAPM MADERA MUEBLE CENTRO DE ARTICULACIÓN PRODUCTIVA</p>	<p>INSTITUTO TECNOLÓGICO DE LA ZONA MAYA CENTRO DE ARTICULACIÓN PRODUCTIVA MADERA Y MUEBLE DEPARTAMENTO DE INGENIERÍAS Carretera Chetumal - Escárcega, Km 21.5, Ejido Juan Sarabia.</p>	 <p>ITZM INSTITUTO TECNOLÓGICO DE LA ZONA MAYA EJIDO JUAN SARBABIA, QUINTANA ROO</p>
<p>MAQUINADO DE LA MADERA DE <i>Vitex gaumeri</i> Greenm (YA' AXNIK) PROCEDENTE DE QUINTANA ROO, MÉXICO.</p>		

PROBETA	CONDICION	LIJA DEL 80 AL 10% CONTENIDO DE HUMEDAD				LIJA DEL 100 AL 10% CONTENIDO DE HUMEDAD				
		SD 80 10%	RAY 80 10%	GVE 80 10%	GLV 80 10%	CONDICION	SD 100 10%	RAY 100 10%	GVE 100 10%	GLV 100 10%
1	B	87	9	2	2	E	93	0	2	5
2	B	84	8	5	3	E	98	0	0	2
3	B	89	6	5	0	E	92	0	6	2
4	B	88	7	5	0	E	100	0	0	0
5	R	74	9	9	8	B	83	0	7	10
6	B	83	7	7	3	E	98	0	2	0
7	B	82	9	6	3	E	94	3	3	0
8	R	76	12	9	3	B	81	4	9	6
9	B	88	6	5	1	E	90	2	8	0
10	B	89	6	4	1	E	98	0	2	0
11	B	88	5	5	2	E	97	0	0	3
12	B	80	8	6	6	E	100	0	0	0
13	R	72	12	8	8	B	80	4	9	7
14	B	81	7	7	5	E	100	0	0	0
15	B	80	11	6	3	E	100	0	0	0
16	R	72	11	12	5	E	91	2	5	2
17	R	71	13	9	7	B	83	0	7	9
18	B	82	6	8	4	E	98	0	2	0
19	B	83	8	4	5	E	94	2	4	0
20	B	85	8	7	0	E	96	2	4	0
21	B	88	8	4	0	E	98	0	0	2
22	B	84	5	7	4	E	96	0	2	2
23	R	73	11	7	9	B	80	3	12	5
24	B	89	6	5	0	E	96	0	2	2
25	R	75	8	11	6	B	87	3	4	6

ANEXO C. Resultados del taladrado al 10% de contenido de humedad con broca puntilla y broca para metal.

	<p>UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO FACULTAD DE INGENIERÍA EN TECNOLOGÍA DE LA MADERA División de Estudios de Posgrado Maestría en Ciencias y Tecnología de la Madera Edificio D, planta alta, Ciudad Universitaria, 58000 Morelia, Michoacán.</p>	
	<p>INSTITUTO TECNOLÓGICO DE LA ZONA MAYA CENTRO DE ARTICULACIÓN PRODUCTIVA MADERA Y MUEBLE DEPARTAMENTO DE INGENIERÍAS Carretera Chetumal - Escárcega, Km 21.5, Ejido Juan Sarabia.</p>	
<p>MAQUINADO DE LA MADERA DE <i>Vitex gaumeri</i> Greenm (YA' AXNIK) PROCEDENTE DE QUINTANA ROO, MÉXICO.</p>		

CONTENIDO DE HUMEDAD DEL 10% TALADRADO BROCA CON PUNTILLA						CONTENIDO DE HUMEDAD DEL 10% TALADRADO CON BROCA PARA METAL					
PROBETA	CONDICION	SDBP 10%	GARBP 10%	GVEBP 10%	GAPLBP 10%	PROBETA	CONDICION	SDBM 10%	GARBM 10%	GVEBM 10%	GAPLBM 10%
1	MP	3	72	5	20	1	P	48	32	15	5
2	B	89	4	2	5	2	B	80	13	2	5
3	E	93	3	0	4	3	MP	24	56	13	7
4	E	97	3	0	0	4	MP	12	14	54	20
5	B	86	8	3	3	5	MP	25	64	5	6
6	P	52	23	9	16	6	R	62	14	10	14
7	E	97	3	0	0	7	MP	21	58	4	17
8	B	89	7	2	2	8	P	43	23	13	21
9	E	97	0	0	3	9	B	80	13	2	5
10	E	97	0	0	3	10	P	43	22	13	22
11	MP	12	73	9	6	11	P	45	13	20	22
12	E	94	3	0	3	12	MP	39	27	13	21
13	R	75	16	5	4	13	B	80	13	2	5
14	B	88	8	2	2	14	P	45	23	12	20
15	E	92	3	0	5	15	P	53	17	15	15
16	E	91	6	0	3	16	P	49	22	16	13
17	E	95	2	1	2	17	MP	25	46	23	6
18	E	97	0	3	0	18	R	64	12	13	11
19	B	85	9	0	6	19	MP	36	49	10	5
20	B	81	12	4	3	20	MP	33	47	10	10
21	E	94	3	3	0	21	P	47	21	12	20
22	E	96	2	0	2	22	R	63	19	15	3
23	R	75	14	7	4	23	P	57	15	18	10
24	E	96	4	0	0	24	R	64	15	12	9
25	E	98	2	0	0	25	B	80	13	2	5

ANEXO D. Resultados del torneado al 10% de contenido de humedad con fresa de carburo de tungsteno y alta velocidad.



UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO
FACULTAD DE INGENIRÍA EN TECNOLOGÍA DE LA MADERA
 División de Estudios de Posgrado
Maestría en Ciencias y Tecnología de la Madera
 Edificio D, planta alta, Ciudad Universitaria, 58000 Morelia, Michoacán.



INSTITUTO TECNOLÓGICO DE LA ZONA MAYA
 CENTRO DE ARTICULACIÓN PRODUCTIVA MADERA Y MUEBLE
 DEPARTAMENTO DE INGENIERÍAS
 Carretera Chetumal - Escárcega, Km 21.5, Ejido Juan Sarabia.



CAPM MADERA MUEBLE
 CENTRO DE ARTICULACION PRODUCTIVA



ITZM
 INSTITUTO TECNOLÓGICO DE LA ZONA MAYA
 EJIDO JUAN SARBABIA, QUINTANA ROO

MAQUINADO DE LA MADERA DE *Vitex gaumeri* Greenm (YA' AXNIK) PROCEDENTE DE QUINTANA ROO, MÉXICO.

PROBETA	CONDICION	FRESA CON CARBURO DE TUGSTENO					FRESA DE ALTA VELOCIDAD					
		SDCT 10%	GARCT 10%	GVECT 10%	GASCT 10%	GLEVCT 10%	CONDICION SDAV 10%	GARAV 10%	GVEAV 10%	GASAV 10%	GLEVAV 10%	
1	E	95	0	3	1	1	R	78	7	9	4	2
2	E	90	7	3	0	0	R	76	3	3	5	13
3	B	87	7	0	0	6	R	69	9	16	2	4
4	E	90	5	2	2	1	E	90	0	2	2	6
5	E	94	4	2	0	0	R	62	12	10	13	3
6	E	91	6	3	0	0	E	92	5	2	0	1
7	E	96	3	4	0	0	B	82	7	5	3	3
8	E	94	3	3	0	0	B	81	9	7	3	0
9	B	87	7	3	0	3	B	83	6	8	0	3
10	E	93	4	2	1	0	R	75	9	13	1	2
11	E	90	6	1	3	0	B	82	7	6	3	3
12	B	88	7	2	1	2	B	85	9	5	1	0
13	E	94	6	0	0	0	R	73	8	12	4	3
14	E	93	4	0	1	2	B	86	7	2	2	2
15	E	97	2	0	0	1	B	87	8	2	3	0
16	E	95	3	0	0	2	P	54	12	8	14	12
17	B	87	7	3	0	3	R	74	11	5	7	8
18	E	96	1	3	0	0	B	80	9	6	4	1
19	E	94	2	2	1	1	B	81	10	6	2	1
20	E	90	4	3	1	2	B	87	9	4	0	0
21	E	92	4	2	1	1	B	89	8	3	0	0
22	E	96	2	0	0	2	B	82	8	6	4	0
23	E	93	4	2	1	0	B	85	8	6	1	0
24	E	96	2	0	0	2	B	85	9	5	1	0
25	E	93	5	1	1	0	R	73	8	12	4	3

ANEXO E. Resultados del torneado al 10% de contenido de humedad con fresa especial emitida por la Norma.

	<p>UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO FACULTAD DE INGENIERÍA EN TECNOLOGÍA DE LA MADERA División de Estudios de Posgrado Maestría en Ciencias y Tecnología de la Madera Edificio D, planta alta, Ciudad Universitaria, 58000 Morelia, Michoacán.</p>	
	<p>INSTITUTO TECNOLÓGICO DE LA ZONA MAYA CENTRO DE ARTICULACIÓN PRODUCTIVA MADERA Y MUEBLE DEPARTAMENTO DE INGENIERÍAS Carretera Chetumal - Escárcega, Km 21.5, Ejido Juan Sarabia.</p>	
<p>MAQUINADO DE LA MADERA DE <i>Vitex gaumeri</i> Greenm (YA' AXNIK) PROCEDENTE DE QUINTANA ROO, MÉXICO.</p>		

FRESA ESPECIAL CONTENIDO DE HUMEDAD AL 10%							FRESA ESPECIAL CONTENIDO DE HUMEDAD AL 10%						
PROBETA	SDFE 10%	GARFE 10%	GVEFE 10%	GASFE 10%	GLEVFE 10%	CONDICION	PROBETA	SDFE 10%	GARFE 10%	GVEFE 10%	GASFE 10%	GLEVFE 10%	CONDICION
1	48	48	5	4	0	P	26	58	58	5	3	0	P
2	45	45	12	4	7	P	27	56	56	8	2	2	P
3	35	35	6	8	3	MP	28	53	53	9	4	0	P
4	57	57	4	6	2	P	29	56	56	7	0	0	P
5	55	55	3	5	3	P	30	70	70	7	0	0	R
6	35	35	12	13	6	MP	31	68	68	3	5	0	R
7	48	48	5	4	0	P	32	54	54	8	4	0	P
8	47	47	1	0	0	P	33	53	53	9	0	0	P
9	43	43	13	3	3	P	34	55	55	6	7	0	P
10	37	37	13	7	0	MP	35	68	68	4	5	0	R
11	57	57	6	3	0	P	36	55	55	11	0	0	P
12	56	56	7	3	2	P	37	54	54	8	4	0	P
13	49	49	12	4	1	P	38	55	55	4	8	0	P
14	48	48	9	0	0	P	39	53	53	5	4	0	P
15	67	67	5	0	0	R	40	55	55	6	4	3	P
16	53	53	12	3	0	P	41	53	53	8	3	0	P
17	56	56	4	2	0	P	42	55	55	8	4	0	P
18	53	53	9	4	2	P	43	53	53	8	7	0	P
19	55	55	6	4	0	P	44	59	59	5	2	2	P
20	60	60	6	3	0	R	45	53	53	5	7	2	P
21	55	55	0	0	0	P	46	59	59	6	7	0	P
22	55	55	3	2	0	P	47	55	55	6	2	0	P
23	53	53	8	4	0	P	48	54	54	3	4	3	P
24	57	57	7	3	3	P	49	56	56	7	2	0	P
25	53	53	6	12	0	P	50	54	54	8	6	0	P

ANEXO F. Resultados del cepillado al 15% de contenido de humedad con cuchilla de 30° al hilo y contrahilo.

 <p>UMSNH INGENIERIA</p>	<p>UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO FACULTAD DE INGENIERÍA EN TECNOLOGÍA DE LA MADERA División de Estudios de Posgrado Maestría en Ciencias y Tecnología de la Madera Edificio D, planta alta, Ciudad Universitaria, 58000 Morelia, Michoacán.</p>	
 <p>CAPM MADERA MUEBLE CENTRO DE ARTICULACION PRODUCTIVA</p>	<p>INSTITUTO TECNOLÓGICO DE LA ZONA MAYA CENTRO DE ARTICULACIÓN PRODUCTIVA MADERA Y MUEBLE DEPARTAMENTO DE INGENIERÍAS Carretera Chetumal - Escárcega, Km 21.5, Ejido Juan Sarabia.</p>	 <p>ITZM INSTITUTO TECNOLÓGICO DE LA ZONA MAYA ESTADO JUAN SARABIA, QUINTANA ROO</p>
<p>MAQUINADO DE LA MADERA DE <i>Vitex gaumeri</i> Greenm (YA' AXNIK) PROCEDENTE DE QUINTANA ROO, MÉXICO.</p>		

		AL HILO DE LA PROBETA 30° CUCHILLA				AL CONTRA HILO DE LA PROBETA 30° CUCHILLA				
PROBETA	CONDICION	SDH 30	GASH 30	GAPH 30	GLVH 30	CONDICION	SDCH 30	GASCH 30	GAPCH 30	GLVCH 30
1	B	87	3	7	3	B	87	4	5	4
2	B	84	4	4	8	B	89	3	3	5
3	R	78	8	7	7	B	85	6	4	5
4	B	88	3	9	0	R	67	8	11	14
5	B	89	4	5	2	B	88	2	5	5
6	R	77	3	12	8	B	84	5	5	6
7	B	86	5	5	4	R	75	5	8	12
8	B	89	6	2	3	R	69	4	15	12
9	B	85	5	5	5	R	73	6	8	13
10	B	88	6	3	3	B	85	3	4	8
11	B	87	3	5	5	B	87	4	3	6
12	R	73	8	9	10	B	85	4	3	8
13	B	89	4	3	4	E	92	2	3	3
14	B	87	3	7	3	B	87	4	5	4
15	B	84	4	4	8	B	89	3	3	5
16	R	78	8	7	7	B	85	6	4	5
17	B	88	3	9	0	R	67	8	11	14
18	B	89	4	5	2	B	88	2	5	5
19	R	77	3	12	8	B	84	5	5	6
20	B	86	5	5	4	R	75	5	8	12
21	B	89	6	2	3	R	69	4	15	12
22	B	85	5	5	5	R	73	6	8	13
23	B	88	6	3	3	B	85	3	4	8
24	B	87	3	5	5	B	87	4	3	6
25	R	73	8	9	10	B	85	4	3	8

ANEXO F.1. Resultados del cepillado al 15% de contenido de humedad con cuchilla de 20° al hilo y contrahilo.

 <p>UMSNH INGENIERIA</p>	<p>UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO FACULTAD DE INGENIERÍA EN TECNOLOGÍA DE LA MADERA División de Estudios de Posgrado Maestría en Ciencias y Tecnología de la Madera Edificio D, planta alta, Ciudad Universitaria, 58000 Morelia, Michoacán.</p>	
 <p>CAPM MADERA MUEBLE CENTRO DE ARTICULACION PRODUCTIVA</p>	<p>INSTITUTO TECNOLÓGICO DE LA ZONA MAYA CENTRO DE ARTICULACIÓN PRODUCTIVA MADERA Y MUEBLE DEPARTAMENTO DE INGENIERÍAS Carretera Chetumal - Escárcega, Km 21.5, Ejido Juan Sarabia.</p>	 <p>ITZM INSTITUTO TECNOLÓGICO DE LA ZONA MAYA EJIDO JUAN SARBABIA, QUINTANA ROO</p>
<p>MAQUINADO DE LA MADERA DE <i>Vitex gaumeri</i> Greenm (YA' AXNIK) PROCEDENTE DE QUINTANA ROO, MÉXICO.</p>		

PROBETA	CONDICION	AL HILO DE LA PROBETA 20° CUCHILLA				CONDICION	AL CONTRA HILO DE LA PROBETA 20° CUCHILLA			
		SDH 20	GASH 20	GAPH 20	GLVH 20		SDCH 20	GASCH 20	GAPCH 20	GLVCH 20
1	B	88	4	6	2	B	82	7	5	6
2	E	93	2	5	0	B	81	5	8	6
3	B	89	2	8	1	B	84	4	6	6
4	E	93	2	5	0	R	78	4	10	8
5	E	94	1	5	0	R	79	5	8	8
6	E	96	2	2	0	B	88	2	5	5
7	B	88	3	7	2	R	77	7	9	7
8	R	76	5	14	5	R	74	8	12	6
9	E	93	1	4	2	B	89	4	5	2
10	E	97	0	3	0	B	84	5	6	5
11	E	94	1	5	9	B	87	4	5	4
12	E	98	0	0	2	B	85	5	6	4
13	E	93	2	3	2	B	86	3	6	5
14	B	88	4	6	2	B	82	7	5	6
15	E	93	2	5	0	B	81	5	8	6
16	B	89	2	8	1	B	84	4	6	6
17	E	93	2	5	0	R	78	4	10	8
18	E	94	1	5	0	R	79	5	8	8
19	E	96	2	2	0	B	88	2	5	5
20	B	88	3	7	2	R	77	7	9	7
21	R	76	5	14	5	R	74	8	12	6
22	E	93	1	4	2	B	89	4	5	2
23	E	97	0	3	0	B	84	5	6	5
24	E	94	1	5	9	B	87	4	5	4
25	E	98	0	0	2	B	85	5	6	4

ANEXO G. Resultados del lijado al 15% de contenido de humedad con lija del grano 80 y 100.

 <p>UMSNH INGENIERIA</p>	<p>UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO FACULTAD DE INGENIERÍA EN TECNOLOGÍA DE LA MADERA División de Estudios de Posgrado Maestría en Ciencias y Tecnología de la Madera Edificio D, planta alta, Ciudad Universitaria, 58000 Morelia, Michoacán.</p>	
 <p>CAPM MADERA MUEBLE CENTRO DE ARTICULACION PRODUCTIVA</p>	<p>INSTITUTO TECNOLÓGICO DE LA ZONA MAYA CENTRO DE ARTICULACIÓN PRODUCTIVA MADERA Y MUEBLE DEPARTAMENTO DE INGENIERÍAS Carretera Chetumal - Escárcega, Km 21.5, Ejido Juan Sarabia.</p>	 <p>ITZM INSTITUTO TECNOLÓGICO DE LA ZONA MAYA ESIDO JUAN SARBABIA, QUINTANA ROO</p>
<p>MAQUINADO DE LA MADERA DE <i>Vitex gaumeri</i> Greenm (YA' AXNIK) PROCEDENTE DE QUINTANA ROO, MÉXICO.</p>		

PROBETA	LIJA DEL 80 AL 15% CONTENIDO DE HUMEDAD					LIJA DEL 100 AL 15% CONTENIDO DE HUMEDAD				
	CONDICION	SD 80 15%	RAY 80 15%	GVE 80 15%	GLV 80 15%	CONDICION	SD 100 15%	RAY 100 15%	GVE 100 15%	GLV 100 15%
1	B	88	4	6	2	E	95	2	2	1
2	B	86	7	4	3	B	88	6	4	2
3	E	96	3	0	1	E	97	2	1	0
4	E	93	5	2	0	E	98	2	0	0
5	B	89	4	4	3	E	95	2	2	1
6	E	93	3	3	1	E	99	1	0	0
7	E	96	2	0	2	E	93	4	2	1
8	E	97	1	2	0	E	98	1	1	0
9	E	93	5	2	0	E	100	0	0	0
10	B	85	8	5	2	E	97	1	1	1
11	E	95	3	0	2	E	98	1	1	0
12	B	84	8	5	3	B	86	5	7	2
13	E	94	4	0	2	E	98	2	0	0
14	B	88	4	6	2	E	95	2	2	1
15	B	86	7	4	3	B	88	6	4	2
16	E	96	3	0	1	E	97	2	1	0
17	E	93	5	2	0	E	98	2	0	0
18	B	89	4	4	3	E	95	2	2	1
19	E	93	3	3	1	E	99	1	0	0
20	E	96	2	0	2	E	93	4	2	1
21	E	97	1	2	0	E	98	1	1	0
22	E	93	5	2	0	E	100	0	0	0
23	B	85	8	5	2	E	97	1	1	1
24	E	95	3	0	2	E	98	1	1	0
25	B	84	8	5	3	B	86	5	7	2

ANEXO H: Resultados del taladrado al 15% de contenido de humedad con broca puntilla y broca para metal.

 <p>UMSNH INGENIERIA</p>	<p>UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO FACULTAD DE INGENIERÍA EN TECNOLOGÍA DE LA MADERA División de Estudios de Posgrado Maestría en Ciencias y Tecnología de la Madera Edificio D, planta alta, Ciudad Universitaria, 58000 Morelia, Michoacán.</p>	
 <p>CAPM MADERA MUEBLE CENTRO DE ARTICULACION PRODUCTIVA</p>	<p>INSTITUTO TECNOLÓGICO DE LA ZONA MAYA CENTRO DE ARTICULACIÓN PRODUCTIVA MADERA Y MUEBLE DEPARTAMENTO DE INGENIERÍAS Carretera Chetumal - Escárcega, Km 21.5, Ejido Juan Sarabia.</p>	 <p>ITZM INSTITUTO TECNOLÓGICO DE LA ZONA MAYA ESIDO JUAN SARBABIA, QUINTANA ROO</p>
<p>MAQUINADO DE LA MADERA DE <i>Vitex gaumeri</i> Greenm (YA' AXNIK) PROCEDENTE DE QUINTANA ROO, MÉXICO.</p>		

PROBETA	CONDICION	BROCA PARA METAL				BROCA CON PUNTILLA				
		SDBM 15%	GARBM 15%	GVEBM 15%	GAPLBM 15%	SDBP 15%	GARBP 15%	GVEBP 15%	GAPLBP 15%	
1	MP	24	5	48	23	E	93	2	3	2
2	MP	18	9	54	19	E	95	2	2	1
3	MP	12	7	68	13	E	90	4	3	3
4	MP	16	9	64	11	B	85	4	6	5
5	MP	6	8	63	23	E	92	3	3	2
6	MP	5	5	76	14	E	92	1	7	0
7	MP	4	8	72	16	B	87	2	9	2
8	MP	26	2	60	12	E	93	1	4	2
9	MP	19	12	61	8	E	92	2	6	0
10	MP	22	8	38	32	E	90	3	7	0
11	MP	9	8	71	12	E	93	3	4	0
12	P	42	6	40	12	E	95	2	3	0
13	MP	25	3	50	22	E	97	0	3	0
14	MP	24	5	48	23	E	93	2	3	2
15	MP	18	9	54	19	E	95	2	2	1
16	MP	12	7	68	13	E	90	4	3	3
17	MP	16	9	64	11	B	85	4	6	5
18	MP	6	8	63	23	E	92	3	3	2
19	MP	5	5	76	14	E	92	1	7	0
20	MP	4	8	72	16	B	87	2	9	2
21	MP	26	2	60	12	E	93	1	4	2
22	MP	19	12	61	8	E	92	2	6	0
23	MP	22	8	38	32	E	90	3	7	0
24	MP	9	8	71	12	E	93	3	4	0
25	P	42	6	40	12	E	95	2	3	0

ANEXO I: Resultados del moldurado al 15% de contenido de humedad con fresas de carburo de tungsteno y alta velocidad.

 <p>UMSNH INGENIERIA</p>	<p>UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO FACULTAD DE INGENIERÍA EN TECNOLOGÍA DE LA MADERA División de Estudios de Posgrado Maestría en Ciencias y Tecnología de la Madera Edificio D, planta alta, Ciudad Universitaria, 58000 Morelia, Michoacán.</p>	
 <p>CAPM MADERA MUEBLE CENTRO DE ARTICULACION PRODUCTIVA</p>	<p>INSTITUTO TECNOLÓGICO DE LA ZONA MAYA CENTRO DE ARTICULACIÓN PRODUCTIVA MADERA Y MUEBLE DEPARTAMENTO DE INGENIERÍAS Carretera Chetumal - Escárcega, Km 21.5, Ejido Juan Sarabia.</p>	 <p>ITZM INSTITUTO TECNOLÓGICO DE LA ZONA MAYA EJIDO JUAN SARBABIA, QUINTANA ROO</p>
<p>MAQUINADO DE LA MADERA DE <i>Vitex gaumeri</i> Greenm (YA' AXNIK) PROCEDENTE DE QUINTANA ROO, MÉXICO.</p>		

PROBETA	CONDICION	FRESA CON CARBURO DE TUGSTENO					FRESA DE ALTA VELOCIDAD					
		SDCT 15%	GARCT 15%	GVECT 15%	GASCT 15%	GLEVCT 15%	CONDICION	SDAV 15%	GARAV 15%	GVEAV 15%	GASAV 15%	GLEVAV 15%
1	R	78	15	2	2	3	R	72	12	9	3	4
2	E	97	3	0	0	0	R	64	9	19	4	4
3	E	96	4	0	0	0	P	46	8	32	5	9
4	E	90	4	2	2	2	R	64	6	15	3	12
5	E	95	3	0	0	2	P	45	26	15	8	6
6	E	90	5	2	1	2	R	64	14	13	9	0
7	E	90	5	5	0	0	P	48	9	33	8	2
8	E	94	4	0	2	0	MP	12	38	45	5	0
9	E	90	2	8	0	0	MP	14	21	24	18	23
10	E	93	2	5	0		R	71	9	12	4	4
11	B	83	14	3	0	0	R	65	16	12	3	4
12	E	95	3	0	2	0	P	54	18	17	4	7
13	E	92	4	1	1	2	P	52	16	19	6	7
14	R	78	15	2	2	3	R	72	12	9	3	4
15	E	97	3	0	0	0	R	64	9	19	4	4
16	E	96	4	0	0	0	P	46	8	32	5	9
17	E	90	4	2	2	2	R	64	6	15	3	12
18	E	95	3	0	0	2	P	45	26	15	8	6
19	E	90	5	2	1	2	R	64	14	13	9	0
20	E	90	5	5	0	0	P	48	9	33	8	2
21	E	94	4	0	2	0	MP	12	38	45	5	0
22	E	90	2	8	0	0	MP	14	21	24	18	23
23	E	93	2	5	0	0	R	71	9	12	4	4
24	B	83	14	3	0	0	R	65	16	12	3	4
25	E	95	3	0	2	0	P	54	18	17	4	7

ANEXO J: Resultados del torneado al 15% de contenido de humedad con fresa especial emitida por la Norma.

 <p>UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO FACULTAD DE INGENIRÍA EN TECNOLOGÍA DE LA MADERA División de Estudios de Posgrado Maestría en Ciencias y Tecnología de la Madera Edificio D, planta alta, Ciudad Universitaria, 58000 Morelia, Michoacán.</p>	 <p>INSTITUTO TECNOLÓGICO DE LA ZONA MAYA CENTRO DE ARTICULACIÓN PRODUCTIVA MADERA Y MUEBLE DEPARTAMENTO DE INGENIERÍAS Carretera Chetumal - Escárcega, Km 21.5, Ejido Juan Sarabia.</p>
 <p>MAQUINADO DE LA MADERA DE <i>Vitex gaumeri</i> Greenm (YA' AXNIK) PROCEDENTE DE QUINTANA ROO, MÉXICO.</p>	

FRESA ESPECIAL TORNEADO AL 15% DE CONTENIDO DE HUMEDAD							FRESA ESPECIAL TORNEADO AL 15% DE CONTENIDO DE HUMEDAD						
PROBETA	SDFE 15%	GARFE 15%	GVEFE 15%	GASFE 15%	GLEVFE 15%	CONDICION	PROBETA	SDFE 15%	GARFE 15%	GVEFE 15%	GASFE 15%	GLEVFE 15%	CONDICION
1	83	8	9	0	0	B	26	93	3	3	1	0	E
2	87	3	10	0	0	B	27	95	3	2	0	0	E
3	89	5	5	1	0	B	28	90	3	3	4	0	E
4	85	4	11	0	0	B	29	89	5	4	2	0	B
5	88	7	5	0	0	B	30	88	5	4	3	0	B
6	94	3	3	0	0	E	31	91	3	3	3	0	E
7	93	4	2	1	0	E	32	93	4	3	0	0	E
8	91	4	3	2	0	E	33	94	3	3	0	0	E
9	91	3	3	3	0	E	34	94	2	4	0	0	E
10	93	3	4	0	0	E	35	95	3	2	0	0	E
11	93	4	2	1	0	E	36	89	5	5	1	0	B
12	92	4	3	1	0	E	37	90	3	5	2	0	E
13	89	5	3	3	0	B	38	95	3	2	0	0	E
14	94	5	1	0	0	E	39	91	5	4	0	0	E
15	93	6	1	0	0	E	40	92	4	4	0	0	E
16	88	5	7	0	0	B	41	94	4	2	0	0	E
17	91	7	2	0	0	E	42	96	3	1	0	0	E
18	90	6	3	1	0	E	43	93	4	3	0	0	E
19	92	4	4	0	0	E	44	92	6	2	0	0	E
20	94	3	3	0	0	E	45	94	3	3	0	0	E
21	95	3	2	0	0	E	46	94	5	1	0	0	E
22	93	4	2	1	0	E	47	95	3	2	0	0	E
23	90	3	2	5	0	E	48	95	2	2	1	0	E
24	92	5	3	0	0	E	49	92	3	2	1	2	E
25	92	4	2	2	0	E	50	96	3	0	0	1	E

ANEXO K: Programa de secado del *Vitex gaumeri* Greenm (Ya'axnik).

UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO

FACULTAD DE INGENIERÍA EN TECNOLOGÍA DE LA MADERA

División de Estudios de Posgrado

Maestría en Ciencias y Tecnología de la Madera

Edificio D, planta alta, Ciudad Universitaria, 58000 Morelia, Michoacán.



INSTITUTO TECNOLÓGICO DE LA ZONA MAYA
CENTRO DE ARTICULACIÓN PRODUCTIVA MADERA Y MUEBLE
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍAS



Carretera Chetumal - Escárcega, Km 21.5, Ejido Juan Sarabia.

MAQUINADO DE LA MADERA DE *Vitex gaumeri* Greenm (YA' AXNIK) PROCEDENTE DE QUINTANA ROO, MÉXICO.

Programa: T3-C2 Espesor Inicial: 4/4 Humedad Inicial: 80% Humedad Final: 10% Densidad: 0.67g/cm²

ASESOR DE LA MATERIA: M.C. Roberto Calderon.

PASO 8	PASO 9	PASO 10	PASO 1		PASO 2		PASO 3		PASO 4		PASO 5	PASO 6	PASO 7
Etapa de secado	Etapa de Temperatura Numero	Etapa de Depresion Numero	Clase de Contenido de Humedad "Codigo C"		Programa de Temperatura Bulbo seco		Programa de Depresion		Bulbo Humedo		Humedad Relativa	Contenido de Humedad en Equilibrio	Declive o Gradiente de Secado
			De: >	A:	°C	°F	°C	°F	°C	°F			
1	1	1	40	40	43.33	110	2	4	41.11	106	87	17.5	2.29
2	1	2	40	35	43.33	110	3	5	40.56	105	84	16.2	2.47
3	1	3	35	30	43.33	110	4	8	38.89	102	75	13.3	2.63
4	2	4	30	25	48.89	120	8	14	41.11	106	62	10	3.00
5	3	5	25	20	54.44	130	17	30	37.78	100	35	5.6	4.46
6	4	5	20	15	60.00	140	17	30	43.33	110	38	5.8	3.45
7	5	6	15	FINAL	71.11	160	28	50	43.33	110	21	3.2	4.69
IGUALAMIENTO			10	s = 10	71.11	160	13	24	57.78	136	52	7	1.43
ACONDICIONAMIENTO			12	x = 12	71.11	160	3	6	67.78	154	86	14.2	0.85

ANEXO L: Sustitución de fórmulas para el complemento de los resultados de la calidad del maquinado.

	<p>UNIVERSIDAD MICHOCANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO FACULTAD DE INGENIERÍA EN TECNOLOGÍA DE LA MADERA División de Estudios de Posgrado Maestría en Ciencias y Tecnología de la Madera Edificio D, planta alta, Ciudad Universitaria, 58000 Morelia, Michoacán.</p>	
	<p>INSTITUTO TECNOLÓGICO DE LA ZONA MAYA CENTRO DE ARTICULACIÓN PRODUCTIVA MADERA Y MUEBLE DEPARTAMENTO DE INGENIERÍAS Carretera Chetumal - Escárcega, Km 21.5, Ejido Juan Sarabia.</p>	
<p>MAQUINADO DE LA MADERA DE <i>Vitex gaumeri</i> Greenm (YA' AXNIK) PROCEDENTE DE QUINTANA ROO, MÉXICO.</p>		

SUSTITUCIÓN DE LAS FÓRMULAS EN EL MAQUINADO		
NÚMERO DE MARCAS DE CUCHILLA PARA EL CEPILLADO	TALADRADO	TORNEADO
$Nm = \frac{(Vc)(Nc)}{(Va)(100)}$	$VA = \frac{E}{TEC/60}$	$VA = \frac{l}{TEC/60}$
$Nm = \frac{(5000)(3)}{(6)(100)} = 15000 / 600 = 25$	$VA = \frac{2}{22/60} = 2 / 0.366 = 5.47$	$VA = \frac{l}{8.2/60} = 1 / 0.14 = 7.14$
VELOCIDAD LINEAL DEL LIJADO	VELOCIDAD ALIMENTACION Y PERIFERICA DEL MOLDURADO	
$VL = \frac{l}{TEL/60}$	$VA = \frac{l}{TEC/60}$	$Vp = \frac{(D)(\pi)(Vr)}{60}$
$VL = \frac{l}{30/60} = 1 / 0.5 = 2$	$VA = \frac{l}{11/60} = 1 / 0.18 = 5.55 \text{ tungsteno}$	<p>VP FRESA = 7000 r.p.m. Dato del manual</p>
	$VA = \frac{l}{19/60} = 3.12 \text{ altavelocidad}$	

ANEXO M: Imágenes del proceso de evaluación del maquinado en ambos contenidos de humedad

	<p>UNIVERSIDAD MICHOCANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO FACULTAD DE INGENIERÍA EN TECNOLOGÍA DE LA MADERA <i>División de Estudios de Posgrado</i> Maestría en Ciencias y Tecnología de la Madera <i>Edificio D, planta alta, Ciudad Universitaria, 58000 Morelia, Michoacán.</i></p>	
	<p>INSTITUTO TECNOLÓGICO DE LA ZONA MAYA CENTRO DE ARTICULACIÓN PRODUCTIVA MADERA Y MUEBLE DEPARTAMENTO DE INGENIERÍAS Carretera Chetumal - Escárcega, Km 21.5, Ejido Juan Sarabia.</p>	
IMAGENES		

Dimensionado de probetas



Proceso de Cepillado





Proceso de Lijado



Proceso de Taladrado



Proceso de Moldurado



Proceso de Torneado

