



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

DIVISIÓN DE CIENCIAS FORESTALES

MAESTRÍA EN CIENCIAS EN CIENCIAS FORESTALES

**RENDIMIENTO DE MADERA ASERRADA Y
EFECTO DE SU CALIDAD EN TRES
ASERRADEROS DEL ESTADO DE HIDALGO,
MÉXICO**

TESIS

Que como requisito parcial
para obtener el grado de

MAESTRO EN CIENCIAS EN CIENCIAS FORESTALES



DIRECCIÓN GENERAL ACADÉMICA
DEPTO. DE SERVICIOS ESCOLARES
OFICINA DE EXAMENES PROFESIONALES

Presenta:

LLYZEL TORRES DIAZ

Bajo la supervisión de: Dra. **MARÍA ISABEL PALACIOS RANGEL.**



Chapingo, Estado de México, mayo de 2019.

**RENDIMIENTO DE MADERA ASERRADA Y EFECTO DE SU
CALIDAD EN TRES ASERRADEROS DEL ESTADO DE
HIDALGO, MÉXICO**

Tesis realizada por **Llyzel Torres Diaz** bajo la supervisión del Comité Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

Maestro en Ciencias en Ciencias Forestales

DIRECTOR: *Ma Isabel P. R.*
Dra. María Isabel Palacios Rangel

CO-DIRECTOR: *[Signature]*
Dra. María Amparo Máxima Borja de la Rosa

ASESOR: *[Signature]*
Dr. Roberto Machuca Velasco

ASESOR: *[Signature]*
Dr. Antonio Villanueva Morales

CONTENIDO

LISTA DE CUADROS	v
LISTA DE FIGURAS	vi
DEDICATORIA	vii
AGRADECIMIENTOS	viii
DATOS BIOGRÁFICOS.....	ix
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN GENERAL	1
1.2 Objetivo general.....	3
1.2.1 Objetivos particulares	4
1.3 Hipótesis.....	4
1.4 Preguntas de investigación.....	4
1.5 Estructura del documento de titulación.....	5
CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO Y DE REFERENCIA	7
2.1 MARCO CONCEPTUAL.....	7
2.1.1 Industria y proceso de aserrío	7
2.1.2 Estudio de rendimiento y coeficiente de aserrío	8
2.1.3 Variación de corte	8
2.1.4 Refuerzo	9
2.1.5 Control de Calidad.....	10
2.2 MARCO DE REFERENCIA	11
2.3 MODELOS CUANTITATIVOS	14
2.3.1 Regresión lineal simple	14
2.3.2 Coeficiente de correlación lineal y coeficiente de determinación	15
2.3.3 Análisis de varianza (ANOVA).....	15
2.3.4 Prueba del rango múltiple de Duncan	16

CAPÍTULO 3. CALIDAD DE MADERA ASERRADA EN TRES ASERRADEROS DE SIERRA BANDA EN HIDALGO, MÉXICO	17
3.1 Resumen	17
3.2 Abstract	18
3.3 Introducción	18
3.4 Materiales y métodos.....	20
3.5 Resultados.....	28
3.6 Discusión	37
3.7 Conclusiones	40
3.8 Referencias	42
CAPÍTULO 4. CONCLUSIONES GENERALES.....	44
LITERATURA CITADA	45

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Tamaño de muestra.	29
Cuadro 2. Rendimiento por calidad de trocería.....	33
Cuadro 3. Rendimiento sin corteza por calidad de madera aserrada (%) para cada calidad de trocería.....	34
Cuadro 4. Madera aserrada (pt) por calidad de trocería.	35
Cuadro 5. Variación del proceso de aserrío y estimación óptima de corte para el producto de $\frac{3}{4}$ " (19.05 mm) de espesor.....	36
Cuadro 6. Variación del proceso de aserrío y estimación óptima de corte para el producto de $\frac{1}{2}$ " (13 mm) de espesor.....	37

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Estructura del documento de titulación.	6
Figura 2. Ubicación estatal de los aserraderos estudiados.	21
Figura 3. Guía para clasificar la trocería.	23
Figura 4. Guía para clasificar la madera aserrada	26
Figura 5. Proporción de calidades y categoría diamétrica de la trocería.	30
Figura 6. Rendimiento volumétrico de la madera aserrada por calidad.	31
Figura 7. Rendimiento por calidad de la trocería en cada aserradero.	32

DEDICATORIA

Con todo mi amor le dedico este trabajo, a mi más grande inspiración y ejemplo de vida, mi madre; Bertha Diaz Hernández, por apoyarme siempre en los momentos más difíciles y enseñarme a nunca darme por vencida, predicando siempre con el ejemplo. Por compartir conmigo cada logro, y motivarme para seguir adelante; por cada palabra de aliento y sabios consejos que siempre son tan acertados, y que continúan ayudándome a crecer tanto como persona como profesionalista.

A mi pareja Fredi Juárez Santiago, que en todo momento estuvo conmigo, apoyando y motivando a seguir adelante, por todas las palabras, consejos y momentos que llenaron mi vida de felicidad, por todas esas noches de esfuerzo y desvelo que compartimos, con todo mi amor y admiración.

A mi padre Antonio Torres Romero, y hermanos; Paulino, Antonio y Eduardo por el apoyo moral y económico que me brindaron cuando más los necesité, con todo mi cariño y respeto.

A todos mis amigos y compañeros de universidad; Flor, María, Isabel y Guadalupe, que compartieron conmigo tantas alegrías e hicieron mi estadía más amena.

AGRADECIMIENTOS

A mi *alma mater*, Universidad Autónoma Chapingo, por la enorme oportunidad que me dio, primero: por formarme como Ingeniero Forestal Industrial y ahora para obtener el grado de Maestro en Ciencias.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por la beca otorgada para continuar con mi formación.

A la Dra. María Isabel Palacios Rangel, por su amabilidad, paciencia, tiempo y sobre todo sus conocimientos brindados durante todo el proceso de mi formación en el posgrado, y para el desarrollo de la investigación. Un gran ejemplo, con toda mi admiración y respeto.

A la Dra. Ma. Amparo Máxima Borja de la Rosa, por su atención, amabilidad, tiempo y sus valiosas recomendaciones tanto en mi formación en el posgrado como en el presente trabajo.

Al Dr. Roberto Machuca Velasco, por su tiempo, apoyo, seguimiento y valiosos conocimientos aportados durante el desarrollo y culminación de esta investigación.

Al Dr. Antonio Villanueva Morales, por el apoyo, tiempo y dedicación durante la investigación.

A la Sra. Magali Moreno Ramírez, de la Coordinación General de Posgrado de la DICIFO, por la paciencia, los consejos, el apoyo y la asistencia brindada en todos los aspectos académicos y administrativos.

DATOS BIOGRÁFICOS



Llyzel Torres Díaz, nació el 05 de enero de 1991, en el municipio de Tulancingo de Bravo, estado de Hidalgo. Estudio su bachillerato en el Colegio de bachilleres del estado de Hidalgo (COBAEH), de 2006 a 2009. Posteriormente, en 2010 ingreso a la Universidad Autónoma Chapingo, donde cursó el nivel licenciatura en la División de Ciencias Forestales, obteniendo el título de Ingeniero Forestal Industrial en noviembre de 2015.

En el año 2016 se desempeñó como Coordinadora de Capacitación y Asistencia Técnica a la Producción Forestal, en la Protectora de Bosques del Estado de México (PROBOSQUE) de la Región II Zumpango, ubicada en el municipio de Naucalpan de Juárez, Estado de México.

En 2017 ingresó al Programa de Posgrado en Ciencias Forestales de la Universidad Autónoma Chapingo, en donde concluyó sus estudios de Maestría en Ciencias en Ciencias Forestales 2019.

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN GENERAL

De acuerdo con la FAO (2015), la producción anual de madera aserrada asciende a 439 millones de m³, siendo Estados Unidos de América, con un 17%, quien presenta la mayor producción total de este producto, seguido por China (16%), Canadá (10%), Federación de Rusia (8%) y Alemania (5%).

En México la industria forestal, históricamente, aporta del 11 al 12% del PIB agropecuario, silvícola y pesquero. En el 2016 la producción forestal maderable fue de 6,715, 284 m³r. El producto con la mayor relevancia dentro de la industria forestal fue la madera para aserrío, con una participación del 74.9% de la producción. Los principales estados productores que contribuyeron con el 68.6% de la producción nacional, fueron: Durango Chihuahua, Veracruz, Michoacán y Oaxaca. Con un 75.1% el pino (*Pinus spp.*) fue el principal género aprovechado.

Al respecto, la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT, 2015), reporta que la industria forestal dedicada a la producción de madera aserrada asciende a 10,012 centros de transformación, mismos que poseen una capacidad instalada de 22, 762,422 m³rollo, de la cual sólo se utiliza el 34.5% del total producido. Esto se debe, principalmente, a la deficiente conversión de materia prima que presentan los aserraderos, lo que se traduce en un coeficiente de aserrío de alrededor del 50% (Flores, et al. 2007), por efecto de que éstos en su gran mayoría trabajan con maquinaria y equipo con bajo nivel tecnológico u obsoleto.

Debido a que la madera aserrada es el producto que tiene el mayor porcentaje de aportación en la industria forestal, el análisis de su calidad resulta ser un factor muy importante para determinar la rentabilidad de la industria de aserrío (Chávez, 1997). Algunas de las circunstancias que originan la poca eficiencia en los aserraderos se deben al exceso de maniobras para el manejo de trocería en el carro escuadra y en la torre principal; así también, el escaso mantenimiento que se da a la maquinaria, el poseer equipos incompletos y la

escasa producción de madera de mejor clase por falta de capacitación de los operarios (Barrera, et al. (2010). A su vez, entre las variables que afectan mayormente los rendimientos en madera aserrada se destacan el diámetro y forma de la trocería, la clase y su calidad, el patrón de corte y el tipo de sierra empleado para transformar la materia prima (Quirós, 1990).

Para mejorar la eficiencia de la transformación de las trozas de madera aserrada es necesario estudiar las interrelaciones que existen entre las características físicas de la madera con las de los productos aserrados a obtener (Zavala, 1996). Para obtener el espesor deseado de la dimensión nominal, desde el punto de vista técnico y económico, la madera se debe aserrar sin variación en espesor por efecto del corte y tan delgada como lo permita el secado y el cepillado. Esto, debido a que la madera que se asierra a un grosor superior al requerido, representa un volumen que se pierde en el proceso de cepillado, lo que reduce el coeficiente de aprovechamiento, así como la calidad final del producto y afecta, en el corto plazo, las utilidades potenciales de la empresa (Zavala, 1991).

En 2016, el estado de Hidalgo ocupó el doceavo lugar a nivel nacional con una producción de 125,912 m³r, aportando el 1.87% del total. El principal producto producido en la entidad fue la madera para aserrío con un 77.2% de la producción, siendo el pino con un 74.8 % el género más aprovechado.

El presente trabajo de investigación tuvo como referente empírico a la “Unidad de Manejo Forestal Pachuca-Tulancingo”, compuesta por 28 municipios (Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales del Estado de Hidalgo [SEMARNATH, 2008), misma que concentra más de la mitad de los aserraderos existentes en el estado de Hidalgo. En particular, se analizó el efecto del diámetro y la calidad de la trocería en el rendimiento, así como la variación dimensional del proceso, con el propósito de emitir recomendaciones que tiendan a mejorar el coeficiente de aserrío y faciliten la toma de decisiones en cuanto a la comercialización de madera aserrada de clase, para tres aserraderos: MADECOM, Ahuacuitl y aserradero Cuautepec, ubicados en los

municipios de Singuilucan, Tulancingo de Bravo y Cuautepec de Hinojosa respectivamente.

Lo anterior, debido a que la gran mayoría de estos aserraderos carecen de estudios de diagnóstico que visibilicen ciertos problemas técnicos que padecen, varios de los cuales se encuentran presentes en casi toda la industria del aserrío en el estado de Hidalgo. Esto se evidencia en el escaso número de evaluaciones que abordan la calidad dimensional de la madera aserrada, así como el proceso mediante el cual ésta llega a obtenerse, lo que constituye un área de oportunidad y mejora para las numerosas empresas dedicadas al corte de madera en esta entidad federativa.

Estos elementos sirvieron para identificar el problema de investigación el cual se enfocó en la pérdida de la calidad en la trocería debido a factores estructurales relacionados con la operación del aserrío, así como, la escasa capacitación que poseen los operadores en el control y manejo de los factores de calidad. Esta situación es un resultado de que casi todas estas empresas trabajan bajo un sistema simple que no considera como factor central el clasificar la trocería con base en criterios de calidad, así como, no desarrollan acciones que posibiliten un adecuado control para la obtención del espesor requerido por ésta, dando como resultado su sobredimensionado, o subdimensionado, lo que en el corto plazo se traduce en pérdidas productivas y económicas para el aserradero minando sus factores de rentabilidad como empresa. Por todo lo anterior, el objetivo del presente trabajo fue:

1.2 Objetivo general

Analizar la situación actual de la industria de aserrío en el sureste del estado de Hidalgo y determinar cómo los factores de interés: diámetro de la trocería, calidad de la trocería y calidad (visual y dimensional) de la madera aserrada, influyen en dicho rendimiento, y con base en su análisis brindar algunas recomendaciones para incrementar la eficiencia de conversión, y facilitar la

planeación y la toma de decisiones en cuanto a la comercialización de madera aserrada de clase.

1.2.1 Objetivos particulares

- Obtener el coeficiente de aserrío del proceso y por clase, mediante el estudio de sus rendimientos, para conocer la eficiencia de conversión y la disponibilidad de madera aserrada de cierta calidad.
- Determinar el efecto de las variables de interés; diámetro, calidad de la trocería y calidad dimensional en el rendimiento, para emitir recomendaciones que permitan mejorar la eficiencia del aserrío.
- Comparar la calidad del aserrío de tres aserraderos de sierra banda, mediante la determinación de la variación de corte del proceso, para estimar su impacto económico.
- Estimar las dimensiones óptimas de corte que garanticen cantidad y calidad del producto, mediante el uso de fórmulas matemáticas con la finalidad de obtener madera aserrada que cumpla con las dimensiones nominales requeridas por el mercado.

1.3 Hipótesis

Analizar el efecto de las variables diámetro, calidad de la trocería y calidad de madera aserrada en el rendimiento, permitirá detectar oportunidades de mejora para aumentar el coeficiente de aserrío.

1.4 Preguntas de investigación

¿Cuál es el rendimiento total del proceso en los aserraderos de sierra banda, ubicados en el suroeste del estado de Hidalgo?

¿Qué efecto tienen las variables; diámetro, calidad de la trocería y calidad de la madera aserrada en el rendimiento?

¿Cuál es la variación del aserrío en los aserraderos?

¿Cómo se puede aumentar el coeficiente de aserrío?

¿Cuál sería el impacto en la productividad del aserradero si se implementara un sistema de clasificación para trocería y madera aserrada?

1.5 Estructura del documento de titulación

El presente documento está compuesto por cuatro capítulos. En el CAPÍTULO UNO, se presenta la introducción general del trabajo en donde se detalla la importancia que reviste el tema y objeto estudiado; de igual manera, se incluyen los aspectos que integran la investigación como son: Justificación, Antecedentes, Objetivos, Hipótesis, Preguntas de Investigación, se concluye con un gráfico que presenta la estructura del documento. El CAPÍTULO DOS, integra el Marco Teórico y Marco de Referencia. En este apartado se incluye parte de la revisión de literatura que se realizó para sustentar la investigación. La temática abordada gira en torno a la industria de aserrío, asimismo, plantea una parte conceptual que engloba el proceso de obtención de madera aserrada, y los modelos cuantitativos que se utilizaron para procesar la información obtenida en el estudio. En el CAPÍTULO TRES, se presentan los resultados obtenidos y los materiales y métodos utilizados redactados en forma de artículo científico. En el CAPÍTULO CUATRO, se exponen las conclusiones generales de la investigación, y finalmente la literatura citada (Figura 1).

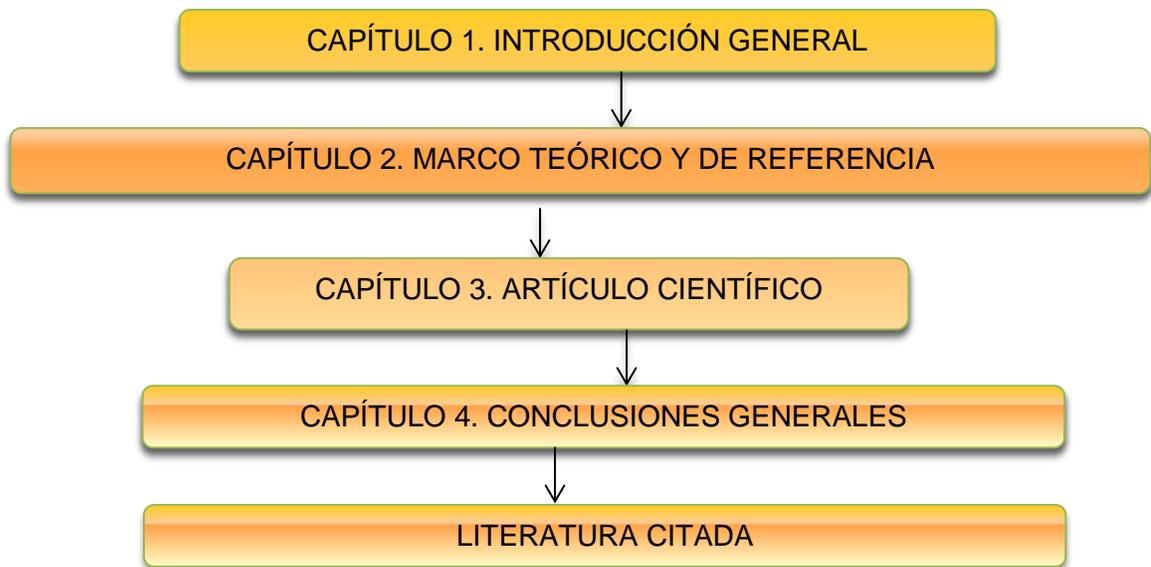


Figura 1. Estructura del documento de titulación.

CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO Y DE REFERENCIA

2.1 MARCO CONCEPTUAL

2.1.1 Industria y proceso de aserrío

La forma más simple de industrializar la madera a partir de la troza, es su aserrío. Esto se realiza mediante la utilización de gran variedad de máquinas y herramientas, mismas que pueden ser desde las manuales, en las cuales dos hombres van cortando tablas con una hoja de sierra sostenida por ambos extremos, hasta los aserraderos sumamente automatizados. Los aserraderos se clasifican por su permanencia en fijos y portátiles. (Zamudio, 1986).

La industria de aserrío transforma la madera en rollo en madera aserrada. El aserrío es una de las actividades menos compleja de las industrias forestales, comprende varias operaciones que van desde la manipulación y transporte de las trozas, al secado de la madera, su selección y clasificación. En los países donde se desarrollan procesos de bajo contenido tecnológico, la mayor parte de los procedimientos de trabajo están muy poco mecanizados (FAO, 1991).

El aserrío es un proceso mediante el cual se convierte la madera en rollo en tablas, tablonés, polines, vigas y durmientes, utilizando maquinaria, equipo, recurso humano, fuentes de energía y dinero; durante un tiempo y derivado de avances tecnológicos, estos procesos han sido eficientes con el propósito de lograr una mayor producción y rentabilidad, lo que implica una buena calidad de productos terminados y menores costos de producción (Nájera, 2011).

Las instalaciones industriales donde se efectúa la producción de madera en rollo para obtener madera aserrada, reciben el nombre de aserraderos. Éstos se caracterizan por ser industrias de primera transformación de la madera; su función principal es proveer de productos semi-acabados, los que, generalmente, son destinados a una industria de segunda transformación (carpintería, ebanistería, construcción, etcétera) encargada de fabricar objetos o partes de objetos de consumo (Brown & Bethel, 1975).

Fernando, et al. (2001) mencionan que la influencia del tipo de sierra sobre el rendimiento recae en adquirir aserraderos de sierra banda, en lugar de sierra múltiple o circular, ya que así se obtiene un mejor aprovechamiento de la materia prima, lo que se logra regulando el ancho de corte.

2.1.2 Estudio de rendimiento y coeficiente de aserrío

Un estudio de rendimiento se define como la evaluación del volumen de madera aserrada que se obtiene de cada troza procesada. En otras palabras, es la relación entre el volumen producido de madera aserrada y el volumen en troza utilizado. También, se delimita como la determinación del volumen de productos obtenidos versus el volumen de troza empleada (Aldás, 2014).

Según Tuset & Durán (1979) existen básicamente dos modos de evaluar el rendimiento operativo. El primero, se expresa a partir de medir el rendimiento de madera aserrada mediante el cálculo de productividad en máquina; el segundo, mediante el cálculo o procesamiento de datos de la productividad en su conjunto; es decir, de todo el equipo. La forma tradicional de expresar la productividad de una sierra es por los metros cúbicos de madera aserrada por hora-hombre.

2.1.3 Variación de corte

La variación en el espesor de las tablas debido al corte al momento de aserrar la trocería, puede variar de un aserradero a otro, como un efecto de las características y condiciones del equipo, y de la habilidad de los operarios (Zavala, 1991).

La variación del corte se manifiesta a través de la diferenciación en espesor de la madera aserrada, y se le considera como una medida de la precisión mecánica de trabajo de los equipos de aserrío. Además, si se cuenta con un sistema de control de refuerzos se puede reducir la variación en espesor de la madera verde, mejorar la eficiencia de la clasificación y aumentar el coeficiente de aprovechamiento. Adicionalmente, se puede programar el cambio de sierras

y el mantenimiento preventivo de las máquinas, antes de que el efecto de desajuste o desgaste se refleje en la madera aserrada (Zavala, 1991).

De acuerdo con Steele (1990) los siguientes factores influyen en el rendimiento de la madera durante el proceso de aserrío; a) diámetro, b) largo y forma de la trocería, c) ancho de aserrío, d) variación del corte, e) toma de decisiones de los operarios, f) condiciones y mantenimiento del equipo, y g) métodos de aserrío.

A su vez, Brown (2000) menciona la existencia de metodologías que se utilizan para conocer la variación del corte entre tablas y dentro de las mismas, sugiriendo el método de **Puntos múltiples de medición**, como uno de los más adecuados. Su procedimiento consiste en una secuencia de muestreo de por lo menos 100 tablas a intervalos de 1 hora de trabajo, desde el inicio del turno hasta contemplar las 100, considerando una submuestra de 10 a 20 tablas en cada intervalo especificado; por lo que, dependiendo del objetivo y del grado de análisis que se pretende realizar de la muestra que se seleccione, se define el número y ubicación de las mediciones en cada tabla muestreada.

Zavala (2003) afirma que este método es el único que permite identificar y evaluar ambos tipos de variación, ya que, la evaluación de la cantidad de variación durante el proceso de aserrío es esencial, tanto para determinar la dimensión óptima de la madera verde, como para la evaluación del comportamiento del equipo.

2.1.4 Refuerzo

El refuerzo se considera como la compensación de volumen que se le da a la pieza aserrada por el volumen que se pierde por el secado de la madera; así también, el volumen que se remueve por el cepillado, y finalmente, para determinar el volumen que se pierde por efecto de la variación en espesor de las tablas debido al corte (Zavala, 1994). El refuerzo por cepillado corresponde al volumen total de madera que se elimina al cepillar ambas caras de la tabla,

siendo el caso, que la madera que se pierde varía de 1.27 mm a 2.032 mm (0.05" a 0.08").

En México, normalmente, a la madera aserrada se le asigna un refuerzo en espesor que representa la pérdida de madera por cepillado y por contracciones durante el secado; tradicionalmente este refuerzo es de 6,3 mm (1/4"), aun cuando oficialmente se ha adoptado el de 3,2 mm (1/8") (Zavala, 2003).

La anterior Subsecretaría Forestal y de la Fauna Silvestre estableció en 1978, las dimensiones del refuerzo en grosor y en volumen, esto para la madera aserrada producida más comúnmente. Para la que presenta 1/2, 3/4, 4/4, 6/4 y 8/4 pulgadas, las dimensiones reales en grosor con su respectivo refuerzo deberían ser de 16, 22, 28, 41 y 54 mm, con un refuerzo en volumen para la dimensión final de 40%, 30%, 22%, 14% y 8%, respectivamente. A través de la conversión de las cinco dimensiones de pulgadas a milímetros, se obtienen las dimensiones nominales para el grosor de la madera aserrada en milímetros, que corresponden a 13, 19, 25, 38 y 51 mm, individualmente.

2.1.5 Control de Calidad

El concepto de calidad se define como el grado con el que un conjunto de características inherentes cumple los requisitos. El término grado significa que se puede usar calidad con escalas o adjetivos que la ubican como: mala, buena y excelente. El concepto de inherente se define como algo que existe integrado,, en especial como una característica permanente. Las características pueden ser cuantitativas o cualitativas (Besterfield, 2009).

El control de calidad hace referencia a un proceso o un conjunto de actividades y técnicas operacionales, que se usan para cumplir los requerimientos de calidad. Esta definición podría implicar que cualquier operación que sirva para mejorar, dirigir o asegurar la calidad podría ser una actividad de control de calidad. Básicamente, ésta se podría resumir como todo aquello que significa

comprobar que lo realizado se ajusta a lo propuesto o planificado (Bertrand & Prabhakar, 1990).

El control de calidad puede ayudar a maximizar el coeficiente de aprovechamiento del aserradero, siempre y cuando éste se aplique durante el proceso de manufacturación del producto, reduciendo indirectamente los costos por concepto de materia prima; además, de ayudar a descubrir posibles problemas durante el proceso. De esta forma, por medio del control de calidad se puede evaluar la variación en el grosor de las tablas, y poder llegar al origen del problema que lo está causando, ya sea la maquinaria o los operadores (Brown, 1986).

2.2 MARCO DE REFERENCIA

La calidad de la madera se evalúa de dos formas: por sus características naturales y por la precisión de sus dimensiones (Eleotério *et al.*, 1996). La calidad de las trozas influyen en el coeficiente de aserrío, mientras mejor es la calidad mayor es el coeficiente de aserrío (Nájera, 2011). Además, con un adecuado control en la uniformidad de la madera aserrada se obtiene una mejora en la calidad del producto y un aumento en el coeficiente de aserrío (Sánchez, 2004).

La reducción del ancho de apertura de corte constituye una alternativa para elevar la eficiencia en el aserrío, debido a una reducción de los volúmenes de residuos durante la limpieza de la troza. La determinación de la longitud de corte óptima mediante procedimientos matemáticos, es una opción científicamente fundamentada que posibilita la ubicación efectiva de las líneas de corte, para obtener el mayor volumen de madera aserrada en función de las dimensiones de las trozas (Fernando, *et al.* 2001).

De acuerdo con Álvarez, *et al.* (2004), la incorrecta localización del corte de apertura, tiene mayor repercusión en trozas de pequeñas dimensiones que en

trozas de grandes. Es decir, que el rendimiento aumenta en la medida en que se incrementa el diámetro de las trozas.

La reducción del ancho de apertura de corte constituye una alternativa para elevar la eficiencia en el aserrío, debido a una reducción de los volúmenes de residuos durante la limpieza de la troza. La determinación de la longitud de corte óptima mediante procedimientos matemáticos es una opción fundamentada, que posibilita la ubicación efectiva de las líneas de corte para obtener el mayor volumen de madera aserrada, en función de las dimensiones de las trozas (Fernando, *et al.* 2001).

En un estudio García, *et al.* (2001) determinaron el coeficiente de aserrío para cuatro aserraderos de sierra banda ubicados en el Sur de Jalisco, utilizando trocería de pino, donde obtuvieron que el valor promedio del coeficiente de aserrío nominal fue de 44.58%. Además, consideraron que la variable que más afectó los valores del coeficiente de aserrío fue el espesor; esto debido a que el aserradero que obtuvo el mayor coeficiente de aserrío, fue el que presentó la menor longitud de trocería y la mayor parte de su producción estuvo constituida por tablas de un solo espesor.

En su estudio para la determinación del coeficiente y calidad de aserrío del género *Pinus* en la región Sierra Sur, Oaxaca, México, Ortiz *et al.* (2015) determinaron que sin la influencia de la corteza, el rendimiento aumentaría un 4.08% en madera aserrada. También, observaron un incremento directo del coeficiente de aserrío en función del diámetro de las trozas, cuando se presenta un mayor rendimiento en menor conicidad.

Nájera, *et al.* (2011), en su estudio de tiempos y rendimientos del aserrío en la región de El Salto, Durango, México, no encontraron un incremento significativo del rendimiento con el aumento en el diámetro de las trozas; sin embargo, el factor que sí presentó una variación real fue el de la productividad, ya que éste experimentó un incremento con el aumento del diámetro. De esta forma, se puede decir que el largo de las trozas influye en el rendimiento de madera

aserrada, puesto que en la medida en que se aumenta su longitud, el rendimiento disminuye pero se incrementa la productividad.

De igual manera, Nájera, et al. (2012a), en su análisis del rendimiento de la madera aserrada en dos aserraderos privados de El Salto, Durango, México, concluyeron que no se observó un incremento del rendimiento con el aumento en el diámetro de las trozas, pero en cambio, la productividad sí experimentó un incremento con el aumento del diámetro.

A su vez, para aumentar la eficiencia en los aserraderos Álvarez, et al. (2004) proponen un procedimiento matemático que define la amplitud del corte de apertura de las trozas, donde obtuvieron un aumento en el rendimiento volumétrico total de 4.7 y 8.3%. Esto se logró al reducir la amplitud del corte de apertura en un rango de 11 a 13 cm, dando como resultado un aumento en la eficiencia del proceso de transformación en aserraderos de sierra banda.

A su vez, Nájera, et al. (2012b), al realizar evaluaciones de acciones correctivas para mejorar la calidad dimensional de la madera aserrada de *Pinus spp* en Durango, México, concluyeron que es posible reducir la variación de corte de la madera aserrada mediante la disminución de la velocidad de alimentación de las trozas. No obstante, confirmaron que el ajuste en las guías y el disminuir la velocidad de alimentación de la sierra banda, tiene un efecto negativo en la productividad y rentabilidad del aserradero.

En ese sentido, la aplicación de diagramas de corte considerando factores como diámetro, longitud, calidad y conicidad de las trozas; así como, el tipo de sierra se ha convertido en una variante a considerar, ya que, favorece el incremento de la calidad y cantidad obtenida de madera aserrada. Ello ha sido la base de diversos programas de optimización, lo que ha posibilitado obtener resultados relevantes en el proceso de aserrío (Fernando, et al. 2001). De igual forma, para incrementar la eficiencia del proceso se puede recurrir al empleo de programas de control de dimensiones en los aserraderos, ya que, esto permite

determinar la dimensión óptima de corte de la madera aserrada, y así obtener piezas con parámetros que coincidan con las nominales (Zavala, 1991).

2.3 MODELOS CUANTITATIVOS

2.3.1 Regresión lineal simple

La palabra regresión se usó por primera vez por Francis Galton (1822-1911) en sus estudios sobre la herencia biológica. En estos se observó que las características promedio de la siguiente generación de un grupo en particular, tendían a moverse en la dirección de las características promedio de la población en general, más que hacia las de la generación previa de ese grupo. Siendo así esta tendencia referida como una regresión hacia la media de la población. La regresión tiene dos significados. Uno surge de la distribución conjunta de probabilidad de dos variables aleatorias; el segundo, es empírico y nace de la necesidad de ajustar alguna función a un conjunto de datos. La palabra lineal hace referencia a que el modelo es lineal en los parámetros, lo que significa que ninguno de éstos aparece con un exponente o es multiplicado o dividido entre cualquier otro parámetro (Canavos, 1988).

El término de regresión lineal implica que la media ($\mu_{Y|x}$) se relaciona linealmente con “x” mediante la ecuación de regresión de población.

$$\mu_{Y|x} = \alpha + \beta x$$

Donde los coeficientes de regresión α y β son parámetros a estimar a partir de los datos muestrales. Al denotar sus estimaciones con a y b , respectivamente, podemos estimar $\mu_{Y|x}$ con \hat{y} a partir de la regresión de la muestra o la línea de regresión ajustada

$$\hat{y} = a + bx$$

Las estimaciones a y b representan la intersección y la pendiente respectivamente y \hat{y} se utiliza para distinguir entre el valor estimado o predicho

dado por la línea de regresión de la muestra y un valor experimental real observado “y” para algún valor de “x”.

En el caso de la regresión lineal simple hay una sola variable de regresión independiente “x” y una sola variable aleatoria dependiente “Y”, los datos se pueden representar mediante los pares de observaciones $\{(x_i, y_i); i=1,2,\dots,n\}$. El modelo de regresión lineal simple se expresa de la siguiente manera:

$$Y_i = \alpha + \beta x_i + E_i$$

Donde el error aleatorio (E_i), es el error del modelo con media cero (Walpole, 1999).

2.3.2 Coeficiente de correlación lineal y coeficiente de determinación

El coeficiente de correlación de Pearson, es un índice que mide el grado de covariación entre distintas variables relacionadas linealmente. Es un índice de fácil ejecución e interpretación, y sus valores absolutos oscilan entre 0 y 1, cuanto más cerca de 1 mayor será la correlación, y menor cuanto más cerca de cero. Si se tienen dos variables x y y el coeficiente de correlación de Pearson se define entre estas dos variables como r_{xy} entonces:

$$0 \leq r_{xy} \leq 1$$

Más interés tiene la interpretación del coeficiente de correlación en términos de proporción de variabilidad compartida o explicada, donde se da una idea más completa de la magnitud de la relación. Esto se refiere al coeficiente de determinación, y se define como el cuadrado del coeficiente de correlación; esto es, dada dos variable x y y , hace referencia a r^2_{xy} , y se entiende como una proporción de variabilidades.

2.3.3 Análisis de varianza (ANOVA)

El análisis de varianza o ANOVA, es un método que permite comparar no solo dos medias a la vez, sino más de dos medias de muestras que pueden ser

independientes o apareadas o relacionadas, y que pueden venir de tamaños de muestras totalmente diferentes.

2.3.4 Prueba del rango múltiple de Duncan

Una vez realizado el análisis de la varianza, si se detectan diferencias estadísticamente significativas entre las medias de los grupos comparados, en ocasiones se tiene el interés de determinar entre que pares de medias existen esas diferencias, y para ello se utilizan las llamadas pruebas de comparaciones múltiples.

El Test de Duncan, permite comparar las medias de los t niveles de un factor después de haber rechazado la hipótesis nula de igualdad de medias.

CAPÍTULO 3. CALIDAD DE MADERA ASERRADA EN TRES ASERRADEROS DE SIERRA BANDA EN HIDALGO, MÉXICO

Quality of lumber in three sawmills of band saws of Hidalgo, Mexico¹

3.1 Resumen

El objetivo de la presente contribución fue analizar el proceso de producción de madera aserrada, a partir de la determinación del efecto provocado en el rendimiento de este producto por las variables: diámetro y calidad de la trocería, variación en espesor y calidad visual de los productos. Para su realización se seleccionaron tres aserraderos de sierra banda, todos ubicados en el estado de Hidalgo, México. El propósito del estudio fue encontrar alternativas que permitieran incrementar el rendimiento de madera aserrada y las ganancias obtenidas en los referentes seleccionados. Se delimitó una muestra de 300 trozas de madera de pino, en las que se obtuvo un coeficiente de aserrío de 51.4% con corteza, y de 57.1% sin ésta. Se evaluó la variación dimensional en madera aserrada de $\frac{1}{2}$ " y $\frac{3}{4}$ " de espesor, para lo cual se seleccionó al azar una tabla de cada espesor por troza, lo que dio un total de 500 tablas, a las cuales se les hicieron 10 mediciones. Los resultados evidenciaron que la variación dimensional del proceso fue alta, debido a que la pérdida en promedio fue más de un milímetro de espesor. Lo que reflejó que todas las piezas aserradas en las tres empresas se están sobredimensionado, es decir, que los espesores promedio a los que se aserró la madera, exceden las especificaciones comerciales necesarias, por lo que esto se traduce en pérdidas para los aserraderos. Según los datos obtenidos se determinó que el incremento en el rendimiento de la madera aserrada, no presentó una relación directa con el incremento en el diámetro de la trocería, pero sí con la calidad de ésta. Se puede concluir que si se clasifica la madera aserrada para la trocería de primera y segunda calidad, el resultado ocasionará un incremento del 25.8% en la ganancia.

Palabras clave: Dimensión óptima de corte; Proceso de aserrío; Trocería de pino; Variación de corte.

Tesis de Maestría en Ciencias en Ciencias Forestales
Autor: Llyzel Torres Díaz
Director de Tesis: Dra. María Isabel Palacios Rangel

3.2 Abstract

The objective of this contribution was to analyze the process of production of sawn timber, from the determination of the effect caused on the performance of this product by the variables: diameter and quality of the logs, variation in thickness and visual quality of the products. For its realization, three sawmills of band saws were selected, all located in the state of Hidalgo, Mexico. The purpose of the study was to find alternatives that would increase the yield of sawn timber and profits obtained in the selected referents. A sample of 300 logs of pine wood was delimited, in which a sawing coefficient of 51.4% with bark was obtained and 57.1% without it. The dimensional variation in sawn wood of $\frac{1}{2}$ " and $\frac{3}{4}$ " thickness was evaluated, for which a table of each thickness per log was randomly selected, which gave a total of 500 tables, to which 10 measurements were made. The result evidenced that the dimensional variation of the process was high, because the average loss was more than one millimeter thick. All the pieces sawn in the three companies are oversized, that is to say, that the average thicknesses to which saw the wood, exceed the necessary commercial specifications, and this translates into losses for the sawmills. According to the data obtained, it was determined that the increase in the yield of the sawn wood did not present a direct relationship with the increase in the diameter of the piece, but with the quality of it. It can be concluded that if sawnwood is classified for the first and second quality logs, the result will result in an increase of 25.8% in the profit.

Key words: Optimal cutting dimension; Saw process; Pine logs; Cut variation.

3.3 Introducción

La industria de aserrío en México se considera de limitada eficiencia de conversión de la materia prima y bajo nivel tecnológico, todo esto debido a que ésta se ejerce en instalaciones que no permiten una alta productividad y que, por lo tanto, derivan en deficiencias de rentabilidad, tal como puede comprobarse con los coeficientes de aserrío que rondan el 50% (Flores, et al., 2007). Este problema de ineficiencia de transformación industrial de la madera, se debe, en parte a la generación de productos con problemas de calidad y altos porcentajes de desperdicio que se pierde en el proceso de aserrío (Comisión Nacional Forestal, 2014), lo que hace necesario revisar el procesamiento de la trocería resultante en madera aserrada para determinar la rentabilidad de la operación (Coronel, et al., 2012).

Para analizar la eficiencia de la transformación de la madera aserrada, se hace necesario estudiar la interacción entre algunas variables que intervienen en este proceso, tales como: especie, diámetro, conicidad, longitud y calidad, así como la maquinaria, método de asierre y la variación dimensional de los productos (Nájera et al., 2011b; Ortiz et al., 2015, Orozco et al., 2016; Leyva et al., 2017; Ambriz et al., 2018). Es conveniente señalar que con esta información es posible obtener el grado de afectación que provocan estas variables en el rendimiento, además que permite conocer el nivel de aprovechamiento que puede ser posible alcanzar mediante el establecimiento de mecanismos que posibilitan incrementar el aprovechamiento de la materia prima, y que garantice que los productos satisfagan las especificaciones de calidad dimensional y acabado (Nájera, 2012b). Una ventaja más de conocer el rendimiento por clase de madera aserrada obtenida de una especie comercial, es que permite predecir la producción de tablas de calidad de una región determinada, información muy útil para estimar la disponibilidad de madera aserrada de una cierta calidad (Orozco, et al., 2016).

Uno de los principales factores que más influye en la calidad dimensional es la variación en el espesor, puesto que en la medida de que existan grandes diferencias en el grosor de las tablas, se requiere de mayores refuerzos (Nájera et al., 2011a); y en consecuencia, menor es el rendimiento. Ésta variación puede deberse a: la desviación de la sierra respecto a su trayectoria normal; a una deficiente alineación de las escuadras del carro portatrozas; o a que los esquemas de corte seleccionados por el aserrador no resultan ser los más adecuados, (Álvarez et al., 2007). El refuerzo que se da en la madera aserrada es para compensar el volumen que se pierde por la variación de corte, así como por el cepillado y por las contracciones que se presentan al momento de secarse la madera (Zavala & Hernández, 2000).

Objetivos

El objetivo del presente trabajo fue analizar el efecto del diámetro, la calidad de la trocería y la calidad, tanto visual como dimensional de la madera aserrada, en el

coeficiente de aserrío, mediante el estudio de sus rendimientos y la variación de corte del proceso. Todo ello con el propósito de estimar la dimensión óptima de corte que garantice la mayor cantidad de producto de acuerdo con las dimensiones nominales, así como obtener la disponibilidad de madera aserrada de una cierta calidad, con el fin de hacer posible una mejor toma de decisiones en cuanto a la planeación y comercialización de este producto maderable.

3.4 Materiales y métodos

En el proceso de realización del objetivo del presente trabajo, los aspectos estudiados comprenden: selección de la unidad de estudio, características de los aserraderos, evaluación del proceso de aserrío, determinación del tamaño de muestra, clasificación de trocería, cubicación de trocería, cubicación de las piezas aserradas, determinación del coeficiente de aserrío, evaluación de la calidad de la madera aserrada (incluyendo: calidad visual con la clasificación de la madera aserrada y calidad dimensional), determinación de la variación de corte en el proceso de aserrío, cálculo de la dimensión óptima de corte y el análisis estadístico.

Selección de la unidad de estudio

La investigación se efectuó en tres aserraderos de régimen privado, los cuales poseen características similares en cuanto a sistema de asierre, capacidad de producción, materia prima, productos finales y nivel tecnológico. En la figura 2, se muestra la ubicación de los objetos de estudio, estos aserraderos operan en el sureste del estado de Hidalgo y se encuentran dentro del área referida como “Unidad de Manejo Forestal Pachuca-Tulancingo”, compuesta por 28 municipios, zona que se caracteriza por concentrar la mayor cantidad de industrias de aserrío en el estado (Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales del Estado de Hidalgo [SEMARNATH], 2008). Los tres aserraderos estudiados son: “MADECOM”, “Ahuacuitl” y “Cuautepec”.

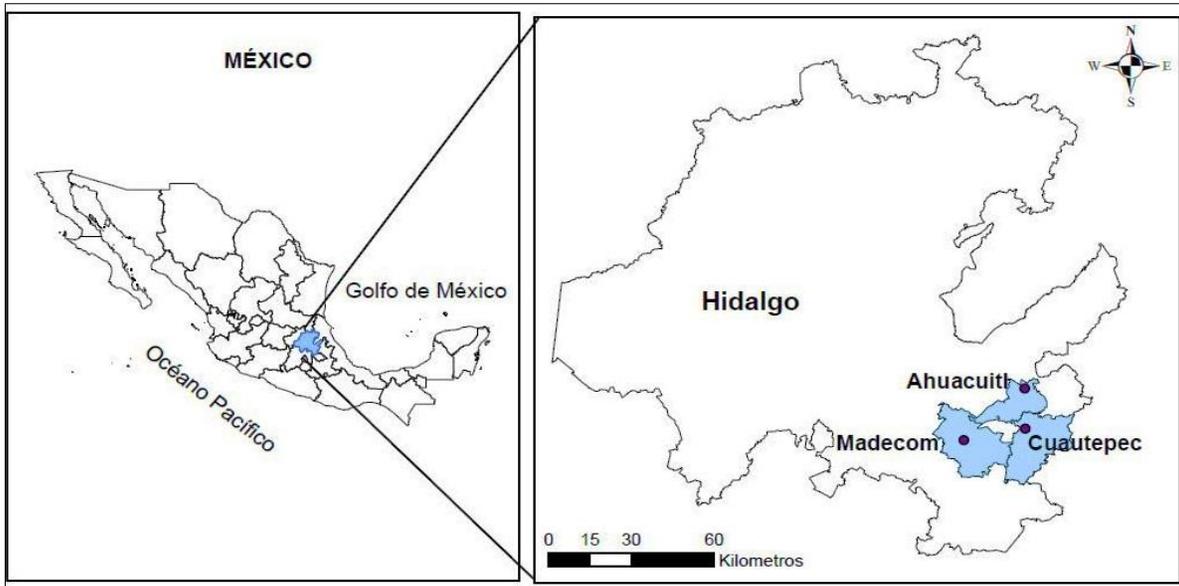


Figura 2. Ubicación estatal de los aserraderos estudiados.

Fuente: INEGI, 2019. <https://www.inegi.org.mx/>.

Características de los aserraderos

Los tres aserraderos usan un sistema de alimentación manual, cuentan con un carro portatrozas de tres escuadras, tienen una capacidad instalada de 4000 pies tabla por turno, y se dedican, principalmente, a la producción de madera aserrada de pino de largas dimensiones. La georeferenciación de las industrias se hizo con GPS.

El primer aserradero “MADECOM (MAD)” está situado en el municipio de Singuilucan, ubicado geográficamente entre los paralelos 19° 59’ 51’’ de latitud Norte y 98° 31’ 02’’ de longitud Oeste. El carro y la torre principal son de marca SIMSA, la torre tiene un diámetro de volante de 1.10 m, con un motor impulsor de 30 HP, y la sierra banda es de 10 cm de ancho de calibre 19.

El segundo aserradero llamado “Ahuacuitl (AHU)”, pertenece al municipio de Tulancingo de Bravo, ubicado en las coordenadas 20° 10’ 33’’ latitud Norte y 98° 19’ 08’’ longitud Oeste. Este aserradero se dedica, también, a la producción de tarimas. La torre principal es “hechiza”, con diámetro de volantes de 94 cm, motor

impulsor de 30 HP, los calibres de la sierra son de 18 y 19. El carro también es hechizo.

El tercer aserradero conocido como “Cuautepec (CUA)” se encuentra en el municipio de Cuautepec de Hinojosa, en las coordenadas 20° 09´ 10´´ latitud Norte y 98° 26´ 00´´ longitud Oeste. También, se dedica a la producción de tarimas. El carro portatrazas y la torre principal son “hechizos”, la torre tiene un diámetro de volantes de 1.05 m, con un motor impulsor de 35 HP, la sierra banda es de calibre 19.

Evaluación del proceso de aserrío

Para realizar el presente estudio se utilizó trocería de pino de largas dimensiones, siendo *Pinus patula* la especie más representativa. Con el fin de determinar las dimensiones de la trocería y madera aserrada se empleó un flexómetro y vernier; los datos se levantaron en formatos prediseñados.

Determinación del tamaño de muestra

Para calcular el tamaño de muestra, se llevó a cabo en cada aserradero un muestreo previo con treinta trozas, así se obtuvo la variación del volumen de las trozas, la variación de la madera aserrada y la variación del coeficiente de aserrío en cada uno. Con base en estos datos se aplicó la siguiente ecuación, considerando un 95% de confiabilidad (Husch, 2003):

$$n = \frac{(t^2 * s^2)}{E^2}$$

Donde:

n = tamaño de la muestra

t² = valor apropiado del estadístico t

s² = varianza de la población

E² = error permitido

Clasificación de trocería

Se generó una guía más visual de acuerdo a la NMX-C-359-1988, con el propósito de facilitar el proceso de clasificación de la materia prima. En ésta se consideraron seis calidades (Fig. 3).

Calidad \ Característica	Alta calidad	Primera	Segunda	Tercera	Cuarta	Quinta
Longitud mínima	2.44 m.					
Forma de la sección						
Excentricidad		< 5 cm		< 7.5 cm		X
Decoloración		< 10 cm				X
Abultamientos						
Ataque de insectos			Ligeramente			X
Resinación					X	X
<p>Simbología:</p> <p>Forma de la sección: Casi circular = Ligeramente oval = Oval = </p> <p>Fuego (10% de la superficie de la troza) = </p> <p>Pudrición (5 cm de diámetro) = </p> <p>Resinación (Calada de 2.5 x 10 x 25 cm en la troza) = </p> <p>Abultamiento (Abultamiento menor a 5 cm) = </p> <p>Nudos: < 2.5 cm de diámetro = < 5 cm de diámetro = </p> <p>Rajaduras: < 2.5x 2.5 x 25 cm = < 5 x 5 x 50 cm = </p> <p>No importa = X</p>						

Figura 3. Guía para clasificar la trocería.

Fuente: Elaboración en conjunto con el Dr. Roberto Machuca Velasco (2019), con base en la NMX-C-359-1988.

Cubicación de trocería

La trocería, tanto para el muestreo como para el tamaño de muestra se marcó para su identificación, y se midió el largo y el diámetro con y sin corteza. Para ello se empleó la fórmula de Smalian (Ortiz et al., 2015).

$$V = \left[\pi/4 \frac{(DM^2 + Dm^2)}{2} * L \right]$$

Donde:

V = Volumen de la troza (m³)

DM = Diámetro mayor (m)

Dm = Diámetro menor (m)

L = Longitud de la troza (m)

Cubicación de las piezas aserradas

Cada pieza obtenida en el proceso de aserrío se cubicó con base en la siguiente fórmula:

$$V_a = (g) (a) (l)$$

Donde:

V_a = Volumen de la pieza aserrada (m³)

g = Grueso de la pieza aserrada (m)

a = Ancho de la pieza aserrada (m)

l = Longitud de la pieza aserrada (m)

Determinación del coeficiente de aserrío

El rendimiento en porcentaje, se determinó a través de la siguiente expresión (Nájera, 2006);

$$CA = \frac{V_{ma}}{V_{mr}} * 100$$

Donde:

CA = Coeficiente de asierre (%)

V_{ma} = Volumen de madera aserrada (m^3)

V_{mr} = Volumen de madera en rollo (m^3)

Evaluación de la calidad de la madera aserrada

Para evaluar la calidad de la madera aserrada, se consideró tanto la calidad visual como la calidad dimensional. En cuanto a su calidad visual, la clasificación se basó en la norma establecida para tabla y tablonés, NOM-C-18-1986, de la que se tomaron seis calidades: A, B, C, D, E y F (Fig. 4).

Defecto		Calidad					Grado F (Desecho)
		Grado A (Selecta)	Grado B (Primera)	Grado C (Segunda)	Grado D (Tercera)	Grado E (Cuarta)	
Aserrado		Uniforme	x	x	x	x	> Grado E
Alabeos		-	-	-	-	-	
Torceduras (longitudinal)		-	-	Ligeras	$\leq 25\text{mm}$	$\leq 38\text{mm}$	
Torceduras (transversal)		-	-	Ligeras	$\leq 12\text{mm}$.	$\leq 19\text{mm}$	
Nudos (Diámetro)	Cara 1	-	-	$\leq 38\text{ mm}$ (o suma de sus diámetros por una cara)	Todo tipo de nudos (vivos) y máximo uno de 38mm en cada sección/ 91cm.	Todo tipo de nudos (vivos) y máximo uno de 38mm en cada sección/ 61cm.	
	Cara 2	-	$\leq 19\text{ mm}/ 1.22\text{ m}$				
Manchas (superficie de la tabla)		-	$\leq 20\%$	Manchas azulosas, tenues, en las caras.	Manchas o cambios de color.	Manchas o cambios de color	
Grietas	Caras (ancho, profundidad, longitud)	-	-	$\leq 3\text{ mm} \times 3\text{ mm} \times 30\text{ cm}$	$\leq 6\text{ mm} \times 6\text{ mm} \times 60\text{ cm}$	$\leq 9\text{ mm} \times 9\text{ mm} \times 90\text{ cm}$	
	Cabezas (ancho, longitud)	1 mm x 13 mm	-	$\leq 4\text{ mm} \times 20\text{ cm}$.	$\leq 8\text{ mm} \times 40\text{ cm}$	$\leq 12\text{mm} \times 60\text{cm}$	
Putrefacción (anchura, longitud)		-	-	-	$\leq 1/6 \times 1/8$	$\leq 1/4 \times 1/6$	
Ataque de insectos (Agujeros o picaduras de insectos)		-	-	Diámetro $\leq 3\text{ mm}$, máximo 8 picaduras en piezas de 30 cm x 2.44 m	Diámetro $\leq 6\text{ mm}$, pero que no traspasen de lado a lado.	Agujeros y picaduras de insectos.	

Manchas de resina (por cara)	-	-	≤25 mm x 30.5 cm	Hasta un 33% del total de la superficie	Hasta 80% del total de la superficie	
Bolsa de resina (ancho, longitud)	-	-	≤25 mm x 30.5 cm	≤20mm x 25cm	≤30 mm x 50 cm	
Hilo	Recto	Recto	Se admite hilo encontrado	Se admite hilo encontrado	Se admite hilo encontrado	> Grado E

Figura 4. Guía para clasificar la madera aserrada

Fuente: Elaboración en conjunto con el Dr. Roberto Machuca Velasco (2019), con base en la NOM-C-18-1986.

En cuanto a la evaluación de la calidad dimensional se tomó una muestra de 100 piezas al azar, para cada uno de los dos productos por evaluar: ½” y ¾” de espesor; esto se hizo en cada uno de los aserraderos, lo que dio un total de 500 tablas. La medición individual de las piezas se realizó con base en el seguimiento del método de Puntos Múltiples (Brown, 1986), de donde se tomaron seis mediciones en espesor (tres en cada canto), tres mediciones en ancho equidistantes a lo largo de las piezas y una medición en largo.

Determinación de la variación de corte en espesor del proceso de aserrío

La variación se determinó para dos espesores de madera aserrada: ½” (13 mm) y ¾” (19.02 mm), para ello se utilizaron las siguientes fórmulas (Ortiz, 2015):

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n}$$

$$\bar{\bar{x}} = \frac{\bar{x}_1 + \bar{x}_2 + \dots + \bar{x}_m}{m}$$

$$S^2 = \frac{\sum x^2 - \frac{(\sum x)^2}{n}}{n - 1}$$

$$\bar{S}^2 = \frac{S_1^2 + S_2^2 + \dots + S_m^2}{m}$$

$$S(\bar{x})^2 = \frac{\sum \bar{x}^2 - \frac{(\sum \bar{x})^2}{m}}{m - 1}$$

$$S_w = \sqrt{\bar{S}^2}$$

$$S_b = \sqrt{S(\bar{x})^2 - \frac{(S_w)^2}{n}}$$

$$S_t = \sqrt{(S_w)^2 + (S_b)^2}$$

Donde:

n = Número de mediciones en cada tabla

m = Número total de tablas muestreadas

\bar{x} = Media del espesor en cada tabla

$\bar{\bar{x}}$ = Media total (media de medias del espesor)

S^2 = Varianza de las mediciones en cada tabla

\bar{S}^2 = Promedio de las varianzas de todas las tablas

$S(\bar{x})^2$ = Varianza de la media de los espesores de las tablas

S_w = Desviación estándar dentro de las tablas

S_b = Desviación estándar entre tablas

S_t = Desviación estándar del proceso o variación del aserrío

Cálculo de la dimensión óptima de corte

Para la determinación de la dimensión óptima de corte, se utilizó la siguiente fórmula (Álvarez et al., 2004):

$$D_o = \frac{(D_f + R_c)}{1 - C\%} + (Z * S_t)$$

Donde:

D_o = Dimensión óptima de corte en madera verde

D_f = Dimensión final

R_c = Refuerzo por cepillado (ambas caras de la tabla)

$C_{\%}$ = refuerzo por contracciones $(30\% - \% CH_F / 30) * \% \text{ de contracción}$

Z = factor de dimensión mínima aceptable ($Z=1.65$, $\alpha=0.05$)

S_t = desviación estándar del proceso

Para la contracción tangencial se consideró un valor de 9.69% (Fuentes, 1998), y para el CH_F (Porcentaje de contenido de humedad final) un 12%, ya que el secado se hace al aire libre.

Análisis estadístico

Para el análisis estadístico se empleó la regresión lineal con las variables: a) volumen de madera aserrada por categoría diamétrica, b) por calidad de trocería, y c) por calidad de madera aserrada; todo esto con el propósito de describir su relación con el rendimiento.

También, se llevó a cabo un análisis de varianza y una comparación de medias usando pruebas de rangos múltiples de Duncan, para ver los efectos de las variables de interés. El procesamiento de los datos se efectuó con el programa "SAS (Statistical Analysis System)" versión 9.0; los gráficos se hicieron con el creador de diagramas en línea "ChartGo".

3.5 Resultados

Con la investigación realizada y después de considerar los materiales y métodos empleados, a continuación, se presentan los resultados organizados en el siguiente orden: tamaño de muestra, coeficiente de aserrío, calidad y categoría diamétrica de las trozas, calidad de la madera aserrada, rendimiento de calidad por trocería, rendimiento por calidad de madera aserrada (tanto visual como dimensional), variación de corte en espesor y dimensión óptima de corte.

Tamaño de muestra

En cada aserradero, se calculó la varianza del volumen (S^2_{volumen}), la media del coeficiente de aserrío (\bar{x}_{Ca}), el error de la media del coeficiente de aserrío (E_{Ca}), el tamaño de muestra (n) y el tamaño estudiado (N). En total para este estudio se evaluaron 300 trozas; 100 trozas para cada aserradero mismas que fueron seleccionadas completamente al azar. Los datos obtenidos se muestran en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Tamaño de muestra.

Parámetro	Aserradero		
	MAD	AHU	CUA
S^2_{volumen}	0.01352	0.01922	0.01869
\bar{x}_{Ca}	0.517	0.569	0.605
E_{Ca}	0.0258	0.0285	0.0303
n	79	91	78
N	100	100	100

Varianza del volumen = S^2_{volumen} ; Media del coeficiente de aserrío = \bar{x}_{Ca} ; Error de la media del coeficiente de aserrío = E_{Ca} ; Tamaño de muestra = n ; Tamaño estudiado = N .

Fuente: Elaboración propia con base en datos obtenidos a partir del estudio de pre-muestreo.

Los resultados muestran que el aserradero AHU tuvo la mayor varianza de volumen, lo que implicó un tamaño de muestra mayor, de tal manera que este aserradero en comparación con los otros dos tiene mayor variedad en cuanto a diámetros.

Coefficiente de aserrío

Los rendimientos con y sin corteza del aserradero MAD están alrededor del 50% y 55% respectivamente, y de 55% y 65% para AHU y CUA. Se obtuvo un volumen total de 95.67 m³ con corteza, 106.24 m³ sin corteza y 54.65 m³ de madera aserrada, lo que se traduce en un rendimiento general del proceso con corteza de 51.4% y sin corteza de 57.1%, esto implica que se producen 242 pt (pies tabla) por cada metro cúbico de madera en rollo, o bien, que para obtener 1000 pt, se requieren de 4.13 m³ rollo en promedio. Además de que si se implementa el descortezado para la trocería, el coeficiente de aserrío aumentaría en un 5.7%.

Calidad y categoría diamétrica de las trozas

Al tomar en cuenta el sistema de clasificación ya mencionado en la metodología, y al hacer una asociación en donde la trocería de primera, segunda y tercera, cuarta y quinta, se consideraron de buena, media y baja calidad, respectivamente, se obtuvo que el 68% de las trozas pertenecieron a una calidad media, con predominio de la de tercera, el 27% baja y el 5% restante de buena calidad (Fig. 5), es decir, que la trocería procesada se caracterizó por tener una calidad aceptable. Cabe mencionar que no se presentó ninguna trocería de alta calidad, por lo que no se contempló en los resultados. La especie predominante fue *Pinus patula* con un 85% y el porcentaje restante englobó al *Pinus ayacahuite* y otras especies de pino.

Los diámetros de la trozas se agruparon en siete categorías, con un intervalo de 5 cm. El 60% de la trocería se concentró en un diámetro de 32.5 a 47.5 cm, con un diámetro promedio de 43.97 cm. Los porcentajes de la calidad y categoría diamétrica de la trocería aparecen en la figura 5.

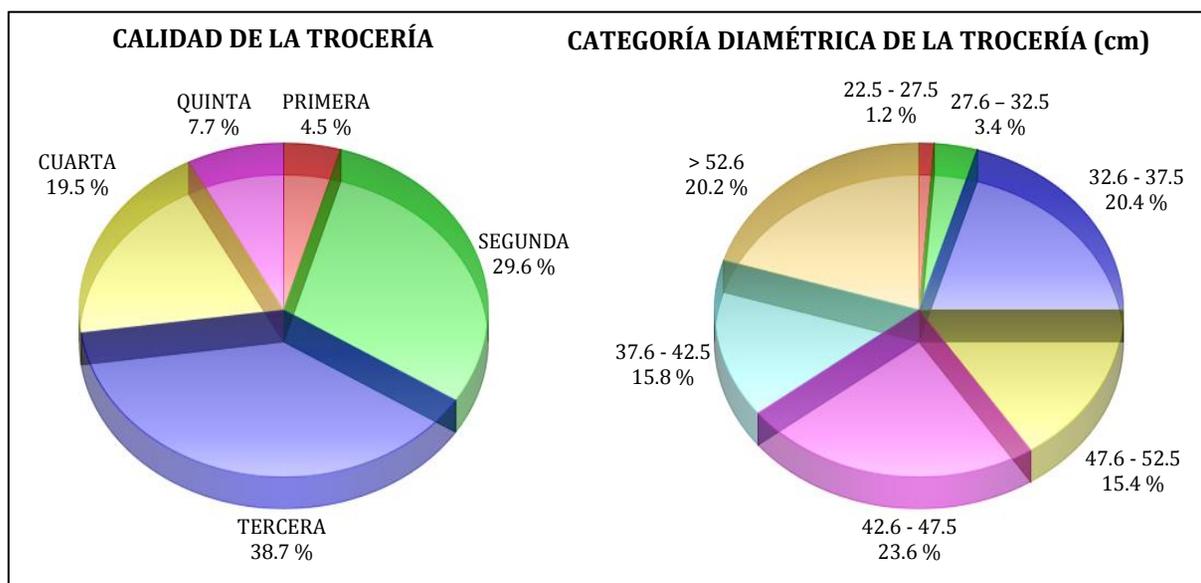


Figura 5. Proporción de calidades y categoría diamétrica de la trocería.

Fuente: Elaboración propia con base en datos obtenidos a partir del estudio de rendimiento, 2019.

Calidad de la madera aserrada

El 27.7% del rendimiento de madera aserrada sin corteza correspondió a las clases de: segunda (C), primera (B) y selecta (A), y el 29.4% a: tercera (D), cuarta (E) y desecho (F), de las cuales el grado D (tercera) fue la calidad más frecuente con el 16.2% (Fig. 6). Esto evidenció que aproximadamente el 50% de la madera aserrada que se obtuvo, perteneció a una calidad de segunda a selecta. Cabe notar también que el producto de $\frac{3}{4}$ " de espesor representó el 55.8% del total de las tablas producidas, seguido del producto de $\frac{1}{2}$ " con el 23.1% y de 1" con el 21.1%.

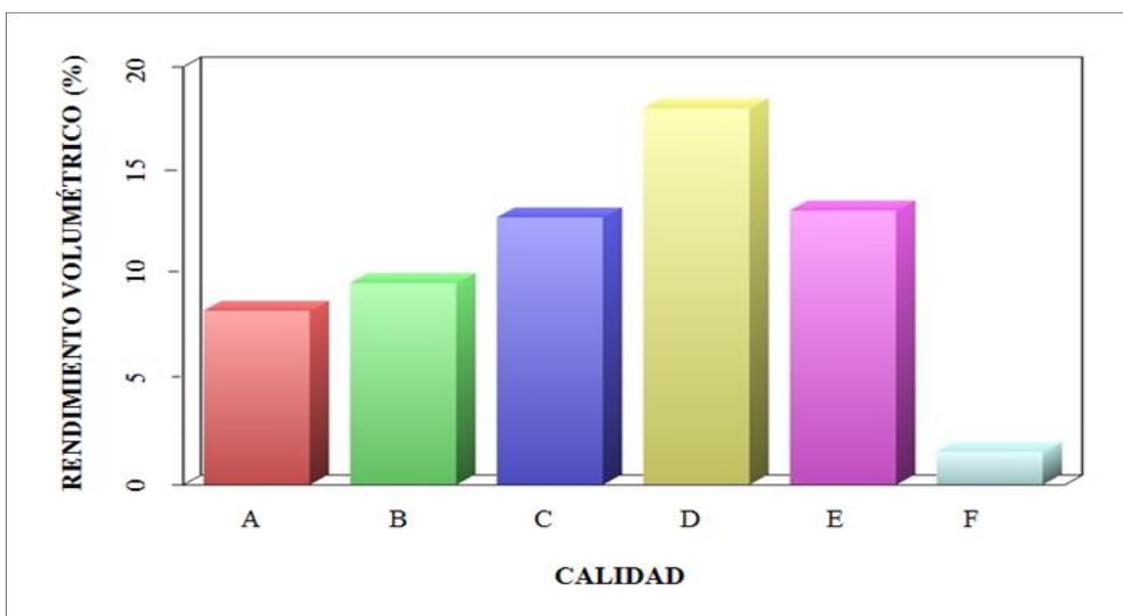


Figura 6. Rendimiento volumétrico de la madera aserrada por calidad.

Fuente: Elaboración propia con base en datos obtenidos a partir del estudio de rendimiento, 2019.

Rendimiento por calidad de trocería

Los rendimientos por calidad de trocería se determinaron al relacionar el volumen con y el de sin corteza, con la calidad del volumen de madera aserrada, esto tanto para el proceso general como para cada aserradero. La distribución de los rendimientos por calidad de trocería de los tres aserraderos se encontró concentrada de acuerdo a los datos de la figura 7, en ésta, se observa que el rendimiento de

MAD, claramente disminuye en relación con la calidad, situación que no resulta evidente en los otros dos aserraderos. Con la regresión lineal se obtuvo un p-valor de 0.0352 ($\alpha=0.05$), y un coeficiente de determinación (R^2) de 0.817, por lo que puede notarse que el 81.7% de los cambios en el rendimiento son provocados por la calidad de la trocería. Se concluye que el rendimiento total del proceso tuvo una relación directa decreciente con la calidad; conforme la calidad de la trocería disminuye, el rendimiento también lo hace.

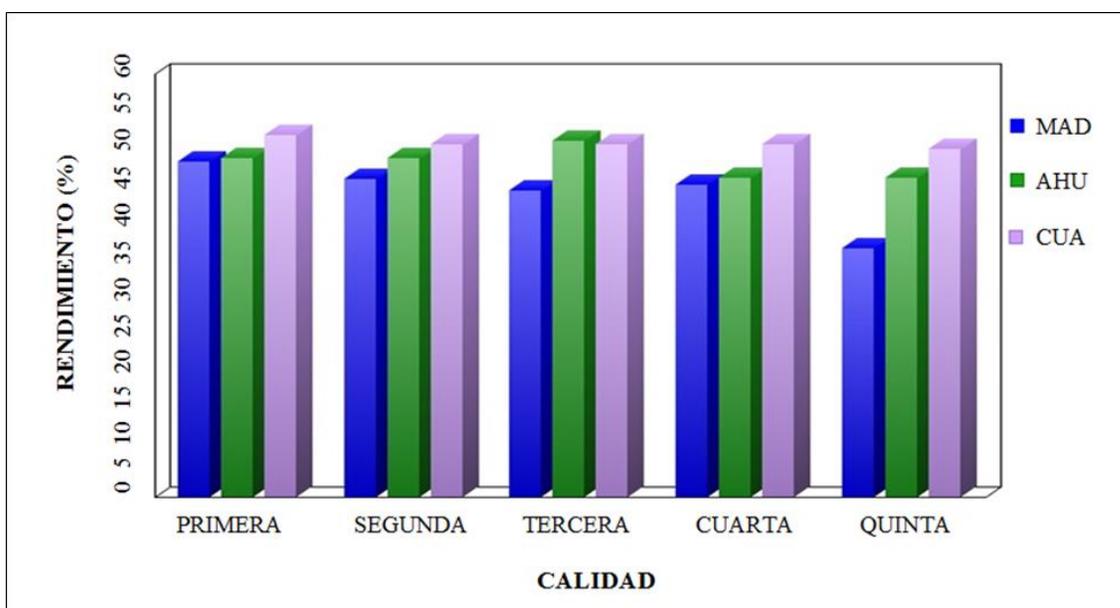


Figura 7. Rendimiento por calidad de la trocería en cada aserradero.

Fuente: Elaboración propia con base en datos obtenidos a partir del estudio de rendimiento, 2019.

En el análisis de varianza, se rechazó la hipótesis nula de igualdad de medias de los coeficientes de aserrío con corteza ($p= 0.0046$) y aserrío sin corteza ($p= 0.0025$), es decir, que existen diferencias significativas en los coeficientes de aserrío de las calidades, lo que refiere que la calidad de la trocería si afectó al rendimiento (Cuadro 2).

Cuadro 2. Rendimiento por calidad de trocería.

Variable	Calidad				
	PRIMERA	SEGUNDA	TERCERA	CUARTA	QUINTA
Dp _{Sc} (m)	36.27	39.44	40.29	38.01	39.10
Dp _{Cc} (m)	38.61	41.61	42.53	40.18	41.16
V _{Sc} (m ³)	4.310	30.341	37.001	16.674	7.346
V _{Cc} (m ³)	4.8567	33.6180	41.1044	18.5636	8.0978
V _{Ma} (m ³)	2.612	17.226	21.433	9.399	3.985
Ca _{Sc} (%)	60.69 a	57.51 b	57.86 b	56.82 cb	54.47 c
Ca _{Cc} (%)	53.24 a	51.46 ba	51.65 ba	50.63 bc	48.81 c

Dp_{Sc} = Diámetro promedio sin corteza; Dp_{Cc} = Diámetro promedio con corteza; V_{Sc} = Volumen sin corteza; V_{Cc} = Volumen con corteza; V_{Ma} = Volumen de madera aserrada.; Ca_{Sc} = Coeficiente de aserrío sin corteza; Ca_{Cc} = Coeficiente de aserrío con corteza; *Medias con la misma letra, no son significativamente diferentes Duncan (p ≤ 0.05). SAS 6.1.

Fuente: Elaboración propia con base en datos obtenidos a partir del estudio de rendimiento, 2019.

Con la prueba a posteriori se observó que el mayor rendimiento sin corteza, se obtuvo con trozas de primera calidad y el menor rendimiento con las de menor calidad, siendo éstas las más significativas.

Rendimiento por categoría diamétrica

Con el análisis de varianza, no se rechazó la hipótesis nula de igualdad de medias del coeficiente de aserrío con corteza (p=0.1938) y sin corteza (p= 0.0962), por lo que las medias de los coeficientes de aserrío de las categorías diamétricas no son estadísticamente diferentes, es decir, el diámetro no tuvo ningún efecto en el rendimiento; estadísticamente las medias de los rendimientos son iguales. De igual manera al realizar la regresión lineal se observó que el rendimiento no tuvo ninguna relación directa con el diámetro.

Rendimiento por calidad de madera aserrada

Para evaluar el rendimiento por calidad de madera aserrada, en esta investigación se consideró la calidad visual y la calidad dimensional de la misma.

En cuanto a la calidad visual, se tomó en cuenta el rendimiento y la cantidad de madera aserrada obtenida de cada una de las calidades de la trocería. En el Cuadro 3, se muestran los datos promedio obtenidos en los tres aserraderos, los cuales reflejan los coeficientes de aserrío (Ca) de las seis calidades de madera aserrada para las cinco calidades de la trocería. Como se mencionó anteriormente que la trocería de tercera fue la calidad con mayor participación, se tiene que por cada m³r (metro cúbico rollo) de esta calidad, se obtienen 245 pt (pies tabla) de madera aserrada, de los cuales: 1.4 pt son de clase selecta, 7 pt de primera, 46 pt de segunda, 73 pt de tercera, 99.4 pt de cuarta y 18.2 pt de quinta.

Cuadro 3. Rendimiento sin corteza por calidad de madera aserrada (%) para cada calidad de trocería.

Calidad de trocería	Coeficiente de aserrío por calidad de madera aserrada (%)						Ca (%)	pt/m ³ r
	A	B	C	D	E	F		
Primera	33.22	22.15	5.54	0.00	0.00	0.00	60.91	258
Segunda	11.87	18.26	14.61	10.95	1.83	0.00	57.51	244
Tercera	0.33	1.65	10.91	17.19	23.47	4.30	57.86	245
Cuarta	0.00	0.65	12.59	16.14	19.37	8.07	56.82	240
Quinta	0.00	0.00	2.27	9.08	15.89	27.24	54.47	231

Ca= Coeficiente de aserrío, pt= pie tabla, m³r= metro cubico rollo.

Fuente: Elaboración propia con base en datos obtenidos a partir del estudio de rendimiento.

Para la proyección de las ganancias que se obtendrían si se clasificará la madera aserrada en comparación con las obtenidas comúnmente por venta al millrun (madera aserrada sin clasificar), así como clasificar la trocería. Se partió de las seis calidades ya mencionadas y éstas se agruparon en tres calidades; alta (A y B), media (C y D) y baja (E y F), de acuerdo con la forma de clasificado que algunos aserraderos manejan. Los precios de venta promedio para el año en curso (2019) fueron de \$17.00, \$15.00 y \$11.00 respectivamente, y el millrun de \$13.00. En el Cuadro 4, se observó que sólo es recomendable clasificar la madera aserrada por calidades para las trozas de primera y segunda calidad, ya que se determinó el mayor incremento en las ganancias.

Cuadro 4. Madera aserrada (pt) por calidad de trocería.

Calidad de trocería	pt/m ³ r por calidad						Venta millrun (a)	Venta con clasificado (b)	Ganancia (b-a)
	A	B	C	D	E	F			
	Alta		Mediana		Baja				
Primera	140.7	93.8	23.4	0.0	0.00	0.00	\$3 354.00	\$4 339.09	\$985.09
Segunda	50.3	77.5	61.9	46.5	7.75	0.00	\$3 172.00	\$3 884.63	\$712.63
Tercera	1.40	7.00	46.2	72.8	99.40	18.20	\$3 185.00	\$3 221.40	\$36.40
Cuarta	0.00	2.7	53.2	68.2	81.82	34.09	\$3 120.00	\$3 141.82	\$21.82
Quinta	0.00	0.0	9.6	38.5	67.38	115.5	\$3 003.00	\$2 733.50	-\$269.50

pt= pie tabla, m³r= metro cubico rollo.

Fuente: Elaboración propia con base en datos obtenidos a partir del estudio de rendimiento.

Por lo que resulta necesario, en cuanto a la calidad visual separar únicamente la trocería de primera y segunda dentro del patio de trocería. Esto porque pese a que la trocería de tercera aunque fue la que predominó con un 38.7% de participación, al compararla en conjunto con la trocería de primera y segunda, éstas representaron el 34.1% de la trocería, por lo que solo en un 4.6% es mayor la participación de la trocería de tercera y que al comparar las ganancias no es suficiente este porcentaje de participación, ya que en promedio la trocería de segunda y primera generan \$812.5/m³rollo más que la trocería de tercera, lo que se traduce en un incremento del 25.8% en las ganancias, esto sin considerar los costos de operación.

En cuanto a la calidad dimensional de la madera aserrada, se consideró la variación de corte o variación de aserrío en espesor (S_t) y la dimensión optima de corte (D_o), para los dos espesores de 1" y ¾" (Dimensiones reales) que se evaluaron. En los tres aserraderos se asierra con un refuerzo de ¼", por lo que las dimensiones nominales son de ¾" (19.05 mm) y ½" (13 mm) respectivamente; estos datos aparecen en los cuadros 5 y 6.

En el Cuadro 5 se puede observar que la variación de corte para el espesor de ¾" en el aserradero MAD fue de 0.869 mm, dicha variación indica una buena calidad dimensional, sin embargo, para los aserraderos AHU y CUA la variación fue alta;

1.348 mm y 1.541 mm respectivamente, porque se pierde más de un milímetro en el proceso. En cuanto a la variación dentro de las tablas (S_w) y la variación entre tablas (S_b) para este espesor, se observa que en el aserradero CUA posiblemente se tenga alguna problemática relacionada con el manejo del sistema de alimentación, o el sistema de asierre o en cuanto a las decisiones del aserrador.

En cuanto al espesor óptimo (D_o) y la media total (\bar{x}) en cada aserradero se observó que en los tres existe un sobredimensionado, es decir, que se están obteniendo productos con medidas por arriba de las medidas nominales que comúnmente se comercializan, y por lo tanto el refuerzo de $\frac{1}{4}$ " (6 mm) que actualmente se le da a las piezas aserradas se puede reducir. Para MAD se recomienda que éste se disminuya en dimensiones reales 1.46 mm, para el caso de AHU en 1.78 mm y en CUA de 0.85 mm, esto considerando la variación del proceso. Lo que traería como consecuencia un aumento del volumen de madera aserrada y por lo tanto una mejora en la productividad de los aserraderos. Además esto se puede lograr si, se disminuye la variación de corte del proceso, mediante acciones correctivas en la maquinaria o en el aserrado (Cuadro 5).

Cuadro 5. Variación del proceso de aserrío y estimación óptima de corte para el producto de $\frac{3}{4}$ " (19.05 mm) de espesor.

Aserradero	\bar{x} (mm)	S_w (mm)	S_b (mm)	S_t (mm)	D_o (mm)	$D_o - \bar{x}$ (mm)
MAD	25.24	0.683	0.670	0.869	23.78	-1.46
AHU	26.31	0.549	1.390	1.348	24.53	-1.78
CUA	25.74	1.093	0.881	1.541	24.89	-0.85

\bar{x} = Media total, S_w = Desviación estándar del grosor de las seis mediciones en cada una de las tablas, S_b = Desviación estándar entre tablas, S_t = Desviación estándar del proceso o variación del aserrío, D_o = Dimensión óptima de corte.

Fuente: Elaboración propia con base en datos obtenidos a partir del estudio de variación de corte.

Con respecto a las tablas de $\frac{1}{2}$ " de espesor, y que por lo regular se asierran bajo pedido o son los sobrantes, se obtuvo una variación en el proceso de aserrío de 0.850 mm en MAD, y de 1.580 en CUA, variación que se considera baja para el

primer aserradero y alta para el segundo. Aquí también se observó un sobredimensionado en las tablas, puesto que la dimensión óptima de corte para los aserraderos MAD y CUA fue de 17.00 mm y 18.48 mm, respectivamente. En comparativa es posible reducir el refuerzo en mayor medida al que se da para las tablas de $\frac{3}{4}$ ", porque para MAD se puede disminuir en 2.98 mm y para CUA en 3.05 mm. (Cuadro 6).

Cuadro 6. Variación del proceso de aserrío y estimación óptima de corte para el producto de $\frac{1}{2}$ " (13 mm) de espesor.

Aserradero	\bar{x} (mm)	S_w (mm)	S_b (mm)	S_t (mm)	D_o (mm)	$D_o - \bar{x}$ (mm)
MAD	19.98	0.520	0.812	0.850	17.00	-2.98
CUA	21.53	1.157	1.077	1.580	18.48	-3.05

\bar{x} = Media total, S_w = Desviación estándar del grosor de las seis mediciones en cada una de las tablas, S_b = Desviación estándar entre tablas, S_t = Desviación estándar del proceso o variación del aserrío, D_o = Dimensión óptima de corte.

Fuente: Elaboración propia con base en datos obtenidos a partir del estudio de variación de corte.

En promedio, en los aserraderos el refuerzo para los espesores de $\frac{3}{4}$ " y $\frac{1}{2}$ " se puede reducir en 1.36 mm y 3.015 mm, respectivamente.

3.6 Discusión

Los coeficientes con y sin corteza reportados en la presente investigación: 51.4% y 57.1%, fueron similares a los obtenidos por Zavala (1996) en trocería de pino para aserraderos banda en el estado de Durango, ya que se obtuvo un coeficiente de aserrío real que varió de 54.96% a 61.63%. De igual manera, los reportados por Orozco et al. (2016) para cuatro especies de pino, variaron de 43.18% a 52.48%. También el rendimiento sin corteza obtenido por Nájera et al. (2011) en aserraderos de la región de el Salto Durango, fue muy similar, el cual fue de 57.5%. Leyva et al. (2017) señalaron un rendimiento de madera aserrada para un aserradero fijo de 55.5 % ubicado en Cuba.

Por su parte, Ortiz et al. (2015) determinaron un coeficiente de 44.18% con corteza y 48.27% sin corteza para tres especies del género *Pinus* en un aserradero en Oaxaca; estos últimos en comparativo con los reportados aquí para ambos casos, fueron muy bajos. Vale considerar que el coeficiente de aserrío obtenido por Nájera et al. (2012b) para dos aserraderos privados ubicados en El Salto, Durango, fue alto en comparación con el obtenido en este estudio, puesto que fue de 61.64%, esto sucede por la falta de disponibilidad de materia prima.

El efecto del diámetro en el rendimiento del proceso obtenido en esta investigación coincidió con lo reportado por Zavala & Hernández (2000) para trocería de pino en San Pedro el Alto, Oaxaca, al igual que lo señalado por Nájera et al. (2011a), y Nájera et al. (2012b), quienes determinaron que el rendimiento no estuvo en función del diámetro, es decir que el coeficiente de aserrío no tuvo ninguna tendencia directa con el diámetro. Cabe señalar que, en los estudios de Ortiz et al. (2015) y Leyva et al. (2017) se encontró que el rendimiento si tuvo una relación directamente creciente con el incremento del diámetro. De igual forma Álvarez et al. (2004) concluyeron que el diámetro de las trozas fue un factor de gran influencia en el rendimiento de madera aserrada, ya que existe una relación lineal entre estas dos variables. Lo que significa que la variable diámetro no es un factor determinante en el coeficiente de aserrío ya que se muestran resultados divididos.

En la presente investigación se observó que existe una relación de incremento del rendimiento con la calidad de la trocería, lo que coincidió con lo reportado por Zavala (1996), quien concluyó que en efecto el coeficiente de aprovechamiento fue directamente creciente con la calidad de la trocería. Por otra parte, Zavala & Hernández (2000) encontraron que la calidad de la trocería no influyó en el coeficiente de aserrío, porque no se observó una relación de dependencia. Esta variable, al igual que la de diámetro, no resultó ser determinante en el rendimiento. Lo anterior evidencia que ambas variables son inherentes a la propia madera, y que no pueden modificarse una vez ingresan al patio de trocería; también, significa que, no impactan como las relacionadas con el momento de aserrar la trocería, situación

que recae directamente en la decisión adoptada por el aserrador; de igual manera, tienen que ver con la maquinaria y equipo, como lo mostró el trabajo de Nájera et al. (2012a) al evaluar acciones correctivas en las que se reporta una disminución considerable en la variación de corte.

Lo resultados evidenciaron un sobredimensionado en la madera aserrada con relación a la dimensión óptima de corte en ambos espesores evaluados. Éste resultado contrastó con lo obtenido por Álvarez et al. (2007) para la mayoría de los aserraderos ubicados en la República de Cuba y en los aserraderos evaluados por Nájera et al. (2011b y 2012a), quienes reportaron un subdimensionado en la madera aserrada, lo que se traduce en piezas que se asierran a un grosor inferior con respecto a lo planteado en las especificaciones comerciales.

Nájera et al. (2011a) determinaron en un estudio realizado en cinco aserraderos ubicados en el estado de Durango, las desviaciones estándar del proceso para madera aserrada de pino, con un grosor nominal de 7/8" (22.22 mm) las cuales fueron: 1.54 mm, 1.36 mm, 1.73 mm, 1.30 mm y 1.34 mm en los aserraderos La Victoria, San Pablo, El Brillante, Bogli y Langer, respectivamente. De igual manera, para el mismo grosor nominal Nájera et al. (2012a), obtuvo una desviación estándar del proceso de 2.03 mm para el aserradero del ejido La Victoria, 1.96 mm para el aserradero El Diamante, y 1.58 mm para el aserradero Langer, estos valores en comparación con los reportados en el presente estudio y que fueron de 0.869 mm en MAD, 1.348 mm en AHU y 1.541 mm en CUA son más altos, lo que indica una mayor variación en el proceso. Por otra parte Ortiz et al. (2015) obtuvieron una desviación estándar total del proceso de 1.05 mm para tablas con grosor nominal de 3/4", el cual es un valor muy cercano al encontrado en este estudio para el mismo espesor. Estos datos fueron también muy similares a los obtenidos por Ambriz et al. (2018) para el género *Pinus* spp., ya que la variación del proceso fue de 1.43 mm para tablas del mismo espesor.

Leyva et al. (2017) en aserraderos de la República de Cuba, para el surtido de 25 mm determinaron una desviación total del proceso de 1.96 mm, siendo éste valor más alto en comparación al aquí reportado (0.869-1.541 mm) para el espesor de $\frac{3}{4}$ ". De la misma manera los obtenidos en cuatro aserraderos por Álvarez et al. (2004) para espesores de 13 mm, que variaron de 1.89-2.90 mm en comparación con los que se determinaron en este estudio son más altos.

La determinación de un mayor porcentaje de madera aserrada de mejor calidad, con respecto a la calidad de la trocería, permitiría conocer desde un principio la disponibilidad real de madera aserrada, lo que posibilitaría planear la producción; además, si a esto se le aunara el seleccionar y apartar la trocería de primera y segunda calidad, se estaría sentado las bases para un mejor aprovechamiento.

3.7 Conclusiones

Con base al objetivo planteado en el presente trabajo se concluye que las variables diámetro y calidad de la trocería, podrían analizarse en futuros estudios no como agentes causales de un bajo coeficiente de aserrío, sino como elementos que permiten aumentar las ganancias del aserradero si se posicionan en los escenarios adecuados. Es decir, que si se clasifican y separan las trozas de calidad, la toma de decisión por parte del aserrador resulta más acertada, puesto que sabe la importancia y el impacto que ésta tendrá en las ganancias, y así hará una selección del método de asierre más adecuado que garantice el máximo aprovechamiento de dicha troza, además de que el trabajar bajo pedido resultaría más eficiente, puesto que conociendo la disponibilidad de la madera aserrada de una cierta clase proveniente de una determinada calidad de trocería, permitiría aserrar la trocería sin necesidad de estar alternando los métodos o diagramas de corte y por ende las decisiones del aserrador, que varían por la falta de control de las calidades de la materia prima al momento se aserrar. Esto implica que se podría establecer una planeación de la producción más viable puesto que con la clasificación de la madera aserrada se tiene un mayor control de la misma, además de que garantiza que las

existencias de madera de clase no decaigan en cuanto a calidad, porque al conocer ésta disponibilidad de madera aserrada por clase, permite comercializar primero las disponibles sin arriesgarse a que la madera pierda calidad por desconocer su existencia.

Para considerar la implementación de clasificado de la trocería, es primordial conocer la magnitud de la demanda de madera aserrada de clase, puesto que ésta debe compensar los costos de operación que traería con su ejecución. Si bien éste estudio de caso evidenció el incremento en las ganancias que se tendrían, resulta necesario para futuros trabajos realizar un estudio de mercado que revele la demanda real de madera aserrada de calidad que existe, para así conocer las ganancias reales.

La calidad dimensional es un factor que resulta necesario conocer, puesto que permite mejorar el coeficiente de aserrío en los aserraderos. Principalmente, es importante considerar la variación de corte en espesor, ya que si ésta es muy alta, es decir que el espesor no es homogéneo, éste se tiene que compensar dando a los productos un refuerzo, lo que se traduce en un mayor volumen para cada pieza aserrada, y por lo tanto esta variación representa un porcentaje de pérdidas para los aserraderos. Por lo que se concluye que si la variación de corte en espesor del proceso se reduce, el volumen que se pierde es menor y por ende el rendimiento aumenta. Para lograr esto es preciso atender los problemas que se producen en el sistema de alimentación y en la alineación con la sierra, así como las decisiones tomadas por el aserrador en la elección de los diagramas de corte o métodos de asierre. En los estudios de caso que se realizaron se obtuvo que la madera aserrada presenta sobredimensionado, es decir que excede la tolerancia necesaria para satisfacer las especificaciones del mercado, esto porque los aserraderos estudiados manejan un $\frac{1}{4}$ " de refuerzo.

3.8 Referencias

- Álvarez, L. D., Andrade, F. E. G., Quintín C., & Domínguez G. A. (2004). Importancia del control de las dimensiones de la madera aserrada. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 10(2), 105-110.
- Álvarez, L. D., Andrade, F. E., Quintín C., Domínguez, G. A., & Zoukareni, I. (2007). Control de calidad en los aserraderos. *Revista Ciencia Tecnología y Medio Ambiente*, 9(1), 1-10.
- Ambriz, E., Andrade, T.M.Y., & Sosa, V. H.M., (2018). Rendimiento volumétrico e importancia del control de calidad de madera aserrada de *Pinus* spp. *Revista Medio Ambiente y Desarrollo Sustentable*, 12(1).
- Barrera, J. M., Cuervo, S., Hernández J. T. & Rodríguez, J. Manual de buenas prácticas en aserraderos de comunidades forestales. (2010). Consejo Civil Mexicano para la Silvicultura Sostenible (CCMSS), RainForest Alliance & Reforestamos México. (1ª ed.), 23.
- Brown, T.D. (1986). Lumber size control. Special Publication No. 14, Forest Research Laboratory, Oregon State University, Corvallis, Oregon. 4.
- Comisión Nacional Forestal [CONAFOR]. (2014). *Estrategia nacional de manejo forestal sustentable para el incremento a la producción y productividad. México*. Recuperado de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/80220/PlaneacionENAIIPR_OS2013-2018.pdf.
- Coronel, M., Díaz, F., Cardona, G., & Ruiz, A. (2012). Tiempos, rendimientos y costos del aserrado de Algarrobo blanco (*Prosopis alba*) en Santiago del Estero, Argentina. *Quebracho - Revista de Ciencias Forestales*, 20 (1-2), 15-28.
- Fernando, E. A., Álvarez. L. D. A., & Estevez V. I., (2001). Factores fundamentales para aumentar el rendimiento volumétrico en los aserraderos de Cuba. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 2(2) 163-168.
- Flores-Velázquez, R., E. Serrano-Gálvez, V. H. Palacio-Muñoz & G. Chapela y Mendoza. (2007). Análisis de la industria de la madera aserrada en México. *Madera y Bosques*, 13(1). 47-59.
- Fuentes, S., M. (1998). Propiedades tecnológicas de las maderas de importancia en la construcción. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 4(1), 221-229.
- Husch, B., Beers, T., & Kershaw J.A. (2003). *Forest mensuration*. (4th ed). John Wiley & Sons. Inc, Hoboken, New Jersey.
- Leyva-Miguel, I., Rojas R. A., & Segurado-Gil, Y. (2017). Determinación del rendimiento y calidad dimensional de la madera aserrada en aserríos en la provincia de Guantánamo. *Revista Cubana de Ciencias Forestales*, 5(3), 340-351.

- Nájera, L. J.A., Rodríguez, R. I., Méndez, G. J., Graciano, L. J.J., Rosas, G. F. & Hernández, F. J. (2006). Evaluación de tres sistemas de asierre en *Quercus sideroxylo* Humb & Bompl del Salto, Durango. *Ra Ximhai*, 2(2), 497-513.
- Nájera, L. J.A., Aguirre, C. O.A., Treviño, G. E.J., Jiménez, P. J., Jurado, Y. E., Corral, R. J.J. & Vargas, L. B. (2011a). Tiempos y rendimientos del aserrío en la región de El Salto, Durango, México. *Revista Chapingo Serie ciencias forestales y del ambiente*, 17(2), 199-213. doi: 10.5154/r.rchscfa.2010.05.034
- Nájera L., J.A., O.A. Aguirre-Calderón, E.J. Treviño-Garza, J. Jiménez-Pérez, E. Jurado-Ybarra, J.J. Corral-Rivas & B. Vargas- Larreta. (2011b). Rendimiento volumétrico y calidad dimensional de la madera aserrada en aserraderos del Salto, Durango. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 2,77-91.
- Nájera L., J.A., J.T. Montañez R., J. Méndez G., J. Hernández F., B. Vargas L., F. Cruz C. & C.G. Aguirre C. (2012a). Evaluación de acciones correctivas tendientes a mejorar la calidad dimensional de la madera aserrada de *Pinus* spp en Durango, México. *Revista Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*, 54, 22-29.
- Nájera, L. J.A., Adame, V. G.H., Méndez, G. J., Vargas, L. B., Cruz, C. F., Hernández, F. J. & Aguirre, C. C.G. (2012b). Rendimiento de la madera aserrada en dos aserraderos privados de El Salto, Durango, México. *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*, 55, 11-23.
- Orozco, R. C., Hernández, D. J.C., Nájera, L. J.A., Domínguez, C. P.A., Goche, T. R., López, S. PM., & Corral, R. J.J. (2016). Rendimiento en calidad de la madera aserrada de pino. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 7 (36). 37-50.
- Ortiz B, R., Martínez, S., Vázquez R, D. & Juárez, W., (2015). Determinación del coeficiente y calidad de aserrío del género *Pinus* en la región sierra sur, Oaxaca, México. *Colombia Forestal*, 19 (1), 79-93. DOI: <http://dx.doi.org/10.14483/udistrital.jour.colomb.for.2016.1.a06>
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales de Hidalgo [SEMARNATH]. (2008). *Programa de Desarrollo Forestal del Estado Hidalgo*. Recuperado de <http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/12/4202Programa%20Estrat%C3%A9gico%20Forestal%20de%20Hidalgo.pdf>.
- Zavala Z., D. (1991). Manual para el establecimiento de un sistema de control de refuerzos en madera aserrada. Serie de apoyo No. 44. División de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 51.
- Zavala, Z. D. (1996). Coeficientes de aprovechamiento de trocería de pino en aserraderos banda. *Ciencia Forestal*, 21(79), 165-181.
- Zavala, Z. D., & Hernández, C. R. (2000). Análisis del rendimiento y utilidad del proceso de aserrío de trocería de pino. *Madera y Bosques*, 6(2), 41-55.

CAPÍTULO 4. CONCLUSIONES GENERALES

El trabajo evidenció que la principal problemática que presenta el sector, radica en aspectos relacionados con el desabasto de materia prima, así como la falta de capacitación tanto de la gerencia como de los operarios para mejorar la calidad del producto resultante, de tal forma que mejorar el proceso de producción y el nivel de productividad de la empresa, son aspectos que tienen que ver con la organización y planeación operativa del aserradero.

En este estudio, la calidad de la trocería tuvo una relación de incremento directa con el coeficiente de aserrío. Por lo tanto, se plantea la necesidad de diseñar e implementar una guía de clasificación de trocería, con base en ésta trabajar bajo un sistema de “mejor calidad, primeras salidas”, y no con el tradicional de “primeras entradas, primeras salidas”. Es decir, que la trocería de calidad debe ser la primera en aserrarse, con lo cual se podría evitar que las condiciones problemáticas o críticas que pueda presentar el aserradero tengan un efecto negativo en los rendimientos del aserradero, bajo el hecho de que menor calidad significa menor coeficiente, lo cual genera pérdidas para el aserradero, e incluso afecta la sostenibilidad del mismo en el mediano plazo.

Respecto a la variación del proceso de aserrío, es necesario implementar un control en el proceso tomando en cuenta la dimensión óptima de corte para cada aserradero, con el propósito de que solo el 5% de la producción quede por debajo de las dimensiones comerciales.

En los tres casos de estudio realizados se encontró que un factor que incide de forma determinante en los problemas que presenta su funcionamiento y operación es la falta de capacitación, por lo cual se hace necesario mejorar y capacitar a los dueños de los aserraderos en procesos de gestión financiera y para la mejora productiva.

LITERATURA CITADA

- Aldás, F. 2014. “*Rendimiento en el proceso de transformación de madera rolliza madera escuadrada de pino (Pinus radiata d .don), con dos tipos de aserradero, en la ciudad de Riobamba*”. Tesis para optar el título de Ingeniero Forestal, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Facultad de Recursos Naturales Escuela de ingeniería forestal, Riobamba, Ecuador.
- Álvarez L. D., Andrade F. E., G. Quintín C., & Domínguez, G. A. (2004). Importancia del control de las dimensiones de la madera aserrada. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 10(2), 105-110.
- Barrera, J.M., Cuervo, S., Hernández J.T. & Rodríguez, J. *Manual de buenas prácticas en aserraderos de comunidades forestales*. (2010). Consejo Civil Mexicano para la Silvicultura Sostenible (CCMSS), RainForest Alliance & Reforestamos México, (1ª ed). 23.
- Bertrand, L. & Prabhakar, M. (1990). Control de calidad. Teoría y aplicaciones. Editorial Díaz de Santos. Madrid.
- Besterfield, D. H. (2009). Control de Calidad (8va ed.). México: Pearson Educación.
- Brown, T.D. (2000). Lumber Size Control, Part 1: Measurement Methods. Oregon State University. Extension Service. 11.
- Brown, C. N. & Bethel, S. J. (1975). *La industria Maderera*. (Segunda impresión). Editorial Limusa, México.
- Canavos, G. (1988). *Probabilidad y estadística: Aplicaciones y métodos*. México: McGraw Hill.
- Chávez, A. (1997). Estudio de rendimiento, tiempos y movimientos en el aserrío. Manual práctico. Documento Técnico 62/1997, Proyecto Bolfor, Santa Cruz, Bolivia. Consultada en http://pdf.usaid.gov/pdf_docs/Pnacg715.pdf/.
- Eleotério, J. R., Storck, L. & S., Lopes. (1996). Caracterização de peças de madeira produzidas em serraria visando o controle de qualidade. *Revista Ciencia Florestal*, 6(1), 89-99.
- Fernando E., A., Álvarez. L. D. A., & Estevez V. I., (2001). Factores fundamentales para aumentar el rendimiento volumétrico en los aserraderos de Cuba, *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 2(2), 163-168.
- Flores-Velázquez, R., E. Serrano Gálvez, V. H. Palacio Muñoz y G. Chapela. (2007). Análisis de la industria de la madera aserrada en México. *Madera y Bosques*, 13(1). 48.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations [FAO]. (1991). Conservación de energía en las industrias mecánicas forestales. Consultado en <http://www.fao.org/docrep/T0269S/T0269S00.htm>.

- Food and Agriculture Organization of the United Nations [FAO]. (2015). Estadísticas de productos forestales. Consultada en <http://www.fao.org/forestry/statistics/80938@180723/es/>.
- García R., J.D., L. Morales q., y S. Valencia M. (2001). Coeficientes de aserrío para cuatro aserraderos banda en el Sur de Jalisco. Foresta-AN. Nota técnica No. 5. UAAAN, Saltillo, Coah. 12.
- Nájera L. J.A., Aguirre C. O.A., Treviño G. E.J., Jiménez P. J., Jurado Y. E., Corral R. J.J., & Vargas L. B., (2011). Tiempos y rendimientos del aserrío en la región de El Salto, Durango, México. Revista Chapingo. Serie ciencias forestales y del ambiente, 17(2), 199-213.
- Nájera L. J. A., Adame Villanueva G. H., Méndez González, J., Vargas Larreta B., Cruz Cobos, F., Hernández F.J. & Aguirre Calderón, C.G., (2012a). Rendimiento de la madera aserrada en dos aserraderos privados de El Salto, Durango, México. Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes. 55, 11-23.
- Nájera L., J.A., J.T. Montañez R., J. Méndez G., J. Hernández F., B. Vargas L., F. Cruz C. y C.G. Aguirre C. (2012b). Evaluación de acciones correctivas tendientes a mejorar la calidad dimensional de la madera aserrada de Pinus spp en Durango, México. Revista Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes, 54, 22-29.
- Ortiz B, R., Martínez, S., Vázquez R, D. & Juárez, W., (2015). Determinación del coeficiente y calidad de aserrío del género Pinus en la región sierra sur, Oaxaca, México. Colombia Forestal, 19 (1). 79-93.
- Quirós H. R. (1990). Optimización del proceso de aserrío en madera de cortas dimensiones en el Pacífico Seco. Tesis (Mag Sc). Turrialba, Costa Rica. 131.
- Sánchez R., L. (2004). *La industria de la madera*. División de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, México. pp. 11.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [SEMARNAT]. Anuario Estadístico de la Producción Forestal. (2015). Consultada en https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/181383/ANUARIO_FORESTAL_2015.pdf.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales de Hidalgo [SEMARNATH, 2008]. Programa De Desarrollo Forestal Del Estado Hidalgo. Consultada en <http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/12/4202Programa%20Estrat%C3%A9gico%20Forestal%20de%20Hidalgo.pdf>.
- Steele, S., Wagner, F. (1990). As model to estimate regional softwood sawmill conversion efficiency. Forest Products Journal. 4 (10). 29-34.
- Tuset, R. & Durán, F. 1979. Manual de maderas comerciales, equipos y procesos de utilización (aserrado, secado, preservación, descortezado, partículas). Ed. Hemisferio Sur. Montevideo. Uruguay.

- Walpole R., Myers R., Myers S. (1999). Probabilidad y Estadística para ingenieros. (6ta ed.). Pearson, Prentice Hall.
- Zamudio, S.E. (1986), Manual de la industria maderera, Dirección de Difusión Cultural de la UACH, México. 389.
- Zavala, Z., D. (1991). Manual para el establecimiento de un sistema de control de refuerzos en madera aserrada. Serie de apoyo No. 44. División de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 51.
- Zavala, Z. D. (1994). *Control de Calidad en la Industria de Aserrío y en repercusión Económica* INIFAP. División Forestal. México, D.F.
- Zavala, Z. D. (1996). Coeficientes de aprovechamiento de trocería de pino en aserraderos banda. *Ciencia Forestal*, 21(79), 165-181.
- Zavala, Z.D. 2003 Efecto del sistema de aserrío tradicional y radial en las características de la madera de encinos. *Madera y Bosques*. 9(2).29-3.