

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES



**EVALUACIÓN DEL PROCESO PRODUCTIVO
MADERABLE EN LA REGIÓN DE EL SALTO,
DURANGO, MÉXICO**

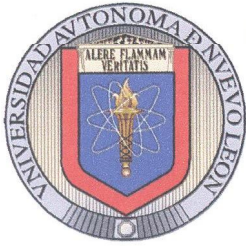
Por

JUAN ABEL NÁJERA LUNA

**Como requisito parcial para obtener el Grado de
DOCTOR EN CIENCIAS con Especialidad en Manejo de
Recursos Naturales**

Linares, N. L., México

Noviembre de 2010



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES

**EVALUACIÓN DEL PROCESO PRODUCTIVO MADERABLE EN LA
REGIÓN DE EL SALTO, DURANGO, MÉXICO**

TESIS

Para obtener el Grado de:

**DOCTOR EN CIENCIAS
CON ESPECIALIDAD EN MANEJO DE RECURSOS NATURALES**

PRESENTADA POR:

JUAN ABEL NAJERA LUNA

COMITÉ DE TESIS

Dr. Oscar Alberto Aguirre Calderón

DIRECTOR

Dr. Javier Jiménez Pérez

ASESOR

Dr. Enrique Jurado Ybarra

ASESOR

**Dr. Eduardo Javier Treviño
Garza**

ASESOR

Dr. José Javier Corral Rivas

ASESOR EXTERNO

Linares, N.L., México

Noviembre de 2010

AGRADECIMIENTOS

AL CONSEJO NACIONAL DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA (CONACYT), POR LA BECA OTORGADA PARA LA REALIZACIÓN DE MIS ESTUDIOS DE DOCTORADO.

A LA FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES DE LA UANL, POR LA FORMACIÓN PROFESIONAL QUE RECIBÍ POR EL EXCELENTE EQUIPO DOCENTE Y DE TRABAJO QUE LA CONFORMAN.

AL DR. OSCAR ALBERTO AGUIRRE CALDERÓN, POR LA ATINADA DIRECCIÓN DE ESTE TRABAJO, POR DEDICAR PARTE DE SU VALIOSO TIEMPO EN ACLARAR MIS DUDAS, POR LAS RECOMENDACIONES, POR SU CONFIANZA Y APOYO RECIBIDOS DURANTE EL TRANCURSO DEL DOCTORADO.

AGRADEZCO DE IGUAL FORMA AL DR. EDUARDO JAVIER TREVIÑO GARZA, SU GENTILEZA EN FORMAR PARTE DEL EQUIPO DE TRABAJO, SU VALIOSA ORIENTACIÓN FUE SIN DUDA PARTE ESENCIAL DEL ÉXITO DE ESTE TRABAJO.

AL DR. JAVIER JIMÉNEZ PÉREZ, POR SU BUENA DISPOSICIÓN EN FORMAR PARTE DEL CUERPO DE ASESORES, POR EL RESPALDO INSTITUCIONAL Y POR LA CONFIANZA DEPOSITADA EN MI PERSONA.

AL DR. ENRIQUE JURADO YBARRA, LE AGRADEZCO SU INCONDICIONAL Y CONSTANTE CONFIANZA ASÍ COMO SUS POSITIVOS COMENTARIOS HACIA EL TRABAJO REALIZADO POR UN SERVIDOR.

AL DR. JOSÉ JAVIER CORRAL RIVAS, POR ACEPTAR PARTICIPAR COMO ASESOR EXTERNO, POR LOS VALIOSOS COMENTARIOS QUE PERMITIERON MEJORAR EL TRABAJO.

A LA FUNDACIÓN PRODUCE DURANGO A.C, POR EL FINANCIAMIENTO AL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN 10-2007-0452 "EVALUACIÓN INTEGRAL DEL PROCESO PRODUCTIVO MADERABLE" DEL CUAL FORMA PARTE EL PRESENTE TRABAJO.

A LA DIRECCIÓN GENERAL DE EDUCACIÓN SUPERIOR TECNOLÓGICA (DGEST) DENTRO DEL PROGRAMA DE MEJORAMIENTO DEL PROFESORADO PROMEP-DGEST POR EL APOYO ECONÓMICO RECIBIDO PARA LA OBTENCIÓN DEL GRADO. DE IGUAL FORMA, POR EL FINANCIAMIENTO AL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN 566.07-P "EVALUACIÓN OPERACIONAL, BIOMÉTRICA Y AMBIENTAL DEL APROVECHAMIENTO FORESTAL EN LA REGIÓN DE EL SALTO, DURANGO" DEL CUAL FORMA PARTE EL PRESENTE ESTUDIO.

AL INSTITUTO TECNOLÓGICO DE EL SALTO (ITES) POR EL RESPALDO INSTITUCIONAL Y LAS FACILIDADES BRINDADAS PARA EL BUEN DESARROLLO DE MIS ESTUDIOS DOCTORALES.

A LOS INGENIEROS FORESTALES QUE ME APOYARON EN LAS ARDUAS JORNADAS DEL TRABAJO DE CAMPO: RICARDO DE LA CRUZ CARRERA, FAUSTO HERNÁNDEZ PADILLA, PEDRO GARCÍA RAMÍREZ, JORGE ABEL SÁNCHEZ MEDRANO, HERNÁN LUNA PÉREZ, JOSÉ TRINIDAD MONTAÑEZ RIVERA, FRANCISCO RÍOS RUIZ, ARIEL AGUIRRE MÉNDEZ, OLIVER GARCÍA VILLANUEVA, MIRYAM KARINA CAMPOS VEGA, JORGE CARMONA GONZÁLEZ, GABRIELA GARCÍA ESPINOZA, MARÍA EMMA MORENO VALDEZ, RUTILIO GILDARDO LÓPEZ CRUZ, ARTURO IVÁN SÁNCHEZ MARTÍNEZ, JORGE ANTONIO MUÑOZ MONTAÑEZ, NOEL ALEJANDRO RAMOS HERNÁNDEZ, RUTH REBECA GUTIÉRREZ CAMACHO Y FRANCISCO RODRÍGUEZ SERRANO.

A LAS DIRECTIVAS DE LOS EJIDOS: LA VICTORIA, EL BRILLANTE, SAN PABLO, LA CAMPANA Y A LOS DIRECTIVOS DEL CENTRO DE BACHILLERATO TECNOLÓGICO

FORESTAL No. 1 DE EL SALTO, DURANGO POR LAS FACILIDADES OTORGADAS PARA LA COLECTA DE INFORMACIÓN DE CAMPO EN LAS ÁREAS DE CORTA Y LOS ASERRADEROS, ESPERO QUE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN EL PRESENTE ESTUDIO LES SEAN DE UTILIDAD PARA MEJORAR LA CALIDAD Y EFICIENCIA DE SUS ACTIVIDADES PRODUCTIVAS.

A LA AGRUPACIÓN DE SILVICULTORES "REGIÓN DE EL SALTO" S.C EN LA PERSONA DE SU EX DIRIGENTE SEÑOR RAÚL BARRAZA ARMISTRONG Y DEL ACTUAL PRESIDENTE SEÑOR FRANCISCO DELGADO ALMONTE POR RESPALDAR LOS PROYECTOS DESARROLLADOS Y SER USUARIOS FINALES DE LOS RESULTADOS DE ESTE TRABAJO.

DESEO AGRADECER AL DR. JOSÉ CIRO HERNÁNDEZ DÍAZ POR COMPARTIRME SU AMPLIA EXPERIENCIA EN EL ÁREA DE ABASTECIMIENTO FORESTAL, SUS COMENTARIOS Y CONSEJOS FUERON FUNDAMENTALES PARA LLEVAR A FELIZ TÉRMINO ESTE TRABAJO.

DEDICATORIA

A DIOS, POR LAS BENDICIONES RECIBIDAS.

A MIS PADRES: CARLOS Y MARGARITA, POR SU EJEMPLO DE VIDA Y EL GRAN SACRIFICIO QUE REALIZARON PARA QUE YO TUVIERA UNA EDUCACIÓN.

A MIS HERMANOS: SOCORRO, CLEOTILDE, ENRIQUE, CARMEN, CECILIA Y RAYO, POR SU APOYO CONSTANTE Y AUNQUE ESTEMOS FÍSICAMENTE SEPARADOS, SIEMPRE ESTÁN EN MIS ORACIONES.

A MI ESPOSA ROSY, POR COMPARTIR SU VIDA CONMIGO, POR EL AMOR RECIBIDO Y POR LA HERMOSA FAMILIA QUE ME HA REGALADO.

A MIS HIJAS: KARLA ESTEFANÍA Y NAHOMI ITZEL, POR ALEGRARME LA VIDA, PORQUE EN CADA RETO QUE ME PROPONGO PIENSO EN USTEDES PARA CUMPLIRLO Y POR SER TAN DESTACADAS EN SUS ACTIVIDADES LO CUAL ME LLENA DE ORGULLO.

CONTENIDO

CAPÍTULO	Página
RESUMEN	ix
ABSTRACT	xii
1. INTRODUCCIÓN	1
2. OBJETIVOS	6
2.1. Objetivo General.....	6
2.1.1. Objetivos particulares	6
2.2. Hipótesis de trabajo.....	7
3. REVISIÓN DE LITERATURA	8
3.1. Integración bosque e industria	8
3.2. Proceso productivo.....	9
3.2.1. Cadenas productivas forestales	9
3.2.1.1. Cadena productiva de la madera.....	11
3.3. Modelos de producción forestal	12
3.4. Abastecimiento forestal.....	13
3.4.1. Sistemas de abastecimiento	13
3.4.2. Descripción de las operaciones de aprovechamiento	20
3.5. Aserraderos.....	21
3.5.1. Proceso de aserrío.....	22
3.5.1.1. Variación del corte y control del aserrío.....	27
3.5.2. Estudio del trabajo del aserrío.....	29
3.6. Dimensiones y refuerzos de la madera	32
3.7. Características de las sierras.....	33

3.8.	Madera aserrada	34
3.9.	La calidad.....	36
3.10.	La productividad	38
3.11.	Contenido básico de trabajo	38
3.12.	Estudio del trabajo.....	39
3.12.1.	Estudio de tiempos y movimientos	40
3.12.1.1.	Ciclo de trabajo.....	41
3.12.1.2.	Toma de tiempos.....	42
3.12.2.	Clasificación de los elementos de tiempo.....	42

4. TIEMPOS Y RENDIMIENTOS DEL APROVECHAMIENTO FORESTAL EN LA REGIÓN DE EL SALTO, DURANGO, MÉXICO48

4.1.	RESUMEN	48
4.2.	ABSTRACT	49
4.3.	INTRODUCCIÓN.....	49
4.4.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	51
4.4.1.	Localización del área de estudio	51
4.4.2.	Métodos y maquinaria de aprovechamiento usados en la región	52
4.4.3.	Métodos.....	52
4.4.3.1.	Tamaño de la muestra	53
4.4.3.2.	Tiempos y rendimientos	55
4.4.3.3.	Procesamiento de datos	55
4.4.3.4.	Análisis estadístico	56
4.5.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	56
4.5.1.	Derribo manual	56
4.5.2.	Arrastre mecanizado.....	59
4.5.3.	Carga mecanizada.....	62
4.6.	CONCLUSIONES.....	65
4.7.	LITERATURA CITADA	65

5. IMPACTOS DEL DERRIBO Y ARRASTRE EN LAS OPERACIONES FORESTALES DE EL SALTO, DURANGO, MÉXICO 68

5.1.	RESUMEN	68
5.2.	ABSTRACT	69
5.3.	INTRODUCCIÓN.....	70
5.4.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	72
5.4.1.	Localización del área de estudio	72

5.4.2.	Métodos y maquinaria de aprovechamiento usados en la región	72
5.4.3.	Métodos.....	73
5.4.3.1.	Evaluación de la dirección de caída de los árboles.....	73
5.4.3.2.	Evaluación de los daños al arbolado residual por el derribo y arrastre	74
5.4.3.3.	Evaluación de los impactos al suelo.....	75
5.4.3.4.	Análisis estadístico	76
5.5.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	77
5.5.1.	Calidad del derribo.....	77
5.5.2.	Afectación por especie.....	79
5.5.3.	Afectación del fuste de los árboles residuales por el derribo y arrastre	81
5.5.4.	Afectación de la copa de los árboles residuales por el derribo y arrastre	86
5.5.5.	Remoción de suelo	91
5.5.6.	Remoción de suelo por arrastre de trocería.....	93
5.6.	CONCLUSIONES.....	94
5.7.	LITERATURA CITADA	95

6. TIEMPOS Y RENDIMIENTOS DEL ASIERRE PRIMARIO EN LA REGIÓN DE EL SALTO, DURANGO, MÉXICO 99

6.1.	RESUMEN	99
6.2.	ABSTRACT	100
6.3.	INTRODUCCIÓN.....	100
6.4.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	102
6.4.1.	Localización del área de estudio	102
6.4.2.	Métodos de trabajo usados en la región.....	102
6.4.3.	Métodos.....	103
6.4.3.1.	Determinación del tamaño de muestra.....	103
6.4.3.2.	Categorías de diámetro, largo y conicidad de las trozas.....	104
6.4.3.3.	Determinación del volumen de las trozas	105
6.4.3.4.	Determinación del volumen de las tablas	106
6.4.3.5.	Determinación del rendimiento de madera aserrada.....	106
6.4.3.6.	Determinación de la productividad del aserrío	107
6.4.3.7.	Métodos de cronometraje empleado para el estudio de tiempos.....	107
6.4.3.8.	Determinación del tiempo de asierre de 1000 pies tablas	109
6.4.3.9.	Procedimiento estadístico	109
6.5.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	110
6.5.1.	Tiempos y rendimientos generales.....	110
6.5.2.	Tiempos y rendimientos por aserradero	111
6.5.3.	Tiempos y rendimientos por categoría de diámetro	114
6.5.4.	Tiempos y rendimientos por categoría de conicidad de las trozas.....	116
6.5.5.	Tiempos y rendimientos por categoría de largo de las trozas	117
6.6.	CONCLUSIONES.....	119
6.7.	LITERATURA CITADA	119

7. RENDIMIENTO VOLUMÉTRICO Y CALIDAD DIMENSIONAL DE LA MADERA ASERRADA EN EL SALTO, DURANGO, MÉXICO 123

7.1.	RESUMEN	123
7.2.	ABSTRACT	124
7.3.	INTRODUCCIÓN.....	125
7.4.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	128
7.4.1.	Localización del área de estudio	128
7.4.2.	Métodos de trabajo usados en la región.....	129
7.4.3.	Métodos.....	129
7.4.3.1.	Determinación de la variación del corte en el proceso de aserrío.....	130
7.4.3.2.	Determinación del grueso promedio de las tablas	131
7.4.3.3.	Determinación de la desviación estándar dentro de las tablas	132
7.4.3.4.	Determinación de la desviación estándar entre tablas	132
7.4.3.5.	Determinación de la desviación estándar total del proceso.....	133
7.4.3.6.	Determinación de la dimensión óptima de corte	134
7.5.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	135
7.5.1.	Rendimiento volumétrico por clase.....	135
7.5.2.	Rendimiento volumétrico por grueso nominal	136
7.5.3.	Rendimiento volumétrico por ancho nominal	137
7.5.4.	Rendimiento volumétrico por largo nominal	138
7.5.5.	Variación del grueso de asierre en las tablas de 7/8".....	139
7.6.	CONCLUSIONES.....	147
7.7.	LITERATURA CITADA	147

8. CONCLUSIONES GENERALES 150

8.1.	Operaciones de aprovechamiento forestal	150
8.2.	Impactos de las operaciones forestales	151
8.3.	Asierre primario de la madera.....	152
8.4.	Calidad dimensional de la madera	152

9. RECOMENDACIONES GENERALES 155

9.1.	Operaciones de aprovechamiento forestal	155
9.2.	Impactos de las operaciones forestales	155
9.3.	Asierre primario de la madera.....	156
9.4.	Calidad dimensional de la madera	156

10. LITERATURA CITADA.....	158
-----------------------------------	------------

ÍNDICE DE TABLAS

Página

Tabla 4.1. Ciclos de trabajo requeridos y colectados en las operaciones de aprovechamiento forestal.....	54
Tabla 4.2. Distribución de los ciclos de trabajo por ejido.....	54
Tabla 4.3. Tiempos y rendimientos generales en el ciclo de derribo.....	57
Tabla 4.4. Tiempos y rendimientos del derribo por categorías de diámetro, altura y distancias entre árboles.....	58
Tabla 4.5. Tiempos y rendimientos generales en el ciclo de arrastre mecanizado.....	60
Tabla 4.6. Tiempos y rendimientos del arrastre por categorías de diámetro, largo y distancias de arrastre.....	61
Tabla 4.7. Tiempos y rendimientos generales en el ciclo de carga mecanizada.....	63
Tabla 4.8. Tiempos y rendimientos de la carga por categorías de diámetro y largo de las trozas.....	64
Tabla 5.1. Remoción de suelo por efecto del arrastre.....	94
Tabla 6.1. Trozas requeridas y aserradas en el estudio del rendimiento de madera aserrada por aserradero y general.....	104
Tabla 6.2. Distribución de las trozas en las categorías diamétricas de altura y conicidad.....	105
Tabla 6.3. Tiempos y rendimientos generales en el asierre primario.....	111
Tabla 6.4. Tiempos y rendimientos por aserradero.....	113
Tabla 6.5. Tiempos y rendimientos por categoría diamétrica.....	115
Tabla 6.6. Tiempos y rendimientos por conicidad de las trozas.....	117
Tabla 6.7. Tiempos y rendimientos por el largo de las trozas.....	118
Tabla 7.1. Muestras de madera aserrada medidas por aserradero y grueso nominal.....	130
Tabla 7.2. Variación del proceso de aserrío y estimación óptima de corte para el grueso nominal de 7/8".....	140
Tabla 7.3. Rendimiento normal y con la dimensión óptima de corte para el grueso nominal de 7/8".....	141
Tabla 7.4. Variación del proceso de aserrío y estimación óptima de corte para el grueso nominal de 5/4".....	142

Tabla 7.5. Rendimiento normal y con la dimensión óptima de corte para el grueso nominal de 5/4"	142
Tabla 7.6. Variación del proceso de aserrío y estimación óptima de corte para el grueso nominal de 6/4"	144
Tabla 7.7. Rendimiento normal y con la dimensión óptima de corte para el grueso nominal de 6/4"	144

ÍNDICE DE FIGURAS

Página

Figura 5.1. Calidad del derribo de árboles en la región de El Salto, Durango	78
Figura 5.2. Calidad del derribo de árboles por ejido	79
Figura 5.3. Afectación del derribo y arrastre por especie.....	80
Figura 5.4. Daños del derribo y arrastre por especie y ejido.....	81
Figura 5.5. Daños al fuste de los árboles residuales	83
Figura 5.6. Daños al fuste de los árboles residuales por ejido	85
Figura 5.7. Daños del derribo y arrastre al fuste de árboles residuales	86
Figura 5.8. Afectación en la copa de los árboles por ejido.....	88
Figura 5.9. Afectación en la copa de los árboles por ejido.....	90
Figura 5.10. Remoción de suelo por tipo de disturbio.....	92
Figura 5.11. Rendimiento volumétrico de la madera aserrada por clase.....	93
Figura 7.1. Rendimiento volumétrico de la madera aserrada por clase.....	136
Figura 7.2. Rendimiento volumétrico de la madera aserrada por grueso	137
Figura 7.3. Rendimiento volumétrico de la madera aserrada por ancho	138
Figura 7.4. Rendimiento volumétrico de la madera aserrada por largo.....	139

RESUMEN

Se analizaron las operaciones de aprovechamiento forestal mediante un estudio de tiempos y movimientos para conocer la productividad en los procesos de derribo, desrame, troceo, arrastre y carga mecanizados en los ejidos El Brillante, La Campana, San Pablo y La Victoria de la región de El Salto, Durango, México. Asimismo, se cuantificaron los impactos del derribo y arrastre sobre el arbolado residual y el suelo. Se utilizaron los cronometrajes de 704 ciclos de derribo manual, 900 de arrastre mecanizado y 1294 de carga mecanizada. Para cuantificar los impactos de las operaciones forestales se realizó el seguimiento al derribo y arrastre de 320 árboles comerciales; los disturbios al suelo se evaluaron estableciendo 1182 puntos de valoración en las áreas de corta de los ejidos bajo estudio y se midieron 50 huellas de arrastre por ejido con la finalidad de conocer el volumen de suelo removido por el arrastre de la trocería. El rendimiento volumétrico y calidad dimensional de los productos aserrados en los aserraderos de los ejidos El Brillante, La Victoria, San Pablo y dos aserraderos pertenecientes al Centro de Bachillerato Tecnológico Forestal No. 1 de El Salto, Durango se evaluó mediante un estudio

de tiempos y rendimientos del asierre primario; para tal efecto se aserraron 412 trozas de *Pinus* spp de diversos diámetros y largos.

Los resultados indicaron que el rendimiento operacional en el ciclo de derribo es de $28.67 \text{ m}^3\text{h}^{-1}$. El arrastre con grúa se estableció en $19.83 \text{ m}^3\text{h}^{-1}$ y una distancia promedio de arrastre de 43.13 m. El rendimiento en la carga mecanizada fue de $35.27 \text{ m}^3\text{h}^{-1}$. Los rendimientos mostraron ser sensibles a las variaciones en el diámetro y el largo de los árboles y trozas así como a las distancias encontradas en los ciclos de trabajo analizados. La efectividad del derribo en la región es del 80%, los daños al arbolado residual se estimaron en 3.5 árboles por cada árbol derribado y arrastrado, la operación que mayores daños causa es el derribo y las especies que fueron más dañadas son las del género *Pinus* sp con el 42% del total. Se estimó que los disturbios de moderados a fuertes se presentan en el 24% de la superficie bajo aprovechamiento y por cada metro cúbico de madera que es arrastrada, se remueven 0.481 metros cúbicos de suelo y materia orgánica. En lo referente al asierre primario de la madera, se aserraron 293.73 m^3 de madera de pino sin corteza los cuales generaron 7085 tablas de diferentes dimensiones y clases con un volumen aserrado de 169.01 m^3 , lo cual indica un rendimiento del 57.5% equivalente a 244 pies tabla por cada metro cúbico de madera en rollo aserrado, de los cuales, el mayor rendimiento volumétrico por clase se observó en tablas del número 5 con 86 pies tabla por metro cúbico aserrado, mientras que por grueso nominal, el mayor rendimiento fue para las tablas de 7/8" con 95 pies tabla. Por lo que respecta al ancho nominal, se encontró el mayor

rendimiento en tablas de 8 pulgadas con 78 pies tabla y en lo relativo al largo, el mayor rendimiento fue para la madera de 16 pies con 115 pies tabla por cada metro cúbico de madera aserrado. Mientras que el tiempo promedio para aserrar 1000 pies tabla se estimó en 25.09 minutos. La productividad se estableció en $7.57 \text{ m}^3\text{h}^{-1}$ y la velocidad de alimentación fue del orden de los 46.47 metros por minuto. El rendimiento en madera aserrada es afectado por el diámetro, largo y conicidad de las trozas. Respecto a la calidad dimensional, el espesor promedio al que se asierra la madera no fue suficiente para obtener madera seca y cepillada con dimensión nominal de 7/8", mientras que para el grueso de 5/4", las tablas aserrada en el ejido El Brillante resultaron sobredimensionadas y las tablas de 6/4" del ejido La Victoria resultaron con espesores compatibles con la dimensión óptima de corte estimada. Lo anterior, sugiere el establecimiento de un sistema de control que asegure una buena calidad dimensional en los productos aserrados.

Palabras clave: *Derribo, arrastre, carga, disturbios al suelo, daños al arbolado residual, aprovechamiento forestal, bosque natural, impactos ambientales, madera, trozas, aserrío, dimensión óptima de corte, control de calidad, clases, aserraderos, proceso de aserrío.*

ABSTRACT

The timber harvesting process was analyzed by means of a times and motions study to know the operational productivity in felling, delimiting, bucking, skidding and mechanized loading in the ejidos El Brillante, La Campana, San Pablo and La Victoria from El Salto, Durango, México. Therefore the impacts of felling and skidding on residual trees and the forest soil were quantify. Timing of 704 cycles of felling, 900 of skidding with crane, and 1294 of mechanized loading were utilized. To quantify the impacts of forests operations the monitoring of 320 commercial trees felled and skidded was carried out and to evaluate the soil disturbances, 1182 points in the logging areas of study were distributed as well as the measurement of 50 tracks of skid trails by ejido to know the volume of soil removed from the skidding operation. Whereas to know the lumber recovery and quality of the sawing process in the sawmills of the ejidos El Brillante, La Victoria, San Pablo and two sawmills of the Centro de Bachillerato Tecnológico Forestal No. 1 from El Salto a times and yield study was carried out, for such effect were sawed 412 logs of *Pinus* spp of different dimensions.

The results indicate that the operational productivity in manual felling was 28.67 m³h⁻¹. The skidding with crane was 19.83 m³h⁻¹ at an average distance of 43.13

m. The productivity in loading with crane was $35.27 \text{ m}^3\text{h}^{-1}$. The productivity showed to be sensitive to the variations in the diameter and the long of the trees and logs as well as to the distances of the cycles of work analyzed. The felling effectiveness in the region is 80%, the damages to the residual trees were estimated in 3.5 trees by each tree felled and skidded, the operation that more damage causes is the felling and the species that are more damaged is the *Pinus* species with 42%. It was estimated that disturbances from moderates to strong are presented in 24% of the logging areas and for each cubic meter of skidded wood, 0.481 cubic meters of soil and organic matter are removed. In the sawing process, 293.73 m^3 without bark were sawed which generated 7085 boards of different dimensions and classes which a volume sawed of 36.55 m^3 with indicates a lumber recovery factor of the 57.5% without bark equivalent to 244 board feet by each cubic meter of wood sawed, of the previous, the major lumber recovery factor by class was observed in board of the number 5 with 86 board feet, by nominal thickness, the major lumber recovery factor was for the boards of 7/8" with 95 board feet, concerns to the wide, the major lumber recovery factor was in 8-in boards with 78 board feet and for the length, the major lumber recovery factor was on the wood of 16' with 115 board feet by each cubic meter of wood sawed. While the time average to saw 1000 feet boards was of 25.09 minutes. The productivity was established in $7.57 \text{ m}^3\text{h}^{-1}$ and the feed speed was of 46.47 meters per minute. The lumber recovery is affected for the diameter, long and conicity of the logs. With respect to the quality of the sawing process, the thickness mean to which is sawed the wood wasn't sufficient to obtain final dry and planning boards with nominal dimension

of 7/8", while for the thickness of 5/4", the boards sawed in the ejido El Brillante resulted oversize, in lumber of 6/4" from La Victoria, the mean thickness sawed resulted compatible with the estimated target size. The previous, suggests the establishment of the one process of control that assure a good quality sawing in the lumber.

Key words: *Felling, skidding, loading, soil disturbance, damages to residual trees, harvesting, natural forest, environmental impacts, wood, logs, sawn, target size, quality control, grades, sawmills, sawmilling process.*

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

La industria forestal nacional es heterogénea, abarca desde instalaciones obsoletas hasta otras muy modernas; sin embargo, en su mayoría acusa rezago tecnológico y es poco competitiva. No logra satisfacer el creciente consumo nacional con competitividad a escala internacional (Caballero, 2004). Lo anterior, tiene sus causas en factores básicos que no se han atendido en forma puntual para revertir esta tendencia, dentro de los cuales se pueden citar: (1) Capacidad instalada de producción que rebasa la capacidad de abasto del recurso natural, donde los pequeños industriales no pueden competir por la disponibilidad de materia prima ante grandes empresas, lo que incentiva prácticas de aprovechamiento ilegal para asegurar el abasto en perjuicio directo del recurso; (2) maquinaria obsoleta no apta a la realidad de los diámetros de las masas forestales actuales donde los costos de producción encarecen los productos transformados; (3) escasa cooperación entre industriales y centros de investigación para desarrollar tecnologías que efficienten los procesos de producción; (4) ausencia en el valor agregado a los

productos dentro de las regiones forestales generando interrupciones temporales del trabajo a lo largo del año lo que ocasiona pérdida de empleos y arraigo de los pobladores en esas áreas; (5) altos costos de transporte, por el pésimo estado del acceso al bosque y la apertura indiscriminada de brechas de saca que son habilitadas temporalmente sin ningún criterio técnico y que al ser abandonadas son una fuente potencial de pérdida de suelo; (6) no existe un control de calidad en los procesos de producción, lo que trae como consecuencia que el país pierda posibilidades de competir en mercados internacionales con productos de calidad y que el déficit de la balanza comercial forestal sea una de las más altas del mundo (Torres-Rojo, 2004).

Ante tal perspectiva, el estudio del trabajo forestal se torna en una necesidad a pesar de las dificultades que implica su desarrollo. Es necesario generar información sobre el rendimiento del trabajo forestal y evaluar la calidad de los productos obtenidos para garantizar su comercialización y evitar una baja competitividad en la industria.

En general se puede hablar de dos factores que afectan la calidad y el rendimiento del trabajo forestal: (1) La capacidad mecánica del equipo utilizado y (2) la capacidad y destreza de los operadores al manejar el equipo (Lustrum, 1993). El establecimiento de un sistema de control de calidad en los procesos forestales garantiza que tanto en la evaluación de los equipos como de las personas, se puedan controlar las fallas y garantizar que el producto tenga aceptación por parte del consumidor.

Los retos que actualmente enfrenta el sector forestal nacional son cada vez más complicados, siendo el tema de la calidad pieza fundamental para subsistir en la competencia de un mundo globalizado. Desafortunadamente, nuestra industria forestal, está en franca desventaja con sus eventuales competidores por no contar con los estudios básicos que permitan conocer el valor y calidad real de los diferentes procesos productivos maderables, asignado en muchos casos precios arbitrarios a las materias primas que resultan generalmente mucho más caras que las de importación afectando de forma directa el desarrollo del sector.

La cadena productiva forestal reúne a todas las actividades relativas a la producción de la madera y se caracterizan por el conjunto de actividades que aseguran la producción desde la colecta hasta la transformación industrial final (Selmany, 1993). El conocimiento de los problemas que existen dentro de las cadenas productivas es fundamental para asegurar una mejora continua en los procesos de industrialización de los productos forestales, ya que con esta información es posible realizar una planeación adecuada de los insumos, máquinas, herramientas y mano de obra necesarios en las actividades forestales y conocer realmente los rendimientos operacionales y costos de las actividades del aprovechamiento forestal respetuosas del medio ambiente. En la evaluación de la eficiencia de un sistema de producción hay dos parámetros básicos que se deben considerar: la productividad y los costos, estos son los únicos factores relevantes tratándose de actividades dependientes de recursos los naturales renovables.

La premisa básica en los aprovechamientos forestales es la producción maderable, sin embargo, las intervenciones deben contemplar prácticas eficientes que no comprometan el potencial de regeneración y la productividad de los ecosistemas (Fath, 2001). El aprovechamiento forestal necesita de una buena planeación por ser una actividad compleja a causa de factores biológicos, ambientales, técnicos, humanos y económicos que lo afectan directa e indirectamente (Lopes *et al.*, 2003), por lo que el estudio del trabajo forestal brinda herramientas y métodos para evaluar cuantitativa y cualitativamente esquemas alternativos de organización del trabajo con lo cual se busca realizar una buena planeación mediante instrumentos de control que permitan mejorar dichas intervenciones (Malinovsky *et al.*, 2006; Tolosana, 1999). Sin embargo, existen variables que afectan la productividad los cuales obedecen a situaciones directas e indirectas, dentro de las directas están: la extensión de las áreas de corta, las características de los fustes, los diámetros y largo de las trozas, la topografía del terreno y la naturaleza de los suelos, mientras que en las indirectas se pueden citar las variaciones climáticas, la habilidad y disponibilidad de la mano de obra así como las necesidades impuestas por el manejo forestal como restricciones por daño al arbolado residual, entre otras (Wadousky, 1987). En todo el mundo se invierte en las operaciones de aprovechamiento forestal más mano de obra y dinero que en todas las demás actividades del manejo del bosque, de modo que, por lo general, el costo de los trabajos de extracción constituye la parte principal del costo de la producción maderera. El aumento de la eficacia de dichas

operaciones constituye el medio más indicado de reducir dicho costo o al menos de impedir que aumente (Koroleff, 1953).

El municipio de Pueblo Nuevo, Durango concentró el mayor volumen autorizado para el estado en la anualidad 2006-2007 con 413,423 m³ lo cual representó el 23% del volumen total autorizado para la entidad en ese periodo (SEMARNAT, 2008). La región de El Salto, Durango, se caracteriza por basar su economía en las actividades relacionadas con el aprovechamiento forestal; sin embargo, no existen estudios que revelen la situación que guardan desde el punto de vista operacional y ambiental de las diversas etapas del aprovechamiento forestal desde la extracción hasta la industrialización primaria. Lo anterior refleja una seria desventaja ante eventuales competidores nacionales e internacionales, donde el estudio de estos aspectos ha generado información vital para la toma de decisiones y la asignación de precios más adecuados a sus productos con los que no hemos podido competir. El presente trabajo reúne indicadores de productividad en las actividades operacionales de aprovechamiento y asierre primario de la madera de la región de El Salto, Durango, como una forma de conocer el estado de desarrollo de la industria forestal y que dichos indicadores permitan establecer las bases para elevar la calidad y competitividad de la actividad forestal en la región.

CAPÍTULO 2

OBJETIVOS

2.1. Objetivo General

- Evaluar las operaciones de aprovechamiento forestal y la industrialización primaria de la madera en los ejidos La Victoria, El Brillante, San Pablo, La Campana y la Unidad de Producción y Enseñanza Forestal de la región de El Salto, Durango, para generar los indicadores de productividad de cada una de las fases del proceso productivo.

2.1.1. Objetivos particulares

- Realizar la evaluación operacional y ambiental del aprovechamiento forestal en los ejidos La Victoria, El Brillante, San Pablo y La Campana de la región de El Salto, Durango.
- Determinar el rendimiento volumétrico y la calidad dimensional de los productos aserrados en los ejidos La Victoria, El Brillante, San Pablo y en los aserraderos de la Unidad de Producción y Enseñanza Forestal del

Centro de Bachillerato Tecnológico Forestal No. 1 de El Salto, P.N., Durango.

- Generar información relativa a los indicadores de productividad que apoye la toma de decisiones en la programación de las diversas actividades del aprovechamiento forestal en la zona de influencia de la región de El Salto, Durango.

2.2. Hipótesis de trabajo

- La eficiencia operacional de los procesos de aprovechamiento e industrialización primaria de las materias primas forestales en la región de El Salto, Durango, son óptimas en calidad y corresponden a la realidad económica y al nivel tecnológico del sector, sin embargo existen áreas de oportunidad donde es posible elevar la calidad y eficiencia de la cadena productiva de la actividad forestal en esta importante región de México.

CAPÍTULO 3

REVISIÓN DE LITERATURA

3.1. Integración bosque e industria

Rojas (1995) argumenta que no existe una clara integración entre el bosque y la industria, ya que el sector forestal se ha dividido en dos componentes: el sector forestal protector, cuya meta es asegurar la perpetuidad en el uso y manejo de los recursos naturales por la vía de la conservación, y el sector forestal industrial, cuya meta es lograr abastecer por la vía del manejo forestal las necesidades tangibles de productos forestales que la sociedad requiere, para lo cual no es prudente, estratégico ni recomendable que los esfuerzos por elevar la competitividad del sector productivo forestal conciben al bosque y la industria como dos entes productivos aislados, cuando de ambos depende el uso eficiente de los productos forestales; menciona también que al desagregar el componente forestal productivo en especialistas en manejo forestal y especialistas en la industria de la madera, hoy sabemos cultivar y manejar bosques, pero no sabemos qué productos y procesos aplicar a nuestra cosecha de madera. Esta

desagregación debe cambiar y el nuevo forestal debe dominar integralmente todos los procesos. Por lo que ahora, el reto no es producir y comercializar, sino producir con calidad y aprovechar con eficiencia cada producto, por lo tanto; se busca acuñar el concepto de integración Bosque-Industria cuya filosofía de trabajo pretenda armonizar la relación bosque-sociedad mediante una interacción equilibrada de las relaciones socioeconómicas, ecológicas, económicas y tecnológicas involucradas en el proceso productivo integral forestal.

3.2. Proceso productivo

El proceso productivo está referido a la utilización de recursos operacionales que permitan transformar la materia prima en un resultado deseado, que bien pudiera ser un producto o bien terminado para satisfacer las necesidades de los clientes, por lo que es necesario realizar un estudio holístico de los elementos que integran la cadena de valor y demás factores que influyen en el proceso hasta la cristalización del bien o el producto de acuerdo a las especificaciones establecidas (Rodríguez *et al.*, 2002).

3.2.1. Cadenas productivas forestales

Las cadenas productivas son un conjunto de componentes interactivos, incluidos los sistemas productivos de bienes, insumos y servicios industriales de procesamiento y transformación, agentes de distribución y comercialización hasta los consumidores finales (Castro *et al.*, 1996).

Una cadena productiva es un sistema de organización en que un grupo o más de productores de bienes y servicios forestales y ambientales se unen con el objetivo común de aprovechar las ventajas que permite la integración a través de una o varias figuras asociativas previstas en la legislación aplicable, es una estrategia para elevar la productividad y competitividad y lograr negocios sustentables.

Se clasifican por su operación en:

- **Locales:** Son sistema de organización donde los actores operan dentro de una entidad federativa.
- **Regionales:** Son sistema de organización en un sistema producto y de servicio, operando en dos o más entidades federativas.

Por producto se caracterizan en:

- **Recursos forestales:** La vegetación de los ecosistemas forestales, sus servicios, productos y residuos, así como los suelos de los terrenos forestales y preferentemente forestales.
- **Maderables:** Los constituidos por vegetación leñosa susceptibles de aprovechamiento o uso.
- **No maderables:** La parte no leñosa de la vegetación de un ecosistema forestal, y son susceptibles de aprovechamiento o uso, incluyendo

líquenes, musgos, hongos y resinas, así como los suelos de terrenos forestales y preferentemente forestales.

- **Recursos asociados:** Las especies silvestres animales y vegetales, así como el agua, que coexisten en relación de interdependencia con los recursos forestales.
- **Servicios:** Los que brindan los ecosistemas forestales de manera natural o por medio del manejo sustentable de los recursos forestales, tales como: la provisión del agua en calidad y cantidad; la captura de carbono, de contaminantes y componentes naturales; la generación de oxígeno; el amortiguamiento del impacto de los fenómenos naturales; la modulación o regulación climática; la protección de la biodiversidad, de los ecosistemas y formas de vida; la protección y recuperación de suelos; el paisaje y la recreación, entre otros (CONAFOR, 2010).

3.2.1.1. Cadena productiva de la madera

La cadena productiva de la madera se compone de tres eslabones esenciales: cadena productiva de la madera industrial la cual contempla el papel, los tableros MDF y OSB; la cadena productiva de madera para energía compuesta por los materiales leñosos así como el carbón y la cadena productiva del procesamiento mecánico referida a los productos aserrados, laminados y compensados (Polzl *et al.*, 2003). Las cadenas forestales reúnen a todas las actividades relativas a la producción de la madera y se caracterizan

por el conjunto de actividades que aseguran la producción desde la colecta hasta la transformación industrial final (Selmany, 1993).

3.3. Modelos de producción forestal

Según la COSYDDHAC (1999) el sector forestal de México trabaja bajo tres modelos de producción: el rentista, el industrial y el transformador:

- **El modelo rentista:** En este caso, la madera es contratada en condiciones primarias, es decir, la empresa compra el arbolado en el bosque y es responsable de realizar todas las actividades relacionadas con la extracción. En el caso de los contratos en trocería, las actividades de cosecha quedan generalmente bajo la responsabilidad del ejido.
- **Modelo industrial:** La tendencia oficial desde 1977 fue impulsar el aserrío de madera en los ejidos forestales, sin embargo ésta disminuyó a partir de 1994, año que coincidió con el ingreso de México al TLC. A partir de entonces los aserraderos privados empezaron a proliferar y superar a los de propiedad social en un 96%. Se considera a que ésta es una de las causas principales de la tala clandestina.
- **Modelo transformador:** En este modelo se le otorga mayor valor agregado al recurso forestal, a través de productos terminados para el mercado: cajas para empaque, pilotes, postes, durmientes, molduras, chapados, aglomerados, triplay y papel. En este modelo las actividades de transformación de la madera están principalmente en manos de

empresas y grandes consorcios madereros, son muy pocos los ejidos forestales que cuentan con la organización, administración y capacidad instalada necesarias para realizar los trabajos de transformación de la madera.

3.4. Abastecimiento forestal

Un sistema de abastecimiento industrial de madera, también puede ser llamado sistema de colecta de madera, consta de tres actividades u operaciones básicas: corte, derribo, arrastre y transporte, los cuales a su vez pueden contener sub-operaciones tales como desrame, troceo y carga las cuales a su vez pueden contar con el apoyo de una planeación, control operacional de costos y recursos humanos (Dykstra y Heinrich, 1996).

3.4.1. Sistemas de abastecimiento

De acuerdo al tipo de industria por abastecer y buscando la mayor eficiencia en las operaciones, se puede elegir entre tres diferentes alternativas de abastecimiento:

- Abastecimiento de árbol completo.
- Abastecimiento de fuste completo.
- Abastecimiento de trozo.

Con excepción del derribo que es prácticamente igual para todos los casos, todas las demás operaciones son diferentes para cada tipo de abastecimiento.

- **Abastecimiento de árbol completo.**- Consiste en la movilización del árbol completo, naturalmente que por las dificultades que implica es muy poco utilizado, solamente para la cosecha de árboles de navidad. No se usa principalmente por el alto costo de inversión, el desplazamiento de la mano de obra (debido a la alta mecanización de los trabajos), la carencia de personal calificado, los métodos silvícolas aplicados no congruentes con el método aprovechamiento y por no contar en la mayoría de las zonas forestales del país con industrias forestales integradas.
- **Abastecimiento de fuste completo.**- Consiste en movilizar el tronco sin el ramaje, esta alternativa se puede llegar a utilizar cuando se cosechan grandes volúmenes para ser movilizados a grandes distancias de arrime; o bien, para arrastrar productos que se obtienen de los aclareos. El método de fuste completo no es totalmente compatible con el método silvícola de selección, dado que si no se aplican en forma adecuada los principios de planeación y organización de los trabajos de abastecimiento, se pueden ocasionar serios daños a la masa residual.
- **Abastecimiento de trozo.**- Consiste en la movilización de secciones del fuste sin ramas, las dimensiones de dichas secciones varían de 8 a 20

pies de largo y de ellas se abastece a la industria del aserrío, por su simplicidad y baja exigencia de capital, además de ser el más apropiado para el aprovechamiento con el método silvícola de selección el cual se ha aplicado ampliamente en los bosques mexicanos (Santillán, 1986).

En México, Moreno *et al.* (1985) mencionan que el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales (INIF), ha llevado a cabo varios estudios forestales de caracterización de las operaciones de abastecimiento entre los que destacan los trabajos de Návar *et al.* (1979); Gómez (1982); Hernández *et al.* (1982); Blancarte y Hernández (1982); Pérez *et al.* (1982); Villagómez y Gómez, (1983), entre otros. En estos estudios se ha pretendido conocer las características de la producción lograda con los sistemas de trabajo, las máquinas y herramientas actualmente utilizadas para el abastecimiento de productos forestales, así como encontrar los aspectos críticos que interfieren en el aumento de la productividad del abastecimiento y contar con información confiable para formular programas específicos de investigación que se enfoquen a la solución de los puntos críticos identificados. Los trabajos de investigación aludidos han utilizados como metodología básica los estudios de tiempos y movimientos de las labores de abastecimiento haciendo un muestreo de las mismas, una revisión de los sistemas de organización, administración y control, así como del archivo del ente bajo estudio para obtener antecedentes en cuanto a la producción y costos del sistema de abastecimiento utilizado. Todos los trabajos antes indicados coinciden en señalar que no existe una planeación de labores de abastecimiento forestal, no se cuenta en general con

planes de corta a mediano y largo plazo y enfatizan la imperiosa necesidad de realizar una planeación de las labores de abastecimiento como una medida para aumentar su eficiencia y productividad.

Smith y Hareell (1961) realizaron aplicaciones de programación lineal a la solución de diversos problemas en el abastecimiento forestal, los cuales aplicaron a la distribución de productos para maximizar ganancias.

Hofle (1971) generó una optimización en la extracción de maderas de cortas dimensiones y menciona que una de las limitantes más fuertes que tiene la programación lineal aplicada en el manejo del transporte de madera en corto plazo es la escasez de información de las operaciones en un tiempo razonable (una semana, un mes); por tanto, como alternativa presenta el uso del método de ruta crítica complementado con un modelo de decisión.

Cárdenas (1981) desarrolló una aplicación del modelo de transporte para determinar el número adecuado de plantas industriales así como su tamaño y localización, en base a la posibilidad maderable anual y la distribución de productos aplicados en la Unidad Industrial de Atenquique, Jalisco.

Vera (1982) destaca la importancia de reducir los costos en las operaciones de abastecimiento para contribuir a aumentar la rentabilidad de la actividad forestal. Menciona que los costos de abastecimiento de productos forestales primarios son de los que más gravan el costo de producto final, de ahí la importancia de tener una herramienta que haga posible optimizar la asignación de los recursos disponibles entre actividades que compiten por

ellos. Esta herramienta, podría ser un modelo de planeación, que además de permitir la minimización de costos y operación, permite probar rápidamente y a un costo bajo varias alternativas dentro de un sistema sujeto a análisis al darse cambios de los factores que lo determinan.

Egger (1982) menciona que el objetivo de la planificación del trabajo es evaluar los elementos individuales de un sistema de trabajo y determinar consecuentemente las condiciones en que debe realizarse el mismo; deben estudiarse aquí cuidadosamente el hombre, la maquinaria y los equipos que utiliza afín de poder elegir el sistema óptimo de aprovechamiento y de menor costo.

Eriksson (1983) estudió diferentes pasos para complementar el análisis con modelos de programación lineal para la planeación forestal a largo plazo.

Villagómez (1983) realizó un estudio con el objeto de medir el rendimiento, el costo y el esfuerzo del trabajador al efectuar la operación de derribo en bosques de coníferas, generó dos modelos para motosierra de diferente peso; la Homelite modelo 1050 de 9.6 kg de peso seco (sin incluir la barra, la cadena y el combustible), de uso muy común en la región estudiada, McCulloch modelo 850 de 7.3 kg de peso seco. Para ambas se observó que el 28% y el 10% del tiempo total respectivamente se debió a demoras imputables a la organización de la empresa la cual reflejó la necesidad de revisar los aspectos de planeación así como el funcionamiento de la propia organización.

Donatti (1983) destaca la importancia de estudiar las operaciones forestales ya que representan la composición de costos que tiene la madera, encontró en una empresa forestal de Brasil que el 13.82% del costo de la madera se atribuye al corte, el 9.13% al transporte primario, 4.07% a la carga y el 55.16% para el transporte principal considerando una distancia media de 185 km totalizando el 82.18% sólo en las operaciones de aprovechamiento forestal.

Moreno *et al.* (1985) presentaron un sistema de planeación con programación lineal del Servicio Forestal de Suecia, destacando en que al momento de llevar a la práctica la solución de programación lineal, ésta pasa a segundo plano y las consideraciones tales como el análisis de sensibilidad y los precios duales asociados a la solución toman un papel preponderante.

Seixas (1985) evaluó un sistema de abastecimiento de trozas cortas de *Eucalyptus* spp; para tal efecto comparó el rendimiento operacional de 10 equipos compuestos por un motosierrista y 2 ayudantes los cuales se dividieron en 5 equipos para cortar trozas a 2.20 m de largo y 5 equipos para cortar a 4.40 m de largo. Evaluó los tiempos desde el derribo, desrame, troceo y pausas técnicas en cada equipo, para lo cual utilizó la metodología del tiempo continuo. Los resultados no mostraron diferencia en la productividad de los equipos ya que ésta fluctuó entre los 68 st/día, sin embargo la diferencia se acentuó en el consumo de combustible con 4.93 l/día para los equipos de 2.20 m y 4 l/día para los de 4.40 m, por lo que la mayor economía se vio reflejada al trabajar con el sistema de trozas largas.

Mendoza (1995) realizó un trabajo acerca de la máquina más común en México para arrime de trocería: la motogrúa. Este trabajo describe sus partes, funciones y sistema de trabajo. Usando datos de tiempos y movimientos de 334 ciclos de trabajo en condiciones de bosque de coníferas en tercer paso de corta en Michoacán, México, ajustó ecuaciones de regresión para el tiempo de trabajo por fase del ciclo en función de la carga, arbolado residual, distancia de arrime y variables topográficas. El conjunto de estas funciones permitió estimar el desempeño de la motogrúa tanto para propósitos de eficiencia industrial como para eficacia en la aplicación de variados tratamientos silvícolas. Los resultados confirmaron la alta productividad de esta forma de arrime, pero también que sus deficiencias en cuanto al considerable daño al rodal residual y la necesidad de una cantidad enorme de brechas de saca que mantengan la distancia media de arrime a menos de 70 m, a pesar de tener un alcance máximo potencial de 400 m.

Tarnowski *et al.* (1999) ajustaron ecuaciones para estimar el tiempo de las actividades de un sistema de abastecimiento de *Eucalyptus* spp en el estado de Bahía, Brasil; el ciclo operacional consistió en el tiempo consumido para procesar un árbol dividiendo el ciclo en elementos que fueron cronometrados con la metodología de tiempos individuales, utilizando técnicas de regresión mediante el procedimiento stepwise fue posible estimar la productividad de las máquinas en función del diámetro de los árboles, con lo cual encontraron que el tiempo de procesamiento varía con el aumento en el diámetro de los árboles.

Ferreira (2000) describe las posibilidades que existen al estudiar las operaciones forestales, enuncia algunas metodologías que engloban el estudio del tiempo y el trabajo, análisis de regresión y la disponibilidad y utilización del equipo las cuales permitirán a los técnicos forestales analizar las operaciones de extracción, detectando los puntos críticos que perjudican la productividad y propone acciones para ganar en eficiencia y bajar los costos de producción.

Berger *et al.* (2002) utilizando técnicas de programación lineal, encontraron las mejores rutas para los camiones en el transporte forestal, la carga óptima por camión, el número ideal de viajes y el menor costo por unidad de volumen, aumentaron el volumen de madera puesto en patio en 23% y redujeron el costo de transporte en 18%.

Tolosana *et al.* (2002) desarrollaron mediante técnicas de estudio de tiempos por cronometraje, ecuaciones predictivas del rendimiento y costo de los trabajos de aclareos mecanizados de *Pinus silvestris* en España, encontrando que los rendimientos dependen del volumen unitario medio del árbol extraído y la pendiente del terreno, mientras que la productividad de arrastre depende de la distancia de arrastre y la pendiente del terreno.

3.4.2. Descripción de las operaciones de aprovechamiento

- **Derribo:** Se realiza por un operador en forma manual utilizando motosierras de 1.5 a 2 Hp. El ciclo de trabajo incluye las etapas de selección del árbol, remoción de obstáculos, corte de dirección y corte de caída.

- **Desrame:** Se realiza por un operador en forma manual utilizando motosierras de 1.5 a 2 Hp. El ciclo de trabajo consiste en liberar el fuste de la inserción de ramas para dimensionar en largo las trozas.
- **Troceo:** Se realiza por un operador en forma manual utilizando motosierra de 1.5 a 2 Hp. El ciclo consiste en realizar los cortes necesarios para dimensionar las trozas en medidas comerciales que varían de 4 a 36 pies de largo.
- **Arrastre:** Se realiza en forma mecanizada con grúas y skidder así como con tracción animal. Las cuadrillas de trabajo consisten en un operador y 3 cableros, mientras que el arrastre animal consta de un operador y una yunta de animales generalmente toros de 400 a 600 kg unidos por un yugo y cadenas. El ciclo de trabajo consiste un desplazamiento al lugar donde se localiza la troza, el enganche y el arrastre propiamente dicho.
- **Carga:** Se realiza en forma mecanizada con grúas así como con en forma manual. El ciclo de trabajo consta del desplazamiento, el enganche, levantamiento, carga y acomodo de las trozas en los camiones.

3.5. Aserraderos

García *et al.* (2002) expresan que las instalaciones industriales donde se efectúa la transformación de la madera en rollo para obtener madera aserrada, recibe el nombre de serrerías o aserraderos. Los aserraderos son unidades

industriales de transformación de trozas cilíndricas en piezas prismáticas rectangulares. Las fábricas de caja y tarima son industrias responsables del procesamiento y uso de la madera obtenida de los aprovechamientos para transformarla en objetos de dimensiones preestablecidas. Las madererías son empresas que comercializan madera aserrada de varias especies forestales, pudiendo también comercializar productos o semi-productos tales como pisos, marcos, molduras, puertas, etc. Las fábricas de muebles son unidades industriales donde se producen muebles domésticos o industriales trabajando con un régimen de producción en serie y la llamada industria maderera integrada que es la que está estructurada para producir su propia materia prima y posee módulos para todas las fases de producción. En los aserraderos aunque es recomendable que la operación de elaboración se complemente con la del secado en cámaras de los productos obtenidos, no tienen por qué incluir necesariamente esta última. Generalmente, los productos finales de aserrado, tablones, tablas, vigas y viguetas se venden con una humedad del 15 al 20%. Reciben el nombre de aserríos porque los elementos o maquinas principales que intervienen en este proceso industrial están constituidas exclusivamente por sierras.

3.5.1. Proceso de aserrío

Para Zamudio (1986) el proceso de aserrío tiene la siguiente logística variando los procesos según el equipo, las especies de madera, productos y el grado de mecanización que se pretenda obtener:

- Recepción de trozas y almacenamiento en patios o estanques.
- Acercamiento de las trozas al aserradero.
- Preparación de trozas para aserrío, trozado a la medida requerida.
- Aserrío.
- Alimentación de trozas a la sierra.
- Reaserrío.
- Producción de tablas, tablones de grandes dimensiones, durmientes, cuadrados y fitches para producción de chapa.
- Saneamiento de defectos por medio de corte al hilo desorillado y trozado.
- Medición de las piezas aserradas y su clasificación.
- Apilado de los productos aserrados.
- Asoleaderos.

Formación de estibas para secado al aire.

El proceso de aserrío es considerado una de las actividades más importantes de la industria forestal del país, sin embargo, el grado de avance tecnológico ha sido lento a pesar de lo sencillo que pueda parecer el proceso de transformación de la trocería en madera aserrada, para optimizar la

eficiencia de la transformación de las trozas en madera aserrada, es necesario estudiar las interrelaciones que existen entre las características físicas de la madera con las características de los productos aserrados generados. El rendimiento de madera aserrada se define como la proporción de madera en escuadría que resulta al aserrar una unidad de volumen de trozas (Ferreira *et al.*, 2004). La proporción de madera aserrada puede ser afectada por el tipo y tamaño del equipo de aserrío, las especies, las técnicas utilizadas y la destreza y capacitación de los operarios responsables del proceso (Rocha y Tomaselli, 2001). Las variables más significativas que influyen en el rendimiento del aserrío son el ancho de corte y esquema de corte, las dimensiones de la madera, el diámetro, la longitud, conicidad y calidad de la troza así como la toma de decisiones del personal y las condiciones de mantenimiento del equipo (Melo y Ravón, 1982). García *et al.* (2001) afirman que el rendimiento de madera aserrada es uno de los principales indicadores para medir la eficiencia de cualquier industria. La eficiencia se refiere al grado de aprovechamiento de la materia prima que garantiza el producto que se comercializa.

Tradicionalmente la madera se comercializa en medidas nominales en las que se incluye un refuerzo que representa la pérdida de volumen por contracciones de la madera verde al secarla para su uso final, un volumen por cepillado para lograr obtener una superficie tersa y un volumen que representa la variación en espesor por efecto de la variación del corte al momento del aserrío de la trocería. Estos conceptos generalmente no se evalúan y se aplican en forma convencional. La variación del corte se manifiesta a través de

la variación en espesor de la madera aserrada y se le considera como una medida de la precisión mecánica de trabajo de los equipos de aserrío. 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/o 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 (1984) los siguientes factores influyen en el rendimiento de la madera durante el proceso de aserrío:

- Diámetro, largo y forma de las trozas
- Ancho de aserrío
- Variación del corte
- Aserrío mixto
- Toma de decisiones de los operarios
- Condiciones y mantenimiento del equipo
- Métodos de aserrío

La eficiencia es la relación de lo que se produce con lo máximo que se podría producir valiéndose de los mismos recursos, la eficiencia se expresa en términos de porcentaje

Zavala (1994) menciona que la variación en longitud de la trocería y en grosor de la madera aserrada se debe a la falta de control de las operaciones de troceo del arbolado y del corte al aserrar la trocería, generalmente éstos aspectos no se analizan en estudios sobre evaluación de aserraderos. Sin embargo, trabajos realizados en otros países han demostrado su influencia directa con el coeficiente de aprovechamiento y en los incrementos potenciales de las utilidades económicas, recomendando el análisis o evaluación periódica de las operaciones de troceo y de aserrío a través del establecimiento de programas de control, los cuales son económicamente justificables cuando la variación de las dimensiones de la trocería y de la madera aserrada son significativas. El control de las dimensiones en longitud de la trocería y en grosor de la madera aserrada, es un aspecto que cobra mayor importancia cada día debido al aumento de precios y a la disminución de volúmenes de madera en rollo disponibles; tendencia que repercutirá en forma directa en el proceso de aserrío, el cual también deberá ser más eficiente tanto para poder contrarrestar los efectos de la materia prima, como son para sostener, por lo menos, el mismo margen de utilidades actual, sin afectar los precios de la madera aserrada que se produce.

Bertrand y Prabhakar (1990) expresan que el control de la 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 de podría

resumir como todo aquello que significa comprobar que lo realizado se ajusta a lo planificado. La cadena de madera reúne actividades relativas de la madera y sus derivados. Se caracteriza por un conjunto de actividades que aseguran la producción, la colecta y transformación de la madera, donde ésta última, por asociación de sus derivados a otras materias, pierde características de constitución esencial del producto (Selmany, 1993).

Según Tuset y Duran (1979) existen básicamente dos modos de evaluar el rendimiento operativo, la primera forma básica de medir el rendimiento de madera aserrada mediante un cálculo de productividad en máquina o en conjunto 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.

3.5.1.1. Variación del corte y control del aserrío.

Eleotério *et al.* (1996) mencionan que la calidad de la madera aserrada puede ser evaluada de dos maneras: una por sus características naturales (propiedades físicas), y otra por la precisión de sus dimensiones. La variación dimensional es una de las causas que dificultan la comercialización, en consecuencia la baja competitividad de la industria maderera.

Por su parte, Gerwing *et al.* (1997) coinciden en que la variación en espesuras de la madera procesada es el resultado de la utilización de equipos de procesamiento inadecuados, causando pérdidas de más de 8% de volumen durante el asierre. Una gran fuente de desperdicio en madera puede ser en la producción de madera procesada con grosor excesivo; por lo que Zavala

(1994) establece que debido al efecto del coeficiente de aprovechamiento de la variación en dimensiones de las tablas por el efecto del corte de las sierras, el análisis de la variación en grosor por medio de observaciones y mediciones periódicas, está siendo adoptado rápidamente por la industria de aserrío.

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*, el cual 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 100 tablas, 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. Obviamente, mientras más observaciones o mediciones se realicen sobre una misma pieza, se dispondrá de mayor información para evaluar la eficiencia de trabajo del aserradero. Mediante líneas o límites de control (superior e inferior) lo que se define es el margen de oscilación de las mediciones que se acepta para considerar el proceso bajo control.

Zavala (2003) afirma que el método de puntos múltiples es el único que permite identificar y evaluar ambos tipos de variación. 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.

3.5.2. Estudio del trabajo del aserrío

Stöhr (1981) plantea la preocupación básica del análisis del trabajador y el estudio científico de su rendimiento físico y psíquico para aumentar la capacidad de rendimiento respetando su dignidad humana y sus valores éticos y morales.

Mialhe (1974) define la capacidad operacional de las máquinas e implementos agrícolas como la cantidad de trabajo que son capaces de ejecutar en una unidad de tiempo, constituyéndose como unidad de medida la intensidad de trabajo desarrollado en la ejecución de las operaciones. El autor evaluó las operaciones con la visión de racionalizar y emplear las máquinas e implementos a las actividades correctas.

Quirós (1990) argumenta que el término rendimiento se refiere a la relación entre el volumen de madera rolliza (trozas) y el volumen resultante de productos aserrados. Este término es también conocido como coeficiente de aserrío o factor de recuperación de madera aserrada "FRM" y constituye un indicador de la tasa de utilización en el proceso de aserrío primario.

Zavala y Hernández (2000) llevaron a cabo un análisis sobre el rendimiento y utilidad del proceso de aserrío de trocería de pino. De la trocería procesada, un 43% se clasificó como de alta calidad, un 26% de clase media y un 31% de baja calidad. Respecto al diámetro. Se determinó un coeficiente de aprovechamiento nominal de 51% y una proporción de costeras y recortes de 27% y el porcentaje de aserrín de 22%. La calidad y diámetro de las trozas no

influyeron en el coeficiente de aserrío pero sí se presentó una relación directa entre la calidad de las trozas con la calidad de la madera aserrada, la trocería de 1ª y 2ª generó un 31.70% y un 19.44% de madera de clase; la trocería de 3ª generó un 33.60% de madera de 3ª; la trocería de 4ª y 5ª un 34.79% y un 29.18% de madera de 4ª y 5ª respectivamente.

Fahey y Ayer-Sachet (1993) indican que el diámetro de las trozas es uno de los factores de mayor incidencia en el aserrío; demostrándose que en la medida que el diámetro aumenta también se incrementa el rendimiento de las trozas en el aserrío; por lo tanto el procesamiento de trozas de pequeñas dimensiones implica bajos niveles de rendimiento y menor ganancia en los aserraderos.

Binagorov (1984) coincide que se puede afirmar que el rendimiento de las trozas en el proceso de aserrío es afectado por la longitud y por la conicidad de las trozas. En la medida que aumenten ambos parámetros se incrementa la diferencia entre los diámetros de ambos extremos de la troza. Por lo tanto una de las formas de incrementar el rendimiento volumétrico es mediante la optimización del aserrío.

Casado, (1997) confirma el efecto de la calidad de la troza, especialmente la incidencia de trozas torcidas en la calidad y volumen de la madera aserrada.

Steele y Wagner (1990) expresan que un corte ancho se traduce en más pérdida de fibra de madera en forma de aserrín y la disminución de la eficiencia de la maquinaria.

Fosado (1999) menciona que por muy sencillo que resulte un sistema de aserrado, son muchas las alternativas que se pueden presentar en toda la toma de decisiones. No basta el conocimiento de diagramas de corte que logren máximos rendimientos, se necesita vincularlos con un grupo de requerimientos técnicos-económicos muy difíciles de coordinar eficientemente.

De acuerdo con Brown y Bethel (1987) un aserradero eficiente y racional es aquel en que, entre otras cosas, los cortes se realizan de tal forma que se obtenga a partir de la troza una mayor cantidad y calidad de madera aserrada. A nivel mundial se han implementado diferentes tecnologías que permiten mejorar los indicadores de la eficiencia en los aserraderos, desde las basadas en la aplicación de prácticas fundamentadas en la pericia y habilidad del personal técnico del aserradero y las características de la materia prima, hasta que las parten de programas de optimización que son capaces de analizar diferentes variables y tomar decisiones de aserrío en un corto intervalo como lo desarrollado por Hallock (1976), que ha sido mejorado hasta el punto de analizar 19 variables para la localización del corte de apertura de la troza.

Todoroki (1990) argumenta que se requiere la utilización de equipos electrónicos para determinar el corte óptimo; lo cual no corresponde con las condiciones de muchos países que no disponen del capital suficiente para adquirir estas tecnologías; por lo que a partir de la maquinaria existente se deben aplicar procedimientos de aserradero factibles en condiciones reales que conlleven a elevar la eficiencia de conversión.

FAO (1989) por su parte, menciona que el nivel de aprovechamiento de la materia prima en general de un aserradero depende en grado considerable de los métodos utilizados para la elaboración de la madera aserrada. Es importante mencionar que el costo de la materia prima puede sobrepasar el 60% de los costos de producción total de los aserraderos si se incluye el costo de transporte y por ende, si la materia prima se utiliza de forma inadecuada va a influir negativamente en la eficiencia económica del establecimiento de producción de madera aserrada.

Zavala (1981) encontró en un estudio realizado en seis aserraderos mexicanos que la utilización de métodos de control de dimensiones pudiera incrementar el rendimiento volumétrico un 4.46% como promedio, debido al empleo de una dimensión óptima de corte menor que la dimensión actual, pero sin producir piezas con dimensiones por debajo de las exigidas en el mercado. Por otro lado, menciona que la reducción de la variación de corte en el aserrío a valores aceptables, se logra mediante la realización de ajustes correspondientes a la maquinaria.

3.6. Dimensiones y refuerzos de la madera

Las dimensiones más comunes en que se asierra y comercializa la madera varían de 4 a 12 pulgadas en ancho y de 4 a 20 pies en longitud, con incrementos de 2 pulgadas y de 2 pies, respectivamente. Los espesores oscilan de 1/2 a 2 pulgadas en dimensiones nominales. El refuerzo por cepillado en madera áspera seca fluctúa de 1/4 a 1/8 pulgadas en grosor, con

un mínimo de 1/2 pulgada en ancho y de 3 pulgadas en longitud (Rodríguez, 1978).

La Subsecretaría Forestal y de la Fauna (SFF) estableció en 1978 las dimensiones del refuerzo en grosor y en volumen para madera aserrada producida más comúnmente; para 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 5 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 respectivamente.

3.7. Características de las sierras

Koch (1964) señala que las características más comunes de los dientes de la sierras banda utilizadas en EUA corresponden a un ángulo de corte de 30°, un ángulo del diente de 44° y el ángulo libre de 16°, los cuales se modifican en función de la dureza o tipo de madera, que pueden variar desde 22° a 28° para el ángulo de ataque, de 52° a 60° para el ángulo del diente y de 8° a 12° para el ángulo de incidencia. Además de la modificación de los ángulos de los dientes respecto a la dureza de la madera, también se cambian el paso del diente y la profundidad de garganta o altura del diente en función del ancho y del calibre de la sierra. Para una de 20,32 mm (8 pulgadas) de ancho, sugiere para maderas duras un calibre de 14, un paso de diente de 4,45

cm (1 3/4 pulgadas) y una altura del diente de 1,9 cm (3/4 pulgadas); Simonds, (1986) recomienda el paso y la altura de el diente de 1,9 cm (3/4 pulgadas) y de 0,95 cm (3/8 pulgadas) respectivamente, para maderas duras.

Zavala (1978) evaluó el proceso de aserrío de siete especies tropicales de alta densidad con posibilidades de uso para la producción de durmientes para el metro, señalando la necesidad de utilizar sierras modificadas en los dientes y con tratamientos de endurecimiento con la finalidad de mejorar la calidad del producto y la rentabilidad del proceso.

Loehnertz *et al.* (1996) señalan que uno de los principales problemas en el aprovechamiento de maderas duras tropicales, es la utilización de sierras con características inadecuadas de los dientes, en cuanto a los ángulos y distancia entre dientes y enfatizan la necesidad de aplicar estelite a las sierras banda para contrarrestar el efecto de la dureza, del sílice y de los extractivos corrosivos de algunas maderas tropicales, los cuales desgastan rápidamente los aceros tradicionales; también indican que la adopción de este tipo de tecnologías podrían ayudar a contrarrestar los bajos coeficientes de aprovechamiento, la poca calidad de la madera aserrada por efecto del corte y los altos costos del aserrío.

3.8. Madera aserrada

Para Fajardo y Sánchez (1995) la madera aserrada son piezas de maderas macizas obtenidas por aserrado del árbol, generalmente

escuadradas, es decir, con caras paralelas entre sí y cantos perpendiculares a las mismas en las cuales se pueden distinguir:

- Cara: Superficie de la pieza correspondiente a la mayor dimensión de la sección transversal.
- Canto: Superficie de la pieza correspondiente a la menor dimensión de la sección transversal.

Bryant *et al.* (1938) mencionan que el porcentaje de clases de madera aserrada obtenido de madera en rollo de determinada especie no es uniforme en los aserraderos de una región específica, ya que existen muchos factores que pueden influir en la proporción de cada grado o clase producida, algunos de estos factores son:

- Calidad y tamaño de las trozas.
- Las características del material aserrado (largo y grueso).
- Los métodos de aserrado, desorillado y cabeceado.

Zavala (2003) establece que para el caso del aserrío de encinos, además de la adopción de las sierras más apropiadas en sus características y tratamientos de dureza en los dientes, también se considera determinante la forma de aserrar la trocería (radial, tangencial y bastardo), básicamente por el efecto de las contracciones de la madera que pueden manifestarse en deformaciones y rajaduras en las tablas durante el proceso de secado. Debido

a que en la cara radial de la madera las contracciones son menores comparadas con el corte tangencial y bastardo, se ha considerado obtener la mayor proporción de tablas con cara radial como una opción para contrarrestar los defectos del secado.

3.9. La calidad

En la actualidad, el término calidad está cada vez más difundido y empleado por más personas y empresas que han descubierto en ése término una serie de ventajas económicas y financieras por lo que ha sido un buen indicador para medir la competencia. El concepto de calidad va adquiriendo importancia en el ámbito mundial en cuanto a los productos y servicios (De Freitas, 2000). La industria forestal en México tiene un área de oportunidad enorme ante esta tendencia, ya que al adoptar sistemas de gestión de calidad en los procesos industriales se minimizarán los errores de producción evitando fallas en los productos y disminuirá la gran cantidad de desperdicios en los procesos de transformación.

De acuerdo con Meneses y Guzmán (2000) la calidad de la materia prima y la eficiencia industrial se encuentran íntimamente asociadas. Una manifestación básica de la calidad de la materia prima en su procesamiento es el nivel de rendimiento o aprovechamiento de ella por parte de la industria, el cual indica la cantidad de materia prima necesaria para producir una unidad de producto.

El control de calidad es vital para la industria maderera, de ahí la necesidad de llevar un control del producto que se elabora (Troncoso, 2001). La calidad de la madera aserrada puede ser evaluada por sus características naturales como las propiedades físicas y por la precisión de sus dimensiones. La variación dimensional de los productos es síntoma de baja calidad, lo cual dificulta la comercialización y en consecuencia, baja la competitividad de la industria de aserrío (Eleotério *et al.*, 1996). El análisis de la variación en los procesos de transformación primaria en la industria forestal por medio de observaciones y mediciones periódicas está siendo adoptado rápidamente para elevar la calidad y productividad del trabajo forestal (Gatto *et al.*, 2004).

Nájera *et al.* (2006) evaluaron el rendimiento, la calidad y los tiempos de proceso en la madera aserrada de *Quercus sideroxylla* del estado de Durango, para lo cual utilizaron tres sistemas de asierre (tangencial, radial y mixto) rendimiento. Encontraron el mayor rendimiento en madera aserrada utilizando el sistema tangencial con 67.98%, mientras que el menor rendimiento se observó en el radial con 46.99%. El menor tiempo para procesar 1000 pies tabla se observó utilizando el sistema de aserrío tangencial con 44.65 minutos por 74.20 del radial. La desviación estándar del proceso fue de 1.43 mm, reflejando una mala calidad de aserrío en el grueso de las tablas.

Zavala (2003) al aserrar tres especies de encino, determinó una desviación estándar del proceso de 3.93 mm considerado como una reflejo de mala calidad de asierre.

3.10. La productividad

La productividad puede definirse como la relación entre la cantidad de bienes y servicios producidos y la cantidad de recursos utilizados, la productividad se debe relacionar con unidades de tiempo-recurso, para lo cual existen varias opciones, por ejemplo: hora-hombre, hora-brigada, hora-máquina, etc, según las condiciones y el punto de interés primordial. Elevar la productividad significa producir más con la misma cantidad de recursos, o bien producir lo mismo pero con menos recursos (OIT, 1996).

Uno de los elementos constitutivos de la productividad es la calidad y las características de los productos. Una forma de cuantificar este aspecto es por medio de los precios a los cuales se cotizan los productos tanto en el mercado interno como externo. Para ello, en el caso forestal se pueden distinguir dos tipos de productos: a) la madera en rollos, producida directamente en el bosque, y b) los productos finales, producidos a partir del producto anterior en centros de transformación industrial. En el primer tipo la calidad del producto depende del proceso silvícola y, por tanto, se relaciona con la eficiencia silvícola. En el segundo tipo, la calidad depende del proceso industrial y, por tanto, se relaciona con la eficiencia industrial (Menese y Guzmán, 2000).

3.11. Contenido básico de trabajo

Significa la cantidad de trabajo invertido en determinado producto o proceso y su evaluación en horas-hombre u horas-máquina. El contenido básico de trabajo es el tiempo que se invertiría en fabricar un producto, o en

llevar a cabo una operación, si el proceso o método de fabricación fueran perfectos y no hubiese pérdida de tiempo por ningún motivo durante la operación (fuera de las pausas normales de descanso que se dan al obrero). Así pues, el contenido básico de trabajo es el tiempo mínimo irreducible que se necesita teóricamente para obtener por unidad de producción (Beltrán, 2001).

3.12. Estudio del trabajo

El estudio del trabajo se inició en el sector industrial con la intención de mejorar los rendimientos y determinar aspectos salariales por productividad, se le atribuye a Federick Winslow Taylor (1815-1915) su inclusión en el ámbito industrial en Estados Unidos, posteriormente evolucionó hacia la mejora de métodos de trabajo así como a la identificación de riesgos para la seguridad y salud en el puesto de trabajo. El estudio del trabajo se divide en dos grupos:

- Estudio de métodos: Tiene por objeto identificar y organizar las operaciones del proceso de trabajo para proponer una forma más simple de ejecutar la tarea. Se analiza en forma crítica el método y los movimientos empleados en la ejecución del trabajo con la intención de mejorarlos, se trata de una evaluación cualitativa y sirve para planificar lugares, espacios, herramientas, etc.
- Estudio de tiempos: Es una medida cuantitativa del tiempo empleado en cada operación o conjunto de operaciones (ciclo) cuyo objetivo es identificar su secuencia, movimientos de los trabajadores, máquinas y

materiales o frecuencia de utilización, además de reconocer los parámetros de influencia.

El estudio de tiempos consiste en la medida, clasificación sistemática y análisis crítico del tiempo empleado en el trabajo para determinar la eficiencia, productividad y costos de realizar el trabajo, su objetivo se centra en aumentar la productividad para disminuir los costos hasta determinar modelos de tiempo que sirvan de base para la planificación del trabajo (Ambrosio y Tolosana, 2007).

La ciencia del trabajo es un concepto global que abarca todas las ramas de la investigación que tiene por objeto el trabajo humano, entre las que destaca la medicina del trabajo (ergonomía), higiene y seguridad del trabajo, sociología y derechos del trabajo, psicología y pedagogía del trabajo y la organización técnica del trabajo. El propósito principal del estudio del trabajo es proporcionar métodos para evaluarlo cuantitativa y cualitativamente, dedicando al primer aspecto los estudios de tiempo, cuyo objetivo final suele ser la estimación de rendimientos y costos de esquemas alternativos de organización del trabajo. Los estudios de tiempo invierten gran parte de su esfuerzo en valorar la fracción de tiempo empleado en una tarea determinada dentro de un cierto esquema de trabajo (Tolosana, 1999)

3.12.1. Estudio de tiempos y movimientos

El estudio de los tiempos y movimientos de una determinada operación consiste básicamente en el análisis del proceso de producción utilizado con el

fin de mejorar la eficiencia, optimizar el costo y utilizar el personal necesario (menor riesgo, menos cansancio, mayor ingreso). Los propósitos de hacer estudios de trabajo son para generar nuevos o mejores métodos para llevar a cabo una tarea, desarrollar y mejorar los métodos ya existentes, obtener información y conocimiento sobre el consumo de tiempo para mejorar las condiciones de trabajo. Con los estudios de tiempo se pretende determinar el tiempo que un operario requiere para realizar un trabajo determinado. El objetivo es que el estudio de tiempos muestre cómo se está utilizando el mismo. La planificación de las operaciones de aprovechamiento implica un esfuerzo e inversión extra que de alguna manera puede verse justificada. Esta justificación se encuentra al poder optimizar los costos de operación y facilitar el control de la producción durante la ejecución. Una herramienta que contribuye a la planificación es el estudio del trabajo (Leavenworth, 2004).

3.12.1.1. Ciclo de trabajo

Un ciclo de trabajo es la secuencia de elementos que constituyen el trabajo o serie de tareas en observaciones. El número de ciclos en el trabajo que debe cronometrarse depende del grado de exactitud deseado y de la variabilidad de los tiempos observados en el estudio preliminar. Es posible determinar matemáticamente el número de ciclos que deberán ser estudiados con objeto de asegurar la existencia de una muestra confiable (Leavenworth, 2004).

3.12.1.2. Toma de tiempos

Existen dos técnicas para anotar los tiempos elementales durante un estudio. En método continuo consiste en dejar correr el cronómetro registrando los puntos inicial y final de cada elemento de un proceso, mientras las manecillas están en movimiento. En la técnica de regresos a cero el cronómetro se lee a la terminación de cada elemento y luego las manecillas se regresan al cero de inmediato. Al iniciarse el siguiente elemento las manecillas parten de cero. El tiempo transcurrido se lee directamente en el cronómetro al finalizar este elemento y las manecillas se regresan a cero otra vez. Este procedimiento se sigue durante todo el estudio (Leavenworth, 2004).

3.12.2. Clasificación de los elementos de tiempo

Es importante considerar los siguientes elementos en un estudio de tiempos:

- a) Definir las operaciones en cuanto a los tiempos que las componen:
Consiste en separar las fases de trabajo de otros elementos que no forman parte de las operaciones.
- b) Disgregación de las fases de trabajo en las operaciones elementales: Se trata de descomponer un ciclo de trabajo en actividades que permitan conocer al detalle el tiempo invertido.
- c) Análisis e interpretación de los resultados obtenidos: Está en función de una serie de variables explicativas.

El grupo de trabajo 3.04.02 de IUFRO ha propuesto la terminología común definiendo detalladamente los elementos que componen lo diferentes tiempos en los estudios de trabajos forestales:

Tiempo de trabajo: Es la parte del tiempo total medido en el que el sistema de producción considerado a una parte del mismo está directa o indirectamente implicado en la consecución de una tarea específica del trabajo y se divide en:

Tiempo de trabajo productivo: Es la parte del tiempo de trabajo que es empleado en contribuir directamente en la consecución de una tarea específica del ciclo de trabajo. Dentro de este se puede considerar:

Tiempo de trabajo principal: Parte del tiempo de trabajo productivo utilizado en cambiar el objeto del trabajo en lo que respecta a su forma, posición o estado dentro de la definición de las tareas de trabajo.

Tiempo de trabajo complementario: Parte del tiempo de trabajo productivo que es necesario para completar la tarea y que es parte integral del ciclo de trabajo, como posicionamiento de la máquina o el trabajador, limpieza del área, etc.

Tiempo de trabajo Indirecto: Parte del tiempo total que no es empleado directamente en la consecución de una tarea específica

del ciclo de trabajo, pero que se desarrollo como apoyo necesario a la misma.

Tiempo de preparación: Parte del tiempo de trabajo indirecto que se emplea para la preparación de máquinas y las condiciones de la zona de trabajo, se divide a su vez en:

Tiempo de traslado: Parte del tiempo de preparación que se emplea para el transporte de maquinaria y trabajadores a un nuevo sitio de trabajo.

Tiempo de planificación: parte del tiempo de preparación que se emplea en el desarrollo de una estrategia operacional como el recorrido y planificación de acciones a realizar en las áreas de trabajo.

Tiempo de preparación operacional: Parte del tiempo de preparación utilizado en preparar el sistema de aprovechamiento con la finalidad de que se siga trabajando en un sitio en particular, como los cambios de turno, desplazamiento del personal por el monte, etc.

Tiempo de cambio de posición: Parte del tiempo de preparación empleado en instalar y desinstalar el sistema de producción. Se divide en:

Tiempo de instalación: Parte del tiempo de cambio de posición que se emplea en poner a punto el sistema de producción para que sea operativo en una nueva área de trabajo.

Tiempo de desmontaje: Parte del tiempo de cambio de posición que se emplea para poner a punto el sistema de producción para su traslado a una nueva área de trabajo.

Tiempo de servicio: Parte del tiempo de preparación que se emplea para mantener la capacidad de trabajo de las máquinas en el sistema de producción. Se divide en:

Tiempo de reparación: Parte del tiempo de servicio que se emplea en la reparación de daños o desgastes de elementos del sistema de trabajo y que ocurren como interrupciones no cíclicas.

Tiempo de mantenimiento: Parte del tiempo de servicio que se emplea para reparar la degradación progresiva de las herramientas y maquinaria, constituye una interrupción cíclica.

Tiempo de repostado: Parte del tiempo de servicio que se emplea para el repostado de la maquinaria, incluido el traslado de la maquinaria para el repostado.

Tiempo de trabajo auxiliar: Parte del tiempo de trabajo indirecto que se emplea para realizar tareas auxiliares que permiten que el trabajo continúe en un sistema productivo.

Tiempo no operativo: No se realizan tareas indirectas ni auxiliares que contribuyan a la consecución de los objetivos del trabajo, se dividen en:

Tiempo de interrupción: Tiempo del trabajo no operativo que se considera como una interrupción en el trabajo sin conexión directa o indirecta con las tareas que lo componen.

Tiempo de demora relacionada con el trabajo: Parte del tiempo no operativo que está relacionado con la organización del trabajo. Se divide en:

Tiempo de descanso y necesidades personales: Parte del tiempo de demora que se emplea en la alimentación de los trabajadores, el descanso que se estima necesario y las necesidades fisiológicas.

Tiempo de interferencia: Parte del tiempo de demora en el cual no ocurre ninguna actividad debido a la interferencia de una operación necesaria dentro del sistema de producción.

Tiempo de desplazamiento al lugar de trabajo: Parte del tiempo de demora en el cual los operarios se desplazan desde el lugar de residencia al trabajo al principio de la jornada laboral.

Tiempo de comida: Parte del tiempo de demora invertido en el desplazamiento para comer fuera del lugar de trabajo (Björheden, 1991).

CAPÍTULO 4

TIEMPOS Y RENDIMIENTOS DEL APROVECHAMIENTO FORESTAL EN LA REGIÓN DE EL SALTO, DURANGO, MÉXICO

TIME AND PRODUCTIVITY OF FORESTS HARVESTING OPERATIONS FROM EL SALTO, DURANGO, MÉXICO

4.1. RESUMEN

Se analizaron las operaciones de aprovechamiento forestal en cuatro ejidos de la región de El Salto, Durango, México mediante un estudio de tiempos y movimientos para conocer la productividad operacional en los procesos de apeo o derribo manual, desrame, troceo, arrastre y carga mecanizados. Se utilizaron los cronometrajes de 704 ciclos de derribo, 900 de arrastre mecanizado y 1294 de carga mecanizada. Los resultados indicaron que el rendimiento operacional en el ciclo de derribo es de $28.67 \text{ m}^3\text{h}^{-1}$. El arrastre con grúa se estableció en $19.83 \text{ m}^3\text{h}^{-1}$ y una distancia promedio de 43.13 m. El rendimiento en la carga mecanizada fue de $35.27 \text{ m}^3\text{h}^{-1}$. Los

rendimientos mostraron ser sensibles a las variaciones en el diámetro y el largo de los árboles y trozas, así como a las distancias encontradas en los ciclos de trabajo analizados.

Palabras clave: *Derribo, arrastre, carga, ergonomía.*

4.2. ABSTRACT

The timber harvesting process in four ejidos in the region of El Salto, Durango, México was analyzed by means of a time and motions study to know the operational productivity in manual felling, delimiting, bucking, skidding and mechanized loading. Timing was applied to 704 cycles of felling, 900 of skidding with crane, and 1294 of mechanized loading. The results indicate that the operational productivity in manual felling was $28.67 \text{ m}^3\text{h}^{-1}$. The skidding with crane was $19.83 \text{ m}^3\text{h}^{-1}$ at an average distance of 43.13 m. The productivity in loading with crane was $35.27 \text{ m}^3\text{h}^{-1}$. The productivity showed to be sensitive to variations in diameter and length of the trees and logs as well as to the distances found in the analyzed work cycles

Key words: *Felling, skidding, loading, ergonomics.*

4.3. INTRODUCCIÓN

Las operaciones de aprovechamiento forestal por ser un conjunto de actividades complejas, requieren de una buena planeación, puesto que existen

factores biológicos, ambientales, técnicos, humanos y económicos que las afectan directa e indirectamente (Lopes *et al.*, 1999, citado por De Oliveira *et al.*, 2006). El estudio del trabajo brinda herramientas y métodos para evaluar cuantitativa y cualitativamente los rendimientos y esquemas alternativos de organización en las actividades de aprovechamiento forestal, ya que el tiempo consumido por cada uno de los elementos de los ciclos de trabajo, permite estimar la productividad y costos por unidad de producción en relación a ciertos factores relevantes en combinación con medidas ergonómicas y el esfuerzo humano requerido para cada una de esas actividades, permitiendo realizar una buena planeación mediante instrumentos de control que tiendan a mejorar dichas intervenciones (Malinovsky *et al.*, 2006; Björheden, 1991; Miyata *et al.*, 1981). La evaluación del aprovechamiento en las áreas forestales de la región de El Salto, Durango, es de suma importancia dado que no existe información sobre tiempos y rendimientos, por lo que el objetivo del presente estudio es determinar los indicadores de productividad en las operaciones de derribo manual, arrastre y carga mecanizada de tal forma que los resultados constituyan una herramienta de apoyo para la toma de decisiones en la programación de las actividades de extracción, así como elevar la eficiencia y calidad de esta importante actividad económica.

4.4. MATERIALES Y MÉTODOS

4.4.1. Localización del área de estudio

El estudio se realizó en bosques naturales de los ejidos El Brillante, La Victoria, San Pablo y La Campana del municipio de Pueblo Nuevo, Durango, los cuales forman parte de la región forestal de El Salto, que se localiza en el sistema montañoso denominado Sierra Madre Occidental. Las alturas sobre el nivel del mar fluctúan entre 1,400 y 2,600 metros. El clima es semi-húmedo templado o semi-frío, que se torna templado o semi-seco en el lado oriental de la sierra. Las especies predominantes son *Pinus cooperi*, *P. durangensis*, *P. leiophylla*, *P. teocote* y *P. ayacahuite*. La estructura del bosque es resultado de segundo y tercer crecimiento y pueden verse en general dos doseles en el estrato arbóreo: ocupando los niveles más altos los pinos, cuya altura alcanzan un máximo de más de 20 metros, y los más bajos los encinos con diferentes especies del género *Quercus*. En el estrato inferior, los géneros más frecuentes son *Junniperus*, *Quercus* y *Arbutus* (UCODEFO 6, 1997). La pendiente promedio de las áreas estudiadas fue del 15%. Las prácticas silvícolas utilizadas en los predios son las relativas al método de desarrollo silvícola (MDS) y variantes de selección.

4.4.2. Métodos y maquinaria de aprovechamiento usados en la región

El apeo o derribo de los árboles se realiza con motosierras, generalmente las trozas se cortan de 3.0 a 6.0 metros de largo y diámetro mínimo de 20.0 centímetros en caso de trocería para aserrado y de 10.0 a 20.0 cm con longitudes de 1.22 a 2.44 m en la trocería para productos secundarios. El arrastre se hace con el apoyo de grúas mecánicas, skidder y tracción animal (bueyes de arrastre). La carga se realiza en forma manual y/o mediante grúas, las cuales son operadas por un equipo integrado por un motosierrista, dos cableros que enganchan y controlan el arrastre y carga de las trozas, un operador de grúa y un limpiabosques (Smartwood, 2007; 2006; 2005; 2004).

4.4.3. Métodos

Para su estudio, las operaciones de aprovechamiento se dividieron en ciclos de trabajo como sigue:

- Derribo
- Arrastre mecanizado
- Carga mecanizada

Los ciclos de trabajo se identificaron de acuerdo a Björheden (1991) obteniendo las siguientes actividades:

Tiempo Productivo: Se compone por tiempos principales de trabajo, complementarios, de soporte al trabajo, preparatorios y de servicio.

- Derribo: (tiempo de planeación, desplazamiento entre árboles, remoción de obstáculos, derribo, desrame, troceo y tiempo de servicio a la motosierra).
- Arrastre mecanizado: (desplazamiento a la troza, enganche, arrastre, desenganche, acomodo, amarre de gallos y tiempo de planeación).
- Carga mecanizada: (acomodo del camión, acomodo del remolque, desplazamiento del camión, desplazamiento a las trozas, enganche y carga de las trozas, acomodo y amarre de la carga).

Tiempo improductivo: Se compone por los tiempos de disturbios, retrasos, descansos, alimentación e interferencias.

- Derribo: (descanso del operador, bloqueo de la espada de la motosierra y de los árboles).
- Arrastre mecanizado: (bloqueo de trozas y descansos de los operarios).
- Carga mecanizada: (descansos de los operarios).

4.4.3.1. Tamaño de la muestra

Para estimar el número de ciclos de trabajo necesarios y alcanzar un error de muestreo del 10% con una confiabilidad del 95% en cada una de las actividades del proceso de aprovechamiento forestal, se realizó un muestreo de acuerdo con lo recomendado por Barnes (1968) para aplicar la siguiente expresión:

$$n = \frac{t^2 \times CV^2}{E^2}$$

Donde:

n = Numero de observaciones necesarias para estimar el rendimiento en los ciclos de trabajo.

t = Valor de t , para un nivel de probabilidad deseado ($n-1$) grados de libertad

CV = Coeficiente de variación en porcentaje.

E = Error de muestreo, expresado en porcentaje.

De acuerdo a lo anterior, el número de ciclos de trabajo se estimó como se muestra en la Tabla 4.1.

Tabla 4.1. Ciclos de trabajo requeridos y colectados en las operaciones de aprovechamiento forestal.

Ciclo de trabajo	Ciclos requeridos (n)	Ciclos colectados (n)	Error de muestreo (%)
Derribo	294	704	6.46
Arrastre mecanizado	420	900	6.83
Carga mecanizada	394	1294	5.51

La información de campo se colectó durante los años 2008 y 2009 en diversas áreas de corta de los ejidos bajo estudio. La distribución de los ciclos de trabajo fue como se indica en la Tabla 4.2.

Tabla 4.2. Distribución de los ciclos de trabajo por ejido.

Ciclo de trabajo	El Brillante	La Victoria	La Campana	San Pablo	Total
Derribo	113	282	167	142	704
Arrastre mecanizado	146	323	254	177	900
Carga mecanizada	306	257	401	330	1294

4.4.3.2. Tiempos y rendimientos

Los datos del rendimiento operacional se obtuvieron mediante un estudio de tiempos y movimientos de los ciclos de trabajo de las operaciones de aprovechamiento forestal. Para tal efecto se utilizó el método de “vuelta a cero” descrito por Villagómez y García (1986) el cual consiste en tomar el cronometraje de los diferentes ciclos de trabajo de inicio a fin y regresar el cronómetro a “cero” para iniciar el cronometraje de un nuevo ciclo de trabajo; la precisión de cronometraje fue de 1/100 de segundo. Para determinar el volumen de los árboles derribados fueron utilizados los modelos biométricos locales, mientras que para la cubicación de las trozas arrastradas y cargadas se utilizó la fórmula de Smalian (Husch *et al.*, 2003). Con los datos del tiempo y dimensiones de las trozas fue posible estimar los rendimientos en metros cúbicos por hora de trabajo en cada etapa de las operaciones de aprovechamiento forestal mediante la siguiente ecuación (López *et al.*, 2005).

$$R(m^3h^{-1}) = \frac{3600 \times v}{t}$$

Donde:

$R(m^3h^{-1})$ = Rendimiento expresado en metros cúbicos por hora de trabajo.

v = Volumen unitario del fuste (m^3)

t =Tiempo de trabajo (s)

4.4.3.3. Procesamiento de datos

Con lo anterior, se obtuvo información referente a:

- Tiempos productivos e improductivos.
- Tiempos totales por ciclo de trabajo.
- Rendimiento en m^3 por hora de trabajo.

4.4.3.4. Análisis estadístico

Para evaluar la existencia de diferencias significativas entre tiempos y rendimientos promedio por categorías de diámetro, altura y distancias; se realizó la prueba de comparación múltiple de Duncan a un nivel de significancia de 0.05. El proceso del análisis de datos se llevó a cabo utilizando el paquete estadístico SAS (Statistical Analysis System) Versión 9.1

4.5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.5.1. Derribo manual

La Tabla 4.3 muestra el rendimiento del ciclo de derribo manual con valores de 0.89 a 185.21 m^3h^{-1} y un promedio de 28.67 m^3h^{-1} , la duración del ciclo de trabajo se estableció entre 0.19 a y 34.18 minutos y un promedio de 3.49 minutos de los cuales el 96% del tiempo pertenece al tiempo productivo. Estos valores fueron influenciados por la existencia de diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre categorías diamétricas, de altura de los árboles y por la distancia entre los árboles a derribar.

Tabla 4.3. Tiempos y rendimientos generales en el ciclo de derribo.

Variable	Ciclos (n)	Media	Desv Std	Máximo	Mínimo
Características del arbolado derribado					
Diámetro normal (m)	704	0.36	0.11	0.72	0.15
Altura total (m)		19.08	4.83	33.14	4.87
Volumen (m ³ r)		1.22	0.96	5.56	0.09
Distancia entre árboles (m)		24.56	20.19	190.00	3.00
Tiempo productivo (min)					
Tiempo de planeación	704	0.08	1.04	15.79	0.00
Desplazamiento entre árboles		0.42	0.45	3.18	0.00
Remoción de obstáculos		0.01	0.08	1.01	0.00
Derribo del árbol		0.77	0.75	14.47	0.11
Desrame del árbol		0.73	1.08	7.53	0.00
Troceo del árbol		1.06	1.08	15.51	0.00
Tiempo de servicio a la motosierra		0.21	1.36	18.81	0.00
Tiempo improductivo (min)					
Bloqueo de la motosierra	704	0.01	0.17	3.21	0.00
Descanso del operador		0.11	1.11	17.54	0.00
Bloqueo de árboles		0.06	1.17	30.54	0.00
Indicadores de productividad en la operación de derribo					
Tiempo productivo (min)	704	3.30	2.94	24.56	0.19
Tiempo improductivo (min)		0.19	1.61	30.54	0.00
Tiempo total del ciclo de trabajo (min)		3.49	3.49	34.18	0.19
Rendimiento (m ³ h ⁻¹)		28.67	24.46	185.21	0.89

De lo anterior, los rendimientos en el derribo varían desde 16.70 m³h⁻¹ en árboles con diámetros normales entre los 15 y 20 cm hasta 64.14 m³h⁻¹ en arbolado con diámetros mayores a 60 cm, con una duración por ciclo de derribo de 1.72 a 8.10 minutos (Tabla 4.4).

Tabla 4.4. Tiempos y rendimientos del derribo por categorías de diámetro, altura y distancias entre árboles.

Categoría	Ciclos (n)	Tiempo productivo (min)	Tiempo improductivo (min)	Tiempo total (min)	Rendimiento (m^3h^{-1})
Por categoría diamétrica del arbolado (cm)					
15-20	45	1.69 e	0.02 b	1.72 d	16.70 c
20.1-30	203	1.78 e	0.14 b	1.91 d	22.90 c
30.1-40	229	3.22 d	0.20 b	3.42 c	24.85 c
40.1-50	158	4.52 c	0.29 b	4.81 b	37.06 b
50.1-60	53	5.99 b	0.01 b	6.00 b	41.77 b
>60.1	16	7.17 a	0.93 a	8.10 a	64.14 a
Por categoría de altura del arbolado (m)					
4-10	34	2.10 b	0.00 a	2.10 b	7.85 c
10.1-20	356	2.53 b	0.04 a	2.57 b	24.89 b
>20.1	314	4.29 a	0.38 a	4.67 a	35.21 a
Por distancia entre árboles por derribar (m)					
3-20	383	2.77 c	0.17 a	2.94 c	29.56 a
20.1-40	197	3.28 c	0.23 a	3.51 cb	31.82 a
40.1-60	110	4.63 b	0.21 a	4.84 b	21.79 ab
>60.1	14	7.41 a	0.18 a	7.59 a	14.07 b

*Medias con la misma letra no son significativamente diferentes $\alpha=0.05$

La altura de los árboles es un factor que afecta el rendimiento del derribo manual pues en árboles con alturas de 4 a 10 m el rendimiento es de $7.85 m^3h^{-1}$, mientras que en árboles con alturas mayores a 20 m, el rendimiento es del orden de los $35 m^3h^{-1}$ en ciclos de trabajo de 2.10 a 4.67 minutos. En lo que respecta a la influencia que tiene la distancia entre árboles a derribar, los resultados mostraron un rendimiento promedio de $28 m^3h^{-1}$ en distancias entre árboles de 3.0 a 60.0 m, mientras que para distancias mayores a los 60.0 m, el rendimiento se redujo hasta los $14 m^3h^{-1}$. La duración de los ciclos de trabajo se estableció de 2.94 a 7.59 minutos.

Wang *et al.* (2004) estimaron el ciclo de derribo manual en bosques de los Apalaches en West Virginia (EUA), compuesto por *Quercus rubra*, *Betula lenta*, *Aacer rubrum*, *Aacer saccharum*, *Tilia americana* y *Quercus prinus*, en un tiempo de 1.08 a 18.12 minutos estableciéndose el promedio en 4.57 minutos para árboles con diámetros de 20 a 142 cm, con promedio de 40 cm y alturas de 2.4 a 17.0 m, con promedio de 9.0 m; distancias entre árboles de 1 a 34 m, con promedio de 10.0 m y volúmenes por árbol de 0.07 a 3.11 m³, con promedio de 0.77 m³; el rendimiento en el derribo fue de 1.67 a 34.74 m³h⁻¹ con un promedio de 10.25 m³h⁻¹. El ciclo de derribo fue 24% menor en los bosques de El Salto, así como 37% mayor el volumen por árbol derribado, lo que explica parte de las diferencias en los rendimientos de ambos estudios.

4.5.2. Arrastre mecanizado

En la Tabla 4.5 se observan los rendimientos generales del ciclo de arrastre mecanizado con grúa y skidder, los cuales se establecieron entre 0.60 y 166 m³h⁻¹ con un promedio de 19.83 m³h⁻¹. La distancia promedio de arrastre fue de 43.0 m con valores extremos de 10.0 a 150.0 m y una duración por ciclo de arrastre de 2.71 minutos de los cuales el 90% correspondió al tiempo productivo. Sin embargo, los tiempos y rendimientos en el ciclo de arrastre mecanizado también fueron influenciados por las diferentes categorías de diámetro, longitud y la distancia de arrastre de las trozas al mostrar diferencias significativas ($p \leq 0.05$).

Tabla 4.5. Tiempos y rendimientos generales en el ciclo de arrastre mecanizado.

Variable	Ciclos (n)	Media	Desv Std	Máximo	Mínimo
Características de las trozas arrastradas					
Diámetro menor (m)	900	0.27	0.13	0.78	0.10
Diámetro mayor (m)		0.37	0.13	0.90	0.15
Largo del trozo (m)		6.53	3.04	20.12	4.88
Volumen (m ³ r)		0.56	0.42	3.04	0.06
Distancia de arrastre (m)		43.13	32.30	150.00	10.00
Tiempo productivo (min)					
Desplazamiento a la troza	900	0.71	0.48	3.16	0.02
Enganche de la troza		0.29	0.29	2.32	0.01
Arrastre de la troza		1.25	1.60	13.05	0.02
Desenganche de la troza		0.07	0.05	0.35	0.00
Acomodo de las trozas		0.06	0.61	16.29	0.00
Amarre de gallos		0.05	0.65	16.29	0.00
Tiempo de planeación		0.02	0.21	4.60	0.00
Tiempo improductivo (min)					
Bloqueo de las trozas	900	0.26	0.96	13.22	0.00
Descanso de los trabajadores		0.01	0.13	2.87	0.00
Indicadores de productividad en la operación de arrastre mecanizado					
Tiempo productivo (min)	900	2.45	2.15	22.36	0.14
Tiempo improductivo (min)		0.26	0.96	13.22	0.00
Tiempo total del ciclo de trabajo (min)		2.71	2.61	27.12	0.14
Rendimiento (m ³ h ⁻¹)		19.83	20.22	166.33	0.60

En ese sentido, se encontraron rendimientos en el arrastre mecanizado de 10.92 m³h⁻¹ para trozas de 13 a 20 cm de diámetro promedio y 43.07 m³h⁻¹ en trozas mayores a 60 cm, con duración de los ciclos de trabajo de 1.99 a 3.89 minutos (Tabla 4.6).

Tabla 4.6. Tiempos y rendimientos del arrastre por categorías de diámetro, largo y distancias de arrastre.

Categoría	Ciclos (n)	Tiempo productivo (min)	Tiempo improductivo (min)	Tiempo total (min)	Rendimiento (m ³ h ⁻¹)
Por el diámetro promedio de las trozas (cm)					
13-20	183	1.80 d	0.19 b	1.99 c	10.92 d
20.1-30	257	2.19 cd	0.32 b	2.52 bc	15.71 cd
30.1-40	248	2.85 bc	0.24 b	3.09 ab	19.50 c
40.1-50	136	2.56 bc	0.11 b	2.67 bc	31.25 b
50.1-60	50	3.10 b	0.84 a	3.95 a	32.09 b
>60.1	26	3.82 a	0.07 b	3.89 a	43.07 a
Por el largo de las trozas (m)					
4-6	604	2.69 a	0.25 a	2.94 a	16.99 c
6.1-7.0	76	2.01 b	0.36 a	2.37 ab	23.27 b
7.1-12	149	1.95 b	0.25 a	2.20 b	22.19 b
>12.1	71	1.89 b	0.29 a	2.18 b	35.31 a
Por la distancia de arrastre (m)					
10-20	280	1.56 d	0.13 b	1.69 d	28.58 a
20.1-40	252	2.27 c	0.36 ab	2.64 c	19.87 b
40.1-60	169	2.68 c	0.26 ab	2.94 c	15.55 bc
60.1-80	83	3.57 b	0.29 ab	3.86 b	10.41 c
80.1-100	63	3.53 b	0.16 b	3.70 b	12.25 c
>100.1	53	4.17 a	0.55 a	4.72 a	10.80 c

*Medias con la misma letra no son significativamente diferentes $\alpha=0.05$

La longitud de las trozas influyó en el rendimiento de arrastre, de tal forma que es posible obtener rendimientos de 17 m³h⁻¹ en arrastre de trocería de 4 a 6 m de largo y 35.31 m³h⁻¹ en trozas mayores a 12 m de largo. La duración de los ciclos de arrastre en este caso oscilaron entre los 2.18 y 2.94 minutos. Se observó un decremento en el rendimiento a medida que crece la distancia de arrastre, por lo que para distancias de 10.0 a 20.0 m, corresponde un rendimiento de 28.58 m³h⁻¹ y para distancias mayores a 100 m el rendimiento se reduce hasta los 10.80 m³h⁻¹.

Wang *et al.* (2004) determinaron un tiempo de 5.80 a 29.56 minutos por ciclo de arrastre, estableciéndose el promedio en 21.75 minutos para trozas de 24 a 53 cm de diámetro (promedio de 37 cm) con largo de 5.5 a 14.6 m (promedio de 9.3 m), volumen de 0.82 a 4.81 m³ (promedio de 2.95 m³), distancia de arrastre de 15.24 a 1219.0 m (promedio de 754.0 m) y rendimientos de arrastre de 2.26 a 13.36 m³h⁻¹ (promedio de 8.18 m³h⁻¹). En comparación a los resultados obtenidos en los bosques de la región de El Salto, la duración del ciclo de arrastre fue 88% menor, lo cual se explica porque la distancia de arrastre resultó menor en 94% a la registrada en los bosques de hojas de los Apalaches, y aunque el volumen arrastrado por ciclo fue 81% mayor en esos bosques, el rendimiento del arrastre mecanizado resultó ser 57% mayor en Durango.

4.5.3. Carga mecanizada

La Tabla 4.7 contiene los resultados generales del ciclo de carga mecanizada cuyos rendimientos fluctuaron entre 0.03 y 332.27 m³h⁻¹, estableciéndose el promedio en 35.27 m³h⁻¹. La duración del ciclo de carga fue de 2.80 minutos con valores extremos de 256.08 hasta 0.07 minutos de los cuales el 100% correspondió al tiempo productivo. Las variables que influenciaron el rendimiento en la carga mecanizada al observar diferencias significativas ($p \leq 0.05$) fueron las categorías diamétricas y la longitud de las trozas.

Tabla 4.7. Tiempos y rendimientos generales en el ciclo de carga mecanizada.

Variable	Ciclos (n)	Media	Desv Std	Máximo	Mínimo
Características de las trozas cargadas					
Diámetro menor (m)	1294	0.27	0.11	0.65	0.08
Diámetro mayor (m)		0.35	0.12	0.82	0.10
Largo del trozo (m)		5.97	1.79	13.41	4.00
Volumen (m ³ r)		0.49	0.34	2.16	0.03
Distancia de carga (m)		13.94	15.34	50.00	1.00
Tiempo productivo (min)					
Acomodo del camión	1294	0.10	0.54	7.78	0.00
Acomodo del remolque		0.03	0.31	4.67	0.00
Desplazamiento del camión		1.46	13.96	250.00	0.00
Desplazamiento a las trozas		0.19	0.18	2.56	0.01
Enganche y carga de trozas		0.80	0.71	10.21	0.02
Acomodo de carga		0.08	0.33	5.32	0.00
Amarre de carga		0.14	0.92	11.41	0.00
Tiempo improductivo (min)					
Descanso de los trabajadores	1294	--	--	--	--
Indicadores de productividad en la operación de carga mecanizada					
Tiempo productivo (min)	1294	2.80	14.38	256.08	0.07
Tiempo improductivo (min)		--	--	--	--
Tiempo total del ciclo de trabajo (min)		2.80	14.38	256.08	0.07
Rendimiento (m ³ h ⁻¹)		35.27	34.79	332.27	0.03

El aumento en el diámetro promedio de las trozas mostró un incremento en el rendimiento de la operación de carga, por lo que para trozas con diámetros entre los 13 a 20 cm, corresponde un rendimiento de 10.44 m³h⁻¹, mientras que para trozas con diámetros mayores a 60 cm, el rendimiento de carga es del orden de los 130 m³h⁻¹ (Tabla 4.8).

Tabla 4.8. Tiempos y rendimientos de la carga por categorías de diámetro y largo de las trozas.

Categoría	Ciclos (n)	Tiempo productivo (min)	Tiempo improductivo (min)	Tiempo total (min)	Rendimiento (m ³ h ⁻¹)
Por el diámetro promedio de las trozas (cm)					
13-20	247	4.34 a	--	4.34 a	10.48 f
20.1-30	432	2.42 a	--	2.42 a	25.91 e
30.1-40	364	2.27 a	--	2.27 a	40.91 d
40.1-50	178	3.09 a	--	3.09 a	59.75 c
50.1-60	58	1.97 a	--	1.97 a	75.51 b
>60.1	15	1.22 a	--	1.22 a	130.04 a
Por el largo de las trozas (m)					
4-6	806	1.62 c	--	1.62 c	41.48 a
6.1-7.0	257	2.69 bc	--	2.69 bc	30.99 b
7.1-12	199	6.19 b	--	6.19 b	18.58 c
>12.1	32	12.51 a	--	12.51 a	17.15 c

*Medias con la misma letra no son significativamente diferentes $\alpha=0.05$

En lo que respecta a la longitud de las trozas, la tendencia observada fue que a medida que aumenta el largo de las trozas disminuye el rendimiento de carga, debido a que se requiere de mayor tiempo para realizar las maniobras con la grúa para acomodar las trozas en el camión; de tal forma que para trozas entre los 4 a 6 m de largo, el rendimiento de carga es de 41.48 m³h⁻¹ y para trozas mayores a 12 m de largo el rendimiento se reduce hasta 17 m³h⁻¹.

Mousavi (2009) reporta para bosques del norte de Irán compuestos por *Fagus orientalis*, *Carpinus betulus*, *Alnus subcordata* y *Acer platanoides*, rendimientos de 27.3 a 34.0 m³ por hora efectiva de trabajo en trozas de 5.2 a 7.8 de largo, valores que coinciden con los obtenidos en el presente estudio para trozas de 6.1 a 7.0 m de largo.

4.6. CONCLUSIONES

Los indicadores de productividad por categorías de diámetro, de altura de los árboles, largo de las trozas y distancias de trabajo que se estimaron en el presente estudio, representan una herramienta para mejorar la planeación de máquinas, insumos y mano de obra necesarias en las actividades de aprovechamiento forestal de la región de El Salto, Durango, con lo cual se busca contribuir en elevar la calidad y competitividad de la actividad forestal.

4.7. LITERATURA CITADA

- Barnes, R. 1968. Motion and time study: design and measurement of work. 6ª ed. New York: John Willey & Sons. 799 p.
- Björheden, R. 1991. Basic time concepts for international comparisons of time study reports. *International Journal of Forest Engineering*. 2(2):33-39.
- Björheden, R., Thompson, M. A. 2000. An international nomenclature for forest work study. *In*: Field, David B., (ed.) *Proceedings, IUFRO 1995 S3:04 subject area: 20th World Congress; 1995 August 6-12; Tampere, Finland. Miscellaneous Report 422*. Orono, ME: University of Maine: 190-215 pp.
- Husch, B., Miller, C., Beers, T. 2003. *Forest mensuration*. Krieger Publishing. New York, USA. 402 p.
- Koroleff, A. 1953. Investigaciones sobre el rendimiento de la explotación forestal. *Unasylva*. 7(4):35-36.

- Lopes, S.E. 2007. Análise técnica económica de um sistema de colheita florestal. Tesis Doctoral. Universidade Federal de Viçosa. 113 p.
- López, S.E., Ambrosio Y.T., Vignote, S. 2005. Tiempos y rendimientos de dos sistemas de aprovechamiento de madera de *Populus* sp. en Castilla-León (España). *Ciencia Forestal en México*. 31(99):73-91.
- Malinovsky, R.A., Malinovsky, R., Malinovsky, J.R., Yamaji, F.M. 2006. Análise das variáveis de influencia na produtividade das máquinas de colheita da madeira em função das características físicas do terreno, do pavimento e do planejamento operacional florestal. *Floresta* 36(2):169-182.
- Miyata, E.S., Steinhilb, H.M., Winsauer, S.A. 1981. Application of work sampling technique to analyze logging operations. Research Paper NC-213. USDA, Forest Service, North Central Forest Experiment Station. 11 p.
- Mousavi, R. 2009. Comparison of productivity, cost and environmental impacts of two harvesting methods in Northern Iran: short-log vs. long-log. Academic Dissertation. Faculty of Forest Sciences, University of Joensuu, Finland. 93 p.
- SAS. 2002. User's Guide: Statics. Ver. 9.1. SAS Institute Inc. 1028 p.
- Smartwood. 2004. Resumen Público de Certificación del Ejido San Pablo. Certificado SW-FM/COC-218. 38 p.
- Smartwood. 2005. Resumen Público de Certificación del Ejido El Brillante. Certificado SW-FM/COC1256. 37 p.
- Smartwood. 2006. Resumen Público de Certificación del Ejido La Victoria. Certificado SW-FM/COC154. 25 p.

- Smartwood. 2007. Resumen Público de Certificación del Ejido La Campana. Certificado SW-FM/COC-1158. 14 p.
- Tolosana, E. 1999. El aprovechamiento forestal mecanizado en las cortas de mejora de *Pinus sylvestris* L. Modelos de tiempos, rendimientos y costes y estudio de sus efectos ambientales. Tesis Doctoral. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes. Universidad Politécnica de Madrid. 222 p.
- UCODEFO 6. 1997. Memoria general de predios del programa de manejo forestal 1997-2007. El Salto, Durango, México. 207 p.
- Villagómez, L.M., García, A.D. 1986. El estudio de trabajo y su aplicación en las operaciones de abastecimiento forestal. *Ciencia Forestal en México*. 59(11):162-180.
- Wang, J., Long, Ch., Mcneel, J., Baumgras, J. 2004. Productivity and cost of manual felling and cable skidding in central Appalachian hardwood forests. *Forest Product Journal* 54(12):45-51.

CAPÍTULO 5

IMPACTOS DEL DERRIBO Y ARRASTRE EN LAS OPERACIONES FORESTALES DE EL SALTO, DURANGO, MÉXICO

IMPACTS OF THE FELLING AND SKIDDING IN THE FOREST HARVESTING IN EL SALTO, DURANGO, MEXICO

5.1. RESUMEN

Para cuantificar los impactos de las operaciones de derribo y arrastre sobre el arbolado residual y el suelo forestal en la región de El Salto, Durango, se realizó el seguimiento al derribo y arrastre de 320 árboles comerciales en los ejidos El Brillante, La Campana, San Pablo y La Victoria, registrando los efectos directos en el fuste y la copa de los árboles residuales. Para evaluar los disturbios al suelo se establecieron 1182 puntos en las áreas de corta de los ejidos bajo estudio y se midieron 50 huellas de arrastre por ejido para conocer el volumen de suelo removido por el arrastre de la trocería. Los resultados mostraron que la efectividad del derribo en la región es del 80%, los daños al arbolado residual se estimaron en 3.5 árboles por cada árbol derribado y

arrastrado, la operación que más daños causa es el derribo y las especies que fueron más dañadas son las del género *Pinus* sp con el 42% del total. Se estimó que los disturbios de moderados a fuertes se presentan en el 24% de las áreas bajo aprovechamiento y por cada metro cúbico de madera que es arrastrada, se remueven 0.481 metros cúbicos de suelo y materia orgánica.

Palabras clave: *Disturbios al suelo, daños al arbolado residual, aprovechamiento forestal, bosque natural, impactos ambientales, Durango.*

5.2. ABSTRACT

To quantify the impacts of felling and skidding on residual trees and the forest soil in the region of El Salto, Durango, the monitoring of 320 commercial trees felled and skidded was carried out in the Ejido El Brillante, La Campana, San Pablo and La Victoria, registering the direct effects in the stem and crown of the residual trees. In order to evaluate the soil disturbances 1182 points in the logging areas of study were established as well as the measurement of 50 tracks of skid trails by ejido to know the volume of soil removed from the skidding operation. The results showed that the felling effectiveness in the region is 80%, the damages to the residual trees were estimated in 3.5 trees by each tree felled and skidded, the operation that more damage causes is the felling and the species that are more damaged is the *Pinus* species with 42%. It was estimated that disturbances from moderates to strong are presented in 24% of the logging areas and for each cubic meter of skidded wood, 0.481 cubic meters of soil and organic matter are removed.

Key words: *Soil disturbance, damages to residual trees, harvesting, natural forest, environmental impacts, Durango.*

5.3. INTRODUCCIÓN

Toda actividad de aprovechamiento forestal causará irremediablemente algún nivel de impacto, ya sea a la masa remanente, al suelo y/o las fuentes de agua (Contreras *et al.*, 2001). Muchos estudios se han enfocado en aumentar el rendimiento y disminuir los costos de las operaciones de abastecimiento forestal, sin embargo, la evaluación de los impactos que ocasionan las operaciones forestales es una tendencia que cada vez va ganado interés por la importancia ecológica que tiene la conservación y buen manejo de los recursos naturales (Limbeck-Lilienau, 2003). Las operaciones de aprovechamiento forestal causan varios efectos en el bosque residual, los cuales pueden ser graves o menores dependiendo de la intensidad del aprovechamiento, estos efectos pueden incluir cambios en las condiciones edáficas, daños y pérdida de árboles, apertura del dosel o claros y disminución de la cobertura, alteraciones en la estructura y composición florística, erosión de suelos, contaminación del agua, disminución de la vida silvestre, alteración del hábitat, cambios en la estructura del rodal, calidad de la madera y volumen de los árboles (Toledo *et al.*, 2001; Martins *et al.*, 1997; Cline *et al.*, 1991). Una vez que los aprovechamientos forestales se tecnificaron, se reconocieron los impactos en los árboles residuales y al suelo (Eroğlu *et al.*, 2009; Akay, 2006). Cada sistema de aprovechamiento forestal causa distintos daños al arbolado residual

y al suelo forestal, la inadecuada aplicación y supervisión de las operaciones de apertura de caminos, derribo y arrastre pueden ocasionar serios daños en bosques naturales debido a la existencia de varias especies y árboles de diversas clases de edad (Yilmaz y Akay, 2008; Solgi y Najafi, 2007; Han-Sup y Kellogg 2000). Un daño excesivo en los árboles residuales puede disminuir su crecimiento y por tanto los beneficios económicos en el futuro. Cualquier daño a lo largo del fuste durante las operaciones forestales, con frecuencia baja su calidad y valor potencial (Clatterbuck, 2006; Han-Sup y Kellogg, 2000a). Los árboles dañados en la parte interna de la corteza reaccionan formando áreas secas que ocasionan el bloqueo de vasos y barreras para la savia. Sin embargo, se requiere la remoción de la corteza para que aumente el riesgo de ataque por hongos e insectos, lo que depende, además, del tamaño de la herida, estación climática del año, región geográfica y especie arbórea (Wästerlund, 1992; citado por Lineros *et al.*, 2003). Para reducir los daños se deben tomar algunas medidas preventivas como asegurar las direcciones de caída de los árboles durante el derribo, planear adecuadamente los carriles y brechas de acceso, capacitar a los trabajadores forestales en técnicas de trabajo de bajo impacto, reducir las distancias de arrastre, entre otras (Yilmaz y Akay, 2008). Existen diversas metodologías para la evaluación de los efectos del aprovechamiento las cuales deberían implementarse una vez concluido los trabajos o durante el avance de las operaciones (Contreras *et al.*, 2001). En el estado de Durango no existe información relativa al nivel de daños que ocasionan las actividades de derribo y arrastre al arbolado residual y al suelo forestal, por lo que el objetivo del presente estudio es cuantificar el efecto de

dichas operaciones en cuatro ejidos forestales de la región de El Salto para documentar los efectos y recomendar las acciones correctivas que tiendan a mejorar los aprovechamientos forestales.

5.4. MATERIALES Y MÉTODOS

5.4.1. Localización del área de estudio

El estudio se realizó en los bosques naturales de los ejidos El Brillante, La Victoria, San Pablo y La Campana del municipio de Pueblo Nuevo, Durango, los cuales forman parte de la región forestal de El Salto, que se localiza en el sistema montañoso denominado Sierra Madre Occidental. Las alturas sobre el nivel del mar fluctúan entre 1,400 y 2,600 metros. El clima es semi-húmedo templado o semi-frío, que se torna templado o semi-seco en el lado oriental de la sierra. Por su ubicación geográfica, la zona presenta diversas condiciones de vegetación, ocurriendo masas puras de encino y pino y en su mayor parte bosques mezclados de pino-encino (UCODEFO 6, 1997).

5.4.2. Métodos y maquinaria de aprovechamiento usados en la región

El derribo del arbolado se lleva a cabo con motosierras y el arrastre se hace con el apoyo de grúas mecánicas, skidder y tracción animal. La carga se realiza en forma manual y con grúa, la cual es operada por un equipo integrado por un motosierrista, 2 cableros que enganchan y controlan el arrastre y carga de las trozas, un operador de grúa y un limpiabosques. Los tratamientos

silvícolas utilizados en los predios son los relativos al Método de Desarrollo Silvícola (MDS) y variantes del Método de Selección (Smartwood, 2007; 2006; 2005; 2004).

5.4.3. Métodos

5.4.3.1. Evaluación de la dirección de caída de los árboles

Para evaluar la dirección de caída de los árboles, se seleccionaron al azar 80 árboles marcados para su derribo en cada ejido, los cuales se clasificaron según los criterios de Cordero y Meza (1992) de acuerdo a las clases siguientes:

- A. Corte bien realizado, no se aprecian daños y los cortes de dirección y de caída están bien orientados.
- B. Corte bien realizado, no se aprecian daños pero cortes de dirección y de caída no están bien orientados.
- C. Fractura de fuste en la parte inferior por caída sobre obstáculo.

Para determinar la calidad de los cortes en el derribo, se empleó la siguiente relación:

$$\% \text{ Tipo de corte} = \frac{\text{Suma de los cortes para clase individual}}{\text{Total de cortes}} \times 100$$

5.4.3.2. Evaluación de los daños al arbolado residual por el derribo y arrastre

Para cuantificar el número y el tipo de daños a la masa remanente por el derribo y arrastre, a partir de la selección de los 80 árboles por ejido, se colectó la información de todos los individuos remanentes afectados por efecto directo de la caída de los árboles, así como de todos los árboles que fueron dañados por el arrastre de los mismos. En la evaluación de daños se recolectó la siguiente información por árbol afectado:

- Especie.
- Diámetro normal o a la base.
- Altura del árbol

Tipo de daño en el árbol:

- Árbol quebrado u oprimido.
- Árbol inclinado.
- Daño superficial a la corteza.
- Madera expuesta.

Causa del daño:

- Derribo.

- Arrastre.

Tipo de daños a la copa:

- Pérdida de menos del 33% de la copa.
- Pérdida de la copa entre 33-67%.
- Pérdida de más del 67% de la copa pero no total.
- Pérdida total de copa.

Para determinar el porcentaje de daños al arbolado residual, se empleó la siguiente relación:

$$\% \text{ Afectación del arbolado} = \frac{\text{Suma de árboles por tipo de daño}}{\text{Total de daños}} \times 100$$

5.4.3.3. Evaluación de los impactos al suelo

Contreras *et al.* (2001) señalan que la evaluación de daños al suelo tiene como fin determinar el nivel de alteración del suelo en la superficie evaluada. La evaluación se realizó mediante un muestreo a lo largo de transectos haciendo observaciones en puntos de evaluación cada 20 m, cubriendo la totalidad de la superficie bajo aprovechamiento, de ésta, correspondieron 312 puntos de muestreo en 13 ha del ejido El Brillante, 238 puntos en 10 ha del ejido La Campana, 245 puntos en 10 ha del ejido San Pablo y 385 puntos en 15 ha del ejido La Victoria. La valoración de los disturbios al suelo se realizó de acuerdo a Cordero y Meza (1992) considerando la siguiente clasificación:

- A. Sin disturbio: materia orgánica en su lugar no hay evidencia de compactación.
- B. Algún disturbio: materia orgánica removida pero en su lugar.
- C. Materia orgánica removida y suelo expuesto.
- D. Suelo removido y exposición de los horizontes inferiores.
- E. Máximo disturbio y compactación obvia.

Para determinar el porcentaje de afectación del suelo, se empleó la siguiente relación:

$$\% \text{ Afectación del suelo} = \frac{\text{Suma de los puntos por clase individual}}{\text{Total de puntos evaluados}} \times 100$$

Adicionalmente, se cuantificó el volumen de suelo removido por el arrastre de las trozas, para lo cual se seleccionaron al azar 50 carriles de arrastre por ejido, realizando mediciones del largo, ancho y profundidad del arrastre y estimando el volumen de remoción del suelo y materia orgánica. Para determinar el volumen de los árboles arrastrados fueron utilizados los modelos biométricos locales, estimándose el volumen de remoción de suelo por efecto del volumen arrastrado en esos mismos carriles.

5.4.3.4. Análisis estadístico

Para evaluar la existencia de diferencias significativas entre volumen de suelo removido por el arrastre de trozas en cada ejido, se realizó la prueba de

comparación de medias de Tukey a un nivel de significancia de 0.05. El proceso del análisis de datos se llevó a cabo utilizando el paquete estadístico SAS (Statistical Analysis System) Versión 9.1

5.5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.5.1. Calidad del derribo

La Figura 5.1 muestra que la efectividad del derribo de árboles en la región de El Salto es del 80%, sin embargo, considerando que esta actividad representa una de las operaciones más peligrosas para los trabajadores forestales, cualquier error sobre una mala dirección de caída puede significar daños al operador, al árbol mismo y a los árboles vecinos (Poschen, 1993), lo anterior es indicativo de que es necesario elevar el nivel de efectividad en el derribo haciendo acopio de técnicas adecuadas sobre derribo direccional de bajo impacto.

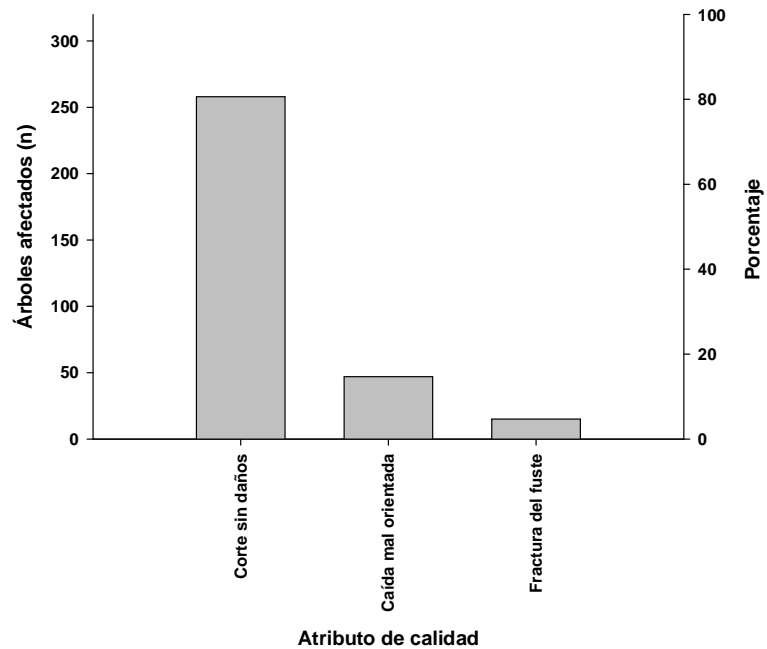


Figura 5.1. Calidad del derribo de árboles en la región de El Salto, Durango

En lo que respecta a la efectividad del derribo por ejido, la Figura 5.2 muestra que en el ejido El Brillante se tiene mayor control en las técnicas de derribo con un 90% de efectividad, mientras que en el ejido La Victoria apenas se alcanzó un 64%, evidenciando la necesidad de mayor capacitación por parte de los operadores de motosierra.

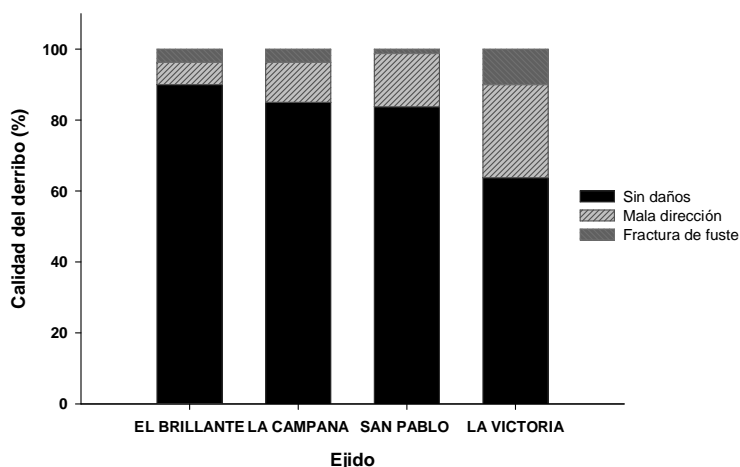


Figura 5.2. Calidad del derribo de árboles por ejido

5.5.2. Afectación por especie

La afectación del derribo y arrastre de trozas fue mayor en las especies de pino a las que se considera de mayor valor económico, de tal forma que los daños representan el 42% del total de las especies dañadas, seguidas por especies de pertenecientes a los géneros *Arbutus* sp, y *Junniperus* sp que en conjunto representaron el 38% de la afectación total, mientras que las especies del género *Quercus* sp representaron el 20% de la afectación (Figura 5.3). En virtud de la proporción de daños en el arbolado de pino, es importante considerar la implementación de medidas tendientes a reducir su afectación.

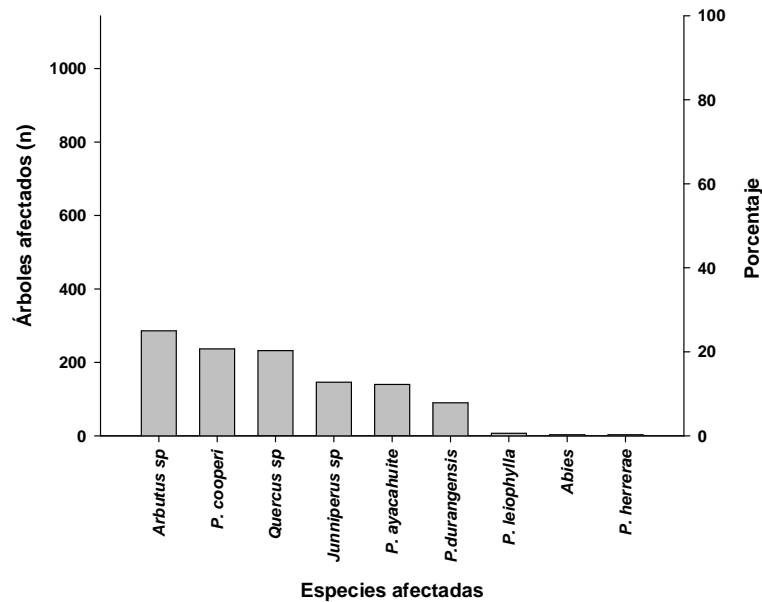


Figura 5.3. Afectación del derribo y arrastre por especie

La afectación del derribo a especies valiosas económicamente fue mayor en el ejido La Victoria con el 54% de daños en las especies de pino, en San Pablo fue del 50% y en El Brillante de 46%, mientras que en el ejido La Campana los daños alcanzaron al 28% de estas especies. En lo que respecta a los géneros poco aprovechados como *Arbutus* sp y *Juniperus* sp, los impactos fueron más marcada en el ejido La Campana con el 64%, seguido por la afectación en el ejido San Pablo que fue de 39%; los ejidos El Brillante y La Victoria registraron 16% y 13% de daños en estas especies. La afectación sobre las especies de encino fue mayor en los ejidos El Brillante y La Victoria, mientras que en La Campana y San Pablo fue de alrededor del 10% (Figura 5.4).

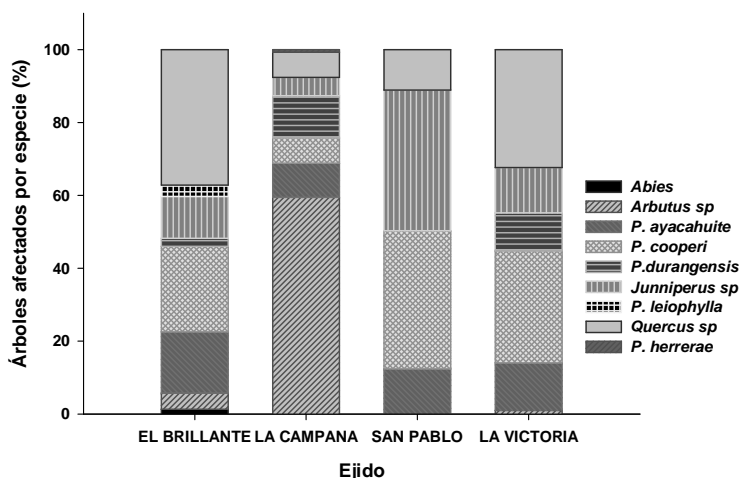


Figura 5.4. Daños del derribo y arrastre por especie y ejido

5.5.3. Afectación del fuste de los árboles residuales por el derribo y arrastre

Los 320 árboles derribados y arrastrados a los que se dio seguimiento, afectaron de forma directa al fuste y copa de 1143 árboles residuales, lo cual indica una afectación de 3.5 árboles residuales por cada árbol derribado y arrastrado. En el derribo, se encontró que 218 árboles de los 320 evaluados generaron un daño en el fuste de 709 árboles residuales de diferentes especies con diámetros de 2 a 52 cm y alturas de 0.30 a 30 m. Lo anterior indica que por cada 10 árboles que son derribados, 7 afectan en forma directa el fuste de 22 árboles residuales. Por lo que respecta al arrastre, se registró la afectación del fuste en 394 árboles residuales de diferentes especies con diámetros de 2 a 63 cm y alturas de 0.25 a 30 m por el arrastre de 116 árboles, lo anterior sugiere que por cada 10 árboles que son arrastrados, 4 afectan en forma directa el fuste de 12 árboles residuales. La Figura 5.5 muestra que el 52% de los árboles dañados por efecto directo del derribo y arrastre de las trozas

correspondió a daños a la corteza en diferentes intensidades que no ponen en riesgo el desarrollo de los árboles, el 19% correspondió a árboles inclinados pero no fracturados, por lo que su recuperación está garantizada y el 29% de los árboles mostraron daños severos que fueron desde heridas con exposición de madera hasta la ruptura del fuste.

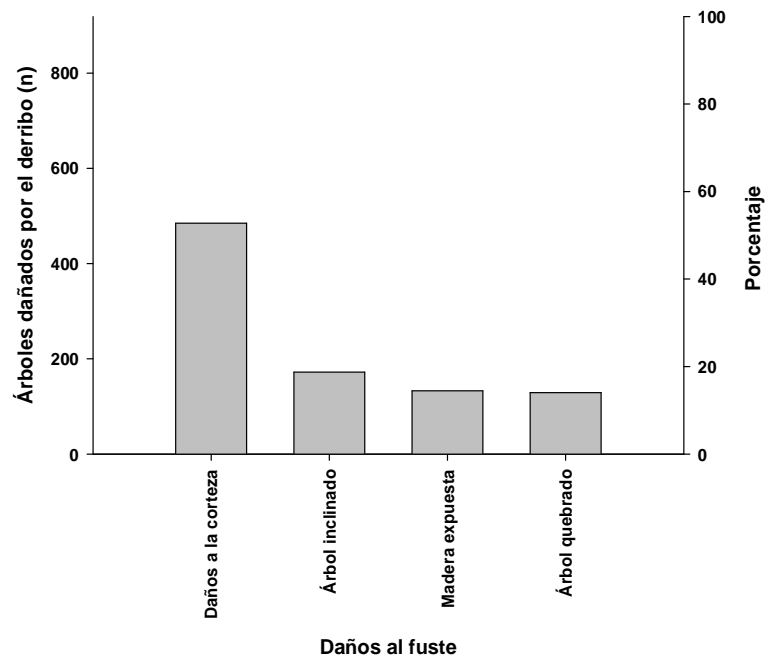
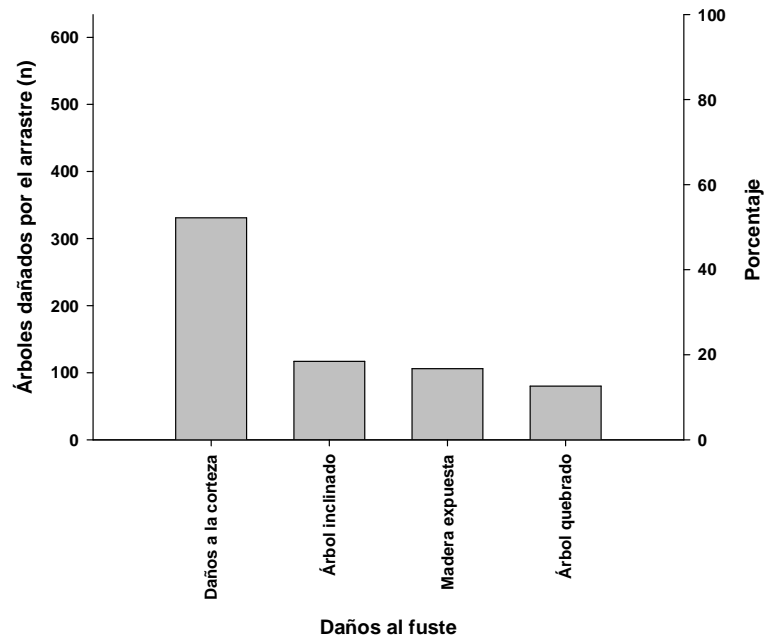


Figura 5.5. Daños al fuste de los árboles residuales

La afectación del derribo en el fuste de los árboles residuales por ejido fue mayor en San Pablo con 80% de árboles con daños superficiales en la corteza o inclinados, mientras que en el ejido La Campana sólo se registró una

afectación de 61%, sin embargo, los daños más severos consistentes en heridas con madera expuesta y fractura del fuste fueron mayor en este ejido con 38%, en los otros ejidos esta afectación llegó al 20%. En lo que respecta al arrastre, la afectación en el fuste por daño superficial a la corteza e inclinación de árboles residuales fue de 65 a 74% siendo mayor en el Ejido El Brillante aunque los daños severos del arrastre fueron menores en ese mismo ejido con 26% (Figura 5.6).

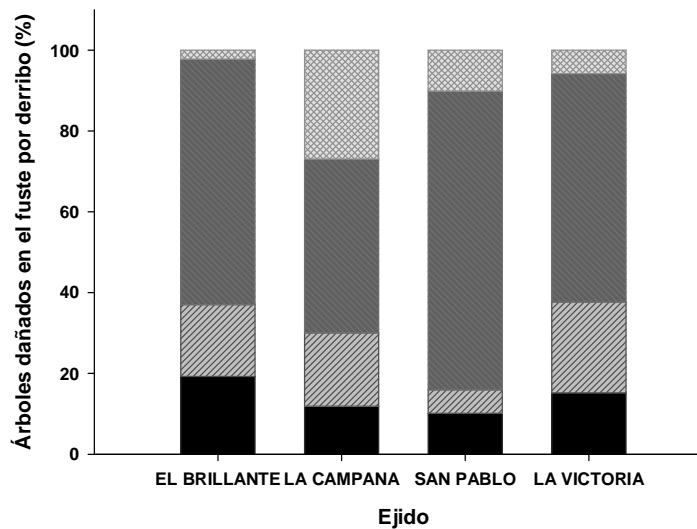
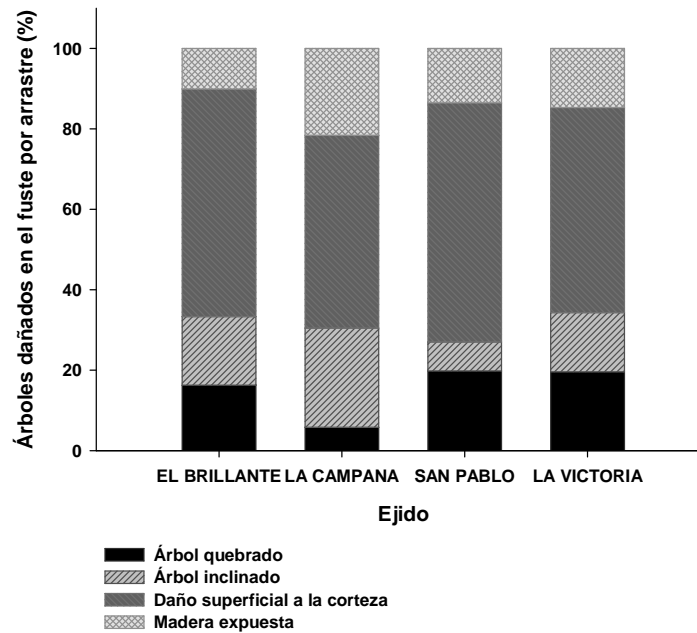


Figura 5.6. Daños al fuste de los árboles residuales por ejido

La Figura 5.7 muestra que los mayores daños a los árboles residuales ocurrieron en los ejidos La Campana y La Victoria, ya que de 10 árboles derribados, 8 provocaron daños directos al fuste de 35 árboles residuales en La Campana y 28 en La Victoria. La afectación en el ejido San Pablo fue de 19 árboles residuales afectados por cada 10 árboles derribados, mientras que en

el ejido El Brillante se observó que por cada 10 árboles derribados, 6 afectan directamente a 16 árboles residuales. En lo que respecta al arrastre, la mayor afectación se observó en el ejido La Campana donde de 10 árboles arrastrados, 5 afectaron directamente el fuste de 20 árboles residuales; en el ejido El Brillante por cada 10 árboles arrastrados, 3 afectaron 10 árboles en pie; en San Pablo, de cada 10 árboles arrastrados, 5 afectaron a 9 árboles residuales y en La Victoria, de cada 10 árboles arrastrados, 2 dañaron directamente el fuste de 8 árboles residuales.

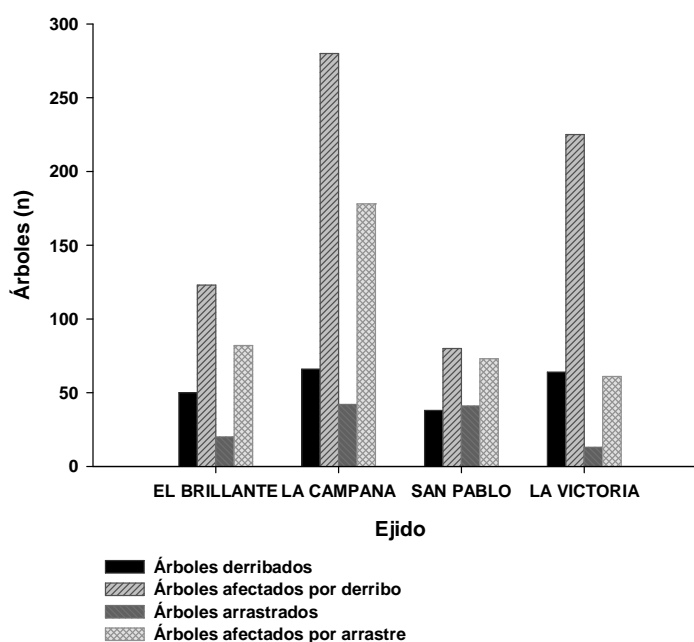


Figura 5.7. Daños del derribo y arrastre al fuste de árboles residuales

5.5.4. Afectación de la copa de los árboles residuales por el derribo y arrastre

De los 320 árboles derribados que se evaluaron, 162 afectaron directamente la copa de 306 árboles residuales con diámetros de 2 a 30 cm y

alturas de 0.70 a 22 m, lo anterior indica que de cada 10 árboles que son derribados, 5 afectan en forma directa la copa de 10 árboles residuales. En lo que respecta al arrastre, se encontró que sólo 5 árboles arrastrados dañaron directamente la copa de 5 árboles residuales con diámetros de 2 a 10 cm y alturas de 0.50 a 3.50 m lo cual indica que de cada 10 árboles arrastrados, 0.1 árboles afectan la copa de un árbol residual. En cuanto a los daños simultáneos en el fuste y copa de los árboles residuales, se encontró que 120 dañaron la copa y fuste de 253 árboles residuales, esto significa que de cada 10 árboles derribados, 4 afectan directamente el fuste y la copa de 8 árboles residuales. La Figura 5.8 muestra que el 40% de los árboles dañados por efecto directo del arrastre de las trozas correspondió a la pérdida de menos del 33% de la copa, el 40% con mayor afectación de la copa pero no su pérdida y el 20% correspondió a la pérdida total de la copa. En lo referente al daño a la copa por el derribo, el 58% de los árboles afectados presentaron afectaciones en menos de 1/3 de la copa, 36% con afectaciones mayores y 6% de los arboles registraron la pérdida total de la copa.

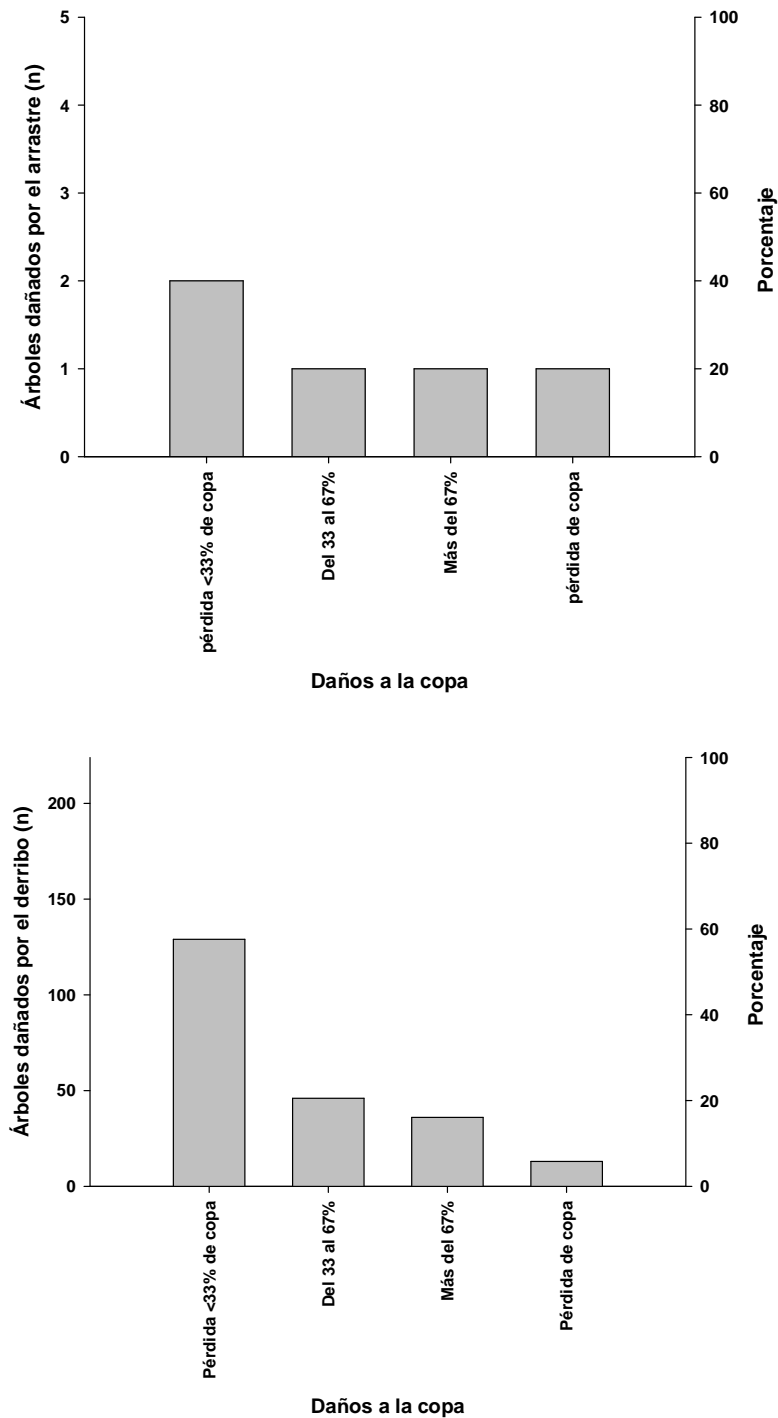


Figura 5.8. Afectación en la copa de los árboles por ejido

La Figura 5.9 muestra que sólo se registró la afectación de la copa de 5 árboles residuales por el efecto del arrastre de 5 árboles comerciales, por lo

que la afectación se considera mínima por ejido. La mayor afectación del derribo se observó en los ejidos La Campana y La Victoria con la pérdida de copa del 28 y 24% de los árboles residuales afectados, mientras que en El Brillante sólo alcanzó el 5% y en San Pablo no se registraron árboles residuales con pérdida de copa. Lo anterior, se relaciona con la efectividad del derribo ya que en La Victoria sólo se alcanzó el 64%, mientras que en el ejido La Campana, seguramente el mayor número de árboles dañados que se registraron en comparación al resto de los ejidos, explica también el daño al 28% de la copa de los árboles residuales.

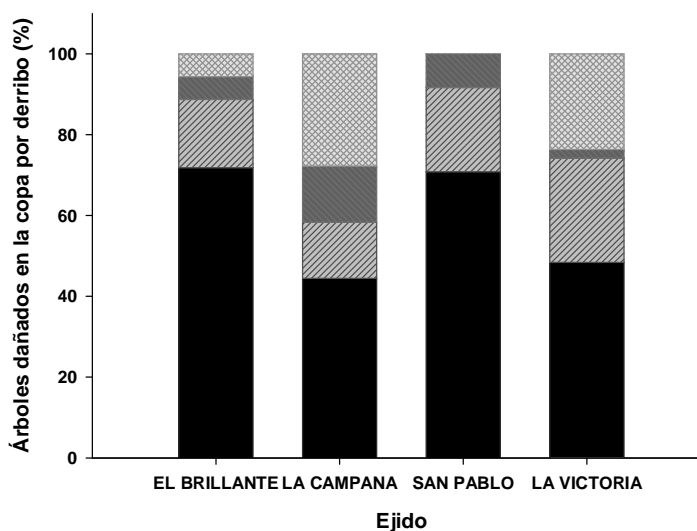
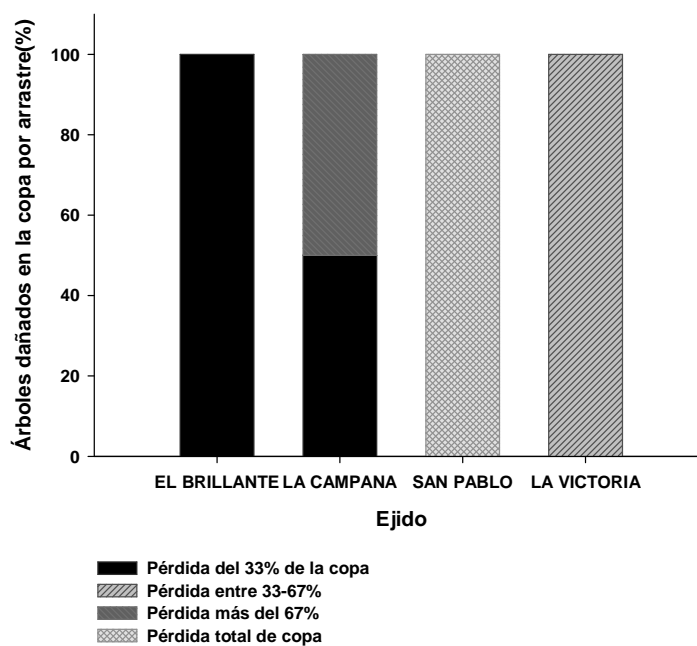


Figura 5.9. Afectación en la copa de los árboles por ejido

Jackson *et al.* (2002) estimaron una afectación en bosques tropicales de Bolivia de 44 árboles dañados por cada árbol extraído, de los cuales 22 árboles residuales fueron seriamente dañados, 6 de los cuales correspondieron a especies comerciales, mencionan que el daño más común en el arbolado residual fue afectación al fuste en diferentes grados, desde daños superficiales

a la corteza hasta el desprendimiento de la misma y exposición del cambium. En el presente estudio los árboles dañados se estimaron a razón de 3.5 árboles residuales por cada árbol comercial derribado y arrastrado, se coincide en que la mayor afectación en los árboles residuales corresponde al fuste. Johns *et al.* (1996) en un estudio sobre los daños ocasionados por dos sistemas de aprovechamiento forestal: planeado y no planeado en un bosque de la Amazonia oriental, encontraron que las operaciones no planeadas dañaron 16 árboles más que las actividades planeadas y la afectación en la copa de los árboles residuales fue de 4.5 árboles dañados en la operación planeada, contra 7.4 árboles en la operación no planeada por cada árbol derribado. Veríssimo *et al.* (1992) en un bosque amazónico estimaron que por cada árbol comercial que es aprovechado, 27 árboles residuales son severamente dañados. Martins *et al.* (1997) determinaron en un bosque del estado Brasileño de Rondônia, en dos sitios con diferente composición de especies, un daño en 44 árboles en el sitio de mayor número de especies y de 32 árboles en el siguiente sitio, promediando una afectación de 38 árboles por cada árbol derribado.

5.5.5. Remoción de suelo

La Figura 5.10 muestra la distribución de los 1182 puntos de muestreo evaluados para conocer la remoción de suelo en las áreas de corta estudiadas, de los cuales 312 correspondieron al ejido El Brillante, 238 a La Campana, 245 a San Pablo y 387 a La Victoria. Los resultados indicaron que el 52% de las áreas de corta no sufren disturbio alguno, mientras que el 24% de la superficie aprovechada sufre de disturbios moderados y el 24% restante de la superficie

es severamente afectada por las operaciones forestales relativas a los disturbios provocados por los carriles de arrastre, apertura o mantenimiento de caminos y brechas de saca.

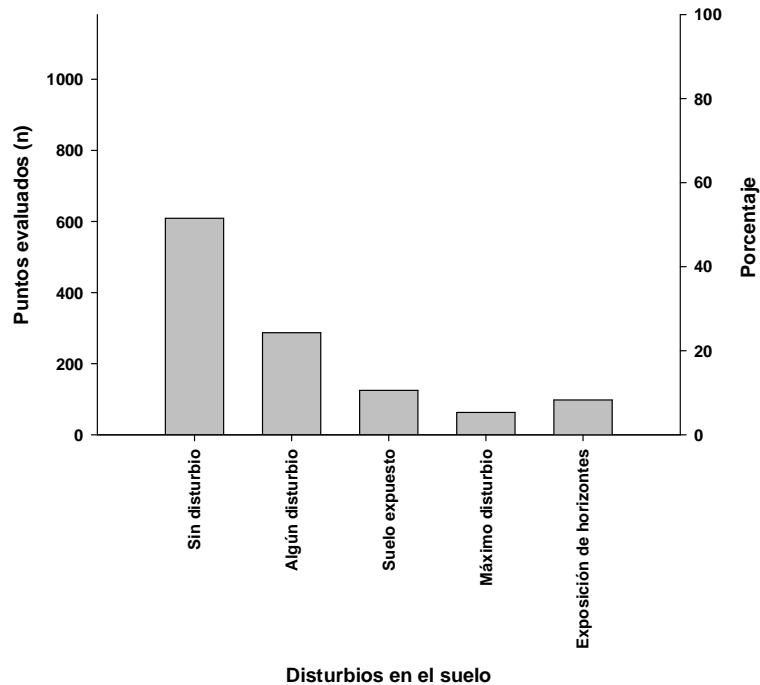


Figura 5.10. Remoción de suelo por tipo de disturbio

Los disturbios al suelo por predio fueron mayores en el ejido El Brillante con 28% de la superficie fuertemente impactada por efecto de las operaciones forestales, le siguió en afectación el ejido La Victoria con el 25%, mientras que San Pablo y La Campana registraron disturbios al suelo severos en el 21% de las áreas de corta (Figura 5.11).

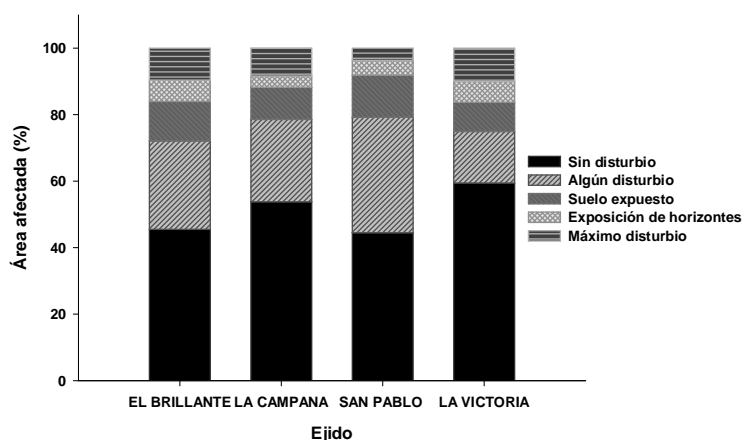


Figura 5.11. Rendimiento volumétrico de la madera aserrada por clase

Jackson *et al.* (2002) en un estudio sobre el área disturbada y el daño al arbolado residual en el bosque tropical boliviano, encontraron que el 45.8% de la superficie bajo aprovechamiento presentó disturbios al suelo y el 25% fue a causa de los carriles de arrastre, caminos y patios de acopio o embarcaderos. En el presente estudio, el disturbio al suelo fue del 24% correspondiendo el 10% a caminos, brechas y carriles de arrastre. Por su parte, Ohlson-Kiehn *et al.* (2003) encontraron, que la superficie alterada por pistas de arrastre fluctuó entre 3.9 y 5.1% del área total de suelo en bosques tropicales de Bolivia.

5.5.6. Remoción de suelo por arrastre de trocería

Los resultados de la Tabla 5.1 muestran que por cada metro cúbico de madera que es arrastrado, se remueven 0.481 metros cúbico de suelo, siendo mayor la remoción en el ejido El Brillante que mostró diferencias significativas con el volumen removido en los ejidos La Campana y San Pablo. En los ejidos El Brillante y La Victoria la mayor remoción de suelo se debe a que esas áreas se caracterizan por tener suelos profundos, mientras que en los ejidos La

Campana y San Pablo, los suelos son más someros, de ahí que la remoción de suelo y materia orgánica resultó ser menor.

Tabla 5.1. Remoción de suelo por efecto del arrastre

Ejido	Carriles (n)	Media (m ³ sr/m ³ ma)*	Desv Std. (m ³ sr/m ³ ma)
El Brillante	50	0.819 a	1.305
La Campana		0.377 b	0.382
San Pablo		0.177 b	0.172
La Victoria		0.551 ab	0.688
Total	200	0.481	0.797

*Medias con la misma letra no son significativamente diferentes Tukey $\alpha < 0.05$.
*m³sr/m³ma = Metros cúbicos de suelo removido por metro cúbico de madera arrastrada

De acuerdo con Gayoso e Iroume (1995) los factores determinantes de la remoción del suelo son la pendiente del terreno, el tipo de aprovechamiento y patrón de desplazamiento de los equipos, el ancho y densidad de caminos los cuales en conjunto pueden alcanzar una remoción de entre 200 a 400 m³ha⁻¹.

5.6. CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados obtenidos en el presente estudio, es necesario fomentar y mejorar las técnicas de derribo de bajo impacto, ya que la mayoría de los árboles residuales fueron afectados por una mala dirección de caída de los árboles. En cuanto a las operaciones de arrastre, se recomienda trazar los carriles de arrastre en áreas donde se dañe el menor número de árboles de alto valor económico como los son las especies del género *Pinus* sp, ya que se encontró que son los que más se afectan por las operaciones forestales. Para mitigar el impacto de la remoción de suelo en los carriles de

arrastre, se recomienda clausurarlos con el material residual de los aprovechamientos como una forma de evitar el arrastre y pérdida de suelo.

5.7. LITERATURA CITADA

Akay, A., Yilmaz, M., Tongue, F. 2006. Impact of harvesting machines on forest ecosystem: Residual stand damage. *Journal of Applied Sciences* 6(11):2414-2419.

Clatterbuck, W.K. 2006. Logging damage to residual trees following commercial harvesting to different overstory retention levels in a mature hardwood stand in Tennessee. *In*: Connor, Kristina F., ed. Proceedings of the 13th biennial southern silvicultural research conference. Gen. Tech. Rep. SRS-92. Asheville, NC: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Research Station. 640 p.

Cline, M. L., Hoffman, B. F., Cyr, M., Bragg, W. 1991. Stand Damage Following Whole-Tree Partial Cutting in Northern Forests. *Northern Journal of Applied Forestry* 8(2):72-76.

Contreras, F., Cordero, W., Fredericksen, T.S. 2001. Evaluación del aprovechamiento forestal. Proyecto de Manejo Forestal Sostenible (BOLFOR) USAID. Santa Cruz, Bolivia. 43 p.

Cordero, W., Meza, A. 1992. Algunas Notas sobre Prácticas de Aprovechamiento Forestal Mejorado. *En*: V Curso Intensivo Internacional de Silvicultura y Manejo de Bosques Naturales Tropicales. CATIE. 52 p.

- Eroğlu, H., Öztürk, U.Ö., Sönmez, T., Tilki, F., Akkuzu, E. 2009. The impacts of timber harvesting techniques on residual trees, seedlings, and timber products in natural oriental spruce forests. *African Journal of Agricultural Research*. 4(3):220-224.
- Gayoso, A.J., Iroume, A. 1995. Impacto del manejo de plantaciones sobre el ambiente físico. *Bosque* 16(2):3-12.
- Han-Sup, H., Kellogg, L.D. 2000. Damage characteristics in young Douglas-Fir stands from commercial thinning with four timber harvesting systems. *Western Journal of Applied Forestry*. 1(1):27-33.
- Han-Sup, H., Kellogg, L.D. 2000a. A comparison of sampling methods for measuring residual stand damage from commercial thinning. *International Journal of Forest Engineering*. 11(1):63-69.
- Jackson S., Fredericksen, T.S., Malcolm, J.R. 2002. Area disturbed and residual stand damage following logging in a Bolivian tropical forest. *Forest Ecology and Management*. 163:271-283.
- Johns J.S., Barreto, P., Uhl, C. 1996. Logging damage during planned and unplanned logging operations in the Eastern Amazon. *Forest Ecology and Management*. 89:59-77.
- Limbeck-Lilienau, B. 2003. Residual stand damage caused by mechanized harvesting systems. *In: Limbeck-Lilienau, Steinmüller and Stampfer (Editors). Proceedings of the Austro 2003 meeting: High Tech Forest*

Operations for Mountainous Terrain, October 5-9, 2003, Schlaeagl-Austria.

11 p.

Lineros, P.M., Espinosa, B., Jiménez, A. 2003. Daño a los árboles remanentes por sistema harvester-forwarder en raleo comercial de *Pinus radiata* D. Don. Bosque 24(1):87-93.

Martins E.P., Oliveira, A.D., Scolforo, J.R. 1997. Avaliação dos danos causados pela exploração florestal à vegetação remanescente, em florestas naturais. Cerne 3:14–24.

Ohlson-Kiehn, C., Alarcón, A., Choque, U. 2003. Variación en disturbios del suelo y el dosel causados por aprovechamiento de diferentes intensidades en un bosque tropical húmedo de Bolivia. Proyecto de Manejo Forestal Sostenible. BOLFOR. Documento Técnico 131/2003. USAID/Bolivia. 31 p.

Poschen, P. 1993. Forestry, a safe and healthy profession?. Unasylva. 44(172):3-12.

SAS INSTITUTE. 2002. SAS User's Guide: Statistics. Ver. 9.1. SAS Institute Inc. Cary, N.C. USA. 1028 p.

Smartwood. 2004. Resumen Público de Certificación del Ejido San Pablo. Certificado SW-FM/COC-218. 38 p.

Smartwood. 2005. Resumen Público de Certificación del Ejido El Brillante. Certificado SW-FM/COC1256. 37 p.

- Smartwood. 2006. Resumen Público de Certificación del Ejido La Victoria. Certificado SW-FM/COC154. 25 p.
- Smartwood. 2007. Resumen Público de Certificación del Ejido La Campana. Certificado SW-FM/COC-1158. 14 p.
- Solgi, A., Najafi, A. 2007. Investigating of residual tree damage during ground-based skidding. *Pakistan Journal of Biological Science*. 10(10):1755-1758.
- Toledo, M., Fredericksen, T., Licona, J.C., Mostacedo, B. 2001. Impactos del aprovechamiento forestal en la flora de un bosque semideciduo pluviestacional de Bolivia. Proyecto de Manejo Forestal Sostenible. BOLFOR. Documento Técnico 106/2001. USAID/Bolivia. 23 p.
- UCODEFO 6. 1997. Memoria general de predios del programa de manejo forestal 1997-2007. El Salto, Durango, México. 207 p.
- Veríssimo, A., Barreto, P., Mattos, M., Tarifa, R., Uhl, C. 1992. Logging impacts and prospects for sustainable forest management in an old Amazonian Frontier: the case of Paragominas. *Forest Ecology and Management* 55:169-199.
- Yilmaz, M., Akay, A. 2008. Stand damage of a selection cutting system in a uneven aged mixed forest of Cimendagi in Kahramanmaras-Turkey. *International Journal of Natural Engineering Sciences*. 2(1):77-82.

CAPÍTULO 6

TIEMPOS Y RENDIMIENTOS DEL ASIERRE PRIMARIO EN LA REGIÓN DE EL SALTO, DURANGO, MÉXICO

TIME AND LUMBER RECOVERY IN SAWMILLING IN EL SALTO, DURANGO, MÉXICO

6.1. RESUMEN

Se realizó la evaluación de los tiempos y rendimientos del asierre primario en cinco aserraderos representativos de la región la región de El Salto, Durango, México. Para tal efecto se aserraron 412 trozas de *Pinus* spp con un volumen de 293.73 m³r sin corteza, las cuales generaron 7085 tablas de diferentes dimensiones y clases con un volumen aserrado de 169.01 m³, lo cual indica un rendimiento en madera aserrada del 57.5% sin corteza. El tiempo promedio para aserrar 1000 pies tabla es estimó en 25.09 minutos. La productividad se estableció en 7.57 m³h⁻¹ y la velocidad de alimentación fue de

46.47 m/min. Se encontró que el rendimiento en madera aserrada es afectado por el diámetro, largo y conicidad de las trozas.

Palabras clave: *Ergonomía, madera, trozas, aserrío, Durango.*

6.2. ABSTRACT

An evaluation of the times and lumber recovery was carried out in five representative sawmills from El Salto, Durango, Mexico. 412 logs of *Pinus* spp with a volume of 293.73 m³r without bark were sawed. These logs generated 7085 boards of different dimensions and classes with a sawed volume sawed of 169.01 m³ which indicates a lumber recovery factor of the 57.5% without bark. The average time to saw 1000 feet boards was 25.09 minutes. The productivity was established in 7.57 m³h⁻¹and the feed speed was of 46.47 m/min. The lumber recovery is affected by the diameter, long and conicity of the logs

Key words: *Ergonomics, wood, logs, sawn, Durango.*

6.3. INTRODUCCIÓN

La eficiencia operacional y económica de los procesos de transformación del recurso forestal en productos para la industria maderera, es un factor básico para su sobrevivencia, la industria de transformación de la madera que no se ocupe de mejorar sus rendimientos y consecuentemente reducir sus costos de producción, asume un serio riesgo de perder en competitividad y paralizar sus actividades por ineficiente (Biasi, 2005). En la industria forestal, el

conocimiento de los indicadores de productividad es de interés en toda administración, esto posibilita que las decisiones sobre el desempeño industrial y uso eficiente de la materia prima sean tomadas anticipadamente ante situaciones adversas, reduciendo gastos y pérdidas en el proceso productivo (Valério *et al.*, 2009). El término rendimiento se refiere a la relación entre el volumen de madera en rollo y el volumen resultante en productos aserrados (Valério *et al.*, 2007; Aguilera *et al.*, 2005) el cual es afectado por el diámetro, clase, calidad y forma de las trozas a procesar, los tiempos empleados en los procesos, el patrón de corte, el tipo de sierra, la calidad y dimensiones de los productos generados, la habilidad y capacidad del operario y las condiciones de mantenimiento del equipo; por lo que algunos estudios se han centrado en conocer el efecto que tienen esas variables sobre el rendimiento de la madera aserrada y sugerir acciones correctivas (De Souza *et al.*, 2007; Quirós *et al.*, 2005; Vilches, 2005; Maurara *et al.*, 2005; Spichiger, 2004; Ferreira *et al.*, 2004; Scanavaca y Garcia, 2003; Wang *et al.*, 2003; García *et al.*, 2001; Zavala y Hernández, 2000; Steele, 1984). La región de El Salto, Durango, México, se caracteriza por basar su economía en las actividades relacionadas con el aprovechamiento y transformación primaria de la madera, sin embargo, no existe información que revele la situación que guarda el nivel de aprovechamiento de la materia prima por clase diamétrica, conicidad y largo de la trocería en cuanto al rendimiento de madera aserrada y los tiempos de procesamiento, por lo que el aporte de este estudio es importante desde el punto de vista operacional, ya que a partir de la estimación de los indicadores

de productividad objeto de la investigación, se podrán identificar áreas de oportunidad que permitan mejorar el proceso de transformación primaria de la madera en esta importante región forestal de México.

6.4. MATERIALES Y MÉTODOS

6.4.1. Localización del área de estudio

El estudio se realizó en la región de El Salto, Dgo., la cual se localiza en el sistema montañoso denominado Sierra Madre Occidental. Las alturas sobre el nivel del mar fluctúan entre 1,400 y 2,600 metros. El clima es semi-húmedo templado o semi-frío, que se vuelve templado o semi-seco en el lado oriental de la sierra. Por su ubicación geográfica, la zona presenta diversas condiciones de vegetación que va desde masas puras de encino y pino y en su mayor parte bosques mezclados de pino-encino (UCODEFO 6, 1997). La toma de información se realizó durante el año 2009 en los aserraderos de los ejidos El Brillante, La Victoria y San Pablo así como en dos aserraderos completamente automatizados identificados como Bogli y Langer pertenecientes al Centro de Bachillerato Tecnológico Forestal No 1 de El Salto, Durango.

6.4.2. Métodos de trabajo usados en la región

El largo de la trocería procesada en los aserraderos de la región fluctúa de 16 a 24 pies de largo, la mayoría de la trocería pertenece al género *Pinus* sp y un bajo porcentaje de *Quercus* sp, las trozas se separan por largo y en ocasiones por categorías diamétricas (Hernández y Wiemann, 2006). En el

asierre primario generalmente utilizan torres verticales de sierra banda de 8 a 10 pulgadas de ancho. Sólo en el aserradero del ejido El Brillante no se realiza la clasificación de la madera aserrada por clase por lo que comercializa como mill-run (mezcla de clases), mientras que en los demás aserraderos la separación de la madera se realiza en 6 clases. Los gruesos más comunes en los que se asierra la madera es de 7/8, 5/4, 6/4 pulgadas, barrotes de 4 pulgadas de ancho, polines de 3X3 y 4X4 pulgadas así como medidas en pedidos especiales, los anchos de la madera van de 4 a 12 pulgadas y largos desde 2 a 20 pies más refuerzos.

6.4.3. Métodos

6.4.3.1. Determinación del tamaño de muestra

Para estimar el número de trozas necesarias en la determinación del rendimiento y alcanzar un error de muestreo del 5% y una confiabilidad del 95%, se utilizó la siguiente expresión:

$$n = \frac{t^2 \times CV^2}{E^2}$$

Donde:

n= Trozas necesarias para estimar el rendimiento de madera aserrada.

t= Valor tabular de t-Student al 95% de confiabilidad.

CV= Coeficiente de variación (%).

E= Error de muestreo deseado (%).

De acuerdo a lo anterior, el número de trozas se estableció como se muestra en la Tabla 6.1.

Tabla 6.1. Trozas requeridas y aserradas en el estudio del rendimiento de madera aserrada por aserradero y general.

Aserradero	Trozas requeridas (n)	Trozas aserradas (n)	Error de muestreo (%)
La Victoria	106	86	5.5
El Brillante	67	67	5.0
San Pablo	88	104	4.6
Bogli CBTF 1	100	75	5.7
Langer CBTF 1	50	80	3.9
General	88	412	2.3

6.4.3.2. Categorías de diámetro, largo y conicidad de las trozas

Para establecer las categorías diamétricas de las trozas, se consideraron todos los diámetros mínimos sin corteza en los patios de trocería, encontrándose valores de 15 a 65 cm, para lo cual se establecieron 5 categorías diamétricas con un rango de 10 cm. En lo que respecta a las categorías del largo de la troza, se establecieron 3 categorías, en la primera se ubicaron las trozas menores o iguales a 16 pies de largo; en la segunda, trozas mayores de 16 y hasta 18 pies de largo y la tercera, las trozas mayores a 18 pies, mientras que para la conicidad de las trozas se encontraron valores máximos de 6 cm/m, esto significa que por cada metro de longitud, la troza aumenta en diámetro 6 cm, para tal efecto, se establecieron 6 categorías de conicidad una por cada centímetro, por lo que en su determinación se utilizó la siguiente relación:

$$C = (DM - Dm) \times L$$

Donde:

C = Conicidad de la troza (mm/m).

DM = Diámetro mayor sin corteza (mm).

Dm = Diámetro menor sin corteza (mm).

L = Largo de la troza (m).

La distribución de las trozas por categoría diamétrica, por largo de las trozas y por conicidad se muestra en la Tabla 6.2.

Tabla 6.2. Distribución de las trozas en las categorías diamétricas de altura y conicidad.

Categoría Diamétrica (cm)	Trozas por categoría (n)	Categoría de altura (m)	Trozas por categoría (n)	Categoría de conicidad (mm/m)	Trozas por categoría (n)
15-25	58	3-5.03	153	0-1	139
26-35	154			1.1-2	149
36-45	112	5.04-5.64	186	2.1-3	72
46-55	74			3.1-4	40
>55	14	5.65-7.57	73	4.1-5	8
				5.1-6	4
Total	412		412		412

6.4.3.3. Determinación del volumen de las trozas

Una vez que las trozas fueron seleccionadas y marcadas, se procedió a medirlas para determinar su volumen con y sin corteza, para tal efecto, fue utilizada la fórmula de Smalian (Husch *et al.*, 2003) la cual se expresa en la siguiente ecuación:

$$V = \left(\frac{\left(\frac{\pi}{4} \times DM^2 \right) + \left(\frac{\pi}{4} \times Dm^2 \right)}{2} \right) \times L$$

Donde:

$V = \text{Volumen en } m^3r.$

$DM = \text{diámetro mayor con y sin corteza (m).}$

$Dm = \text{diámetro menor con y sin corteza (m).}$

$L = \text{Longitud (m).}$

6.4.3.4. Determinación del volumen de las tablas

Cada tabla generada durante el proceso de asierre fue marcada con el código de la troza de la cual se originó con la intención de cuantificar el volumen aserrado por troza, posteriormente cada tabla fue medida al milímetro para conocer su volumen real mediante la expresión mostrada a continuación:

$$V = G \times A \times L$$

Donde:

$V = \text{Volumen de la tabla en } m^3.$

$G = \text{Grueso (m).}$

$A = \text{Ancho (m).}$

$L = \text{Longitud (m).}$

6.4.3.5. Determinación del rendimiento de madera aserrada

En base al volumen de las tablas y conociendo el volumen de las trozas que generaron dichas tablas, se determinó el rendimiento real en madera aserrada con y sin corteza, utilizando la siguiente relación:

$$R = \frac{Va}{Vr} \times 100$$

Donde:

R = Rendimiento de madera aserrada en porciento.

Va = Volumen de las tablas aserradas en m³.

Vr = Volumen de las trozas en m³r.

6.4.3.6. Determinación de la productividad del aserrío

La productividad de la torre principal se estimó mediante la siguiente expresión:

$$P = \frac{Va}{Tt}$$

Donde:

P = Productividad de asierre (m³h⁻¹).

Va = Volumen aserrado (m³).

Tt = Tiempo total de asierre (h).

6.4.3.7. Métodos de cronometraje empleado para el estudio de tiempos

Para conocer los tiempos del proceso, se utilizó el método de “vuelta a cero” descrito por Villagómez y García (1986) el cual consiste en tomar el cronometraje de los diferentes ciclos de trabajo de inicio a fin y regresar el cronómetro a “cero” para iniciar el cronometraje de un nuevo ciclo de trabajo, la

precisión de cronometraje fue de 1/100 de segundo. Los ciclos de trabajo se identificaron de acuerdo a Björheden y Thompson (2000) obteniendo las siguientes actividades:

Tiempo productivo:

Tiempo de carga

- Tiempo en segundos (se cronometró a partir de la colocación del primer gancho maderero en la troza para acercarla y asegurarla al carro escuadra).

Tiempo de avance del carro escuadra

- Se cronometró el tiempo en que la troza inició el movimiento hacia la sierra banda y culminó cuando se detuvo el movimiento del carro escuadra.

Tiempo de retroceso del carro escuadra

- Se tomó a partir del regreso del carro escuadra a la posición inicial para empezar un nuevo avance.

Tiempo de volteos de las trozas en el carro escuadra

- Se tomó en el momento de contacto del gancho maderero para girar la troza en otra posición para buscar otros planos de corte.

Tiempo justificado

- Se consideró el tiempo invertido en mantenimiento u otra actividad para resolver imprevistos propios de trabajo.

Tiempo improductivo:

Tiempo no justificado

- Se consideró el tiempo empleado para realizar actividades ajenas al proceso de aserrío como descansos, conversación entre operarios y otras distracciones no productivas.

6.4.3.8. Determinación del tiempo de asierre de 1000 pies tablas

Finalmente, y a partir de la información que se generó en el asierre de la madera, se determinó el tiempo necesario para aserrar 1000 pies tablas utilizando la siguiente ecuación:

$$T = \frac{1000 \times Tt}{Va}$$

Dónde:

T = Tiempo para aserrar 1000 pies tabla (min).

Tt = Tiempo total de asierre (min).

Va = Volumen aserrado (pt).

6.4.3.9. Procedimiento estadístico

Para identificar diferencias significativas en los indicadores de productividad por aserradero, categorías diamétricas, de largo y conicidad de las trozas, se realizó un análisis de varianza y comparaciones de medias mediante pruebas de rangos múltiples de Duncan a un nivel de significancia de 0.05 y 95% de confiabilidad. El proceso del análisis de datos se llevó a cabo utilizando el paquete estadístico SAS (Statistical Analysis System) versión 9.1.

6.5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.5.1. Tiempos y rendimientos generales

La Tabla 6.3 muestra que el rendimiento en madera aserrada en la región de El Salto, corresponde al 57.5% sin corteza, lo anterior indica que por cada m^3r que es aserrado, es posible obtener 244 pies tabla. El tiempo estimado para aserrar 1000 pies tabla observó valores extremos de 6.24 a 101 minutos, estableciéndose el promedio en 25.09 minutos de los cuales el 98% corresponde al tiempo productivo específicamente en los avances y retrocesos del carro escuadra para efectuar los cortes en las trozas. La productividad mostró valores de 1.40 a 22.70 m^3r por hora efectiva de trabajo con un promedio de 7.57 m^3h^{-1} , equivalentes a 3208 pt/h, que distribuidos entre el número de operarios que participan en el proceso, que en este caso es un promedio de 4, resulta entonces en una productividad de 802 pies tabla/hombre-máquina/hora.

Tabla 6.3. Tiempos y rendimientos generales en el asierre primario

Variable	Trozas (n)	Media	Desv Std	Total	Máximo	Mínimo
Características de las trozas aserradas						
Diámetro mayor sin corteza (m)	412	0.45	0.12	--	0.77	0.21
Diámetro menor sin corteza (m)		0.36	0.10	--	0.65	0.15
Largo de la troza (m)		5.14	0.72	--	7.57	3.10
Volumen con corteza (m ³ r)		0.79	0.42	323.93	2.40	0.13
Volumen sin corteza (m ³ r)		0.71	0.39	293.73	2.26	0.12
Productos obtenidos del asierre						
Tablas generadas (n)	412	17	7	7085	44	4
Volumen de las tablas por troza (m ³)		0.41	0.23	169.01	1.23	0.07
Tiempos para aserrar 1000 pies tabla (min)						
Tiempo de carga en el carro escuadra	412	1.60	1.69	--	12.66	0.08
Tiempo de avance		12.12	6.81	--	53.10	3.64
Tiempo de retrocesos		7.44	4.19	--	25.78	1.43
Tiempo de volteos de las trozas		3.13	3.12	--	17.70	0.25
Tiempo justificado		0.45	3.43	--	52.23	0.00
Tiempo no justificado		0.34	4.32	--	82.78	0.00
Tiempo total de asierre		25.09	15.05	--	101.06	6.24
Trozas para 1000 pies tabla (n)			8	5	--	35
Indicadores de productividad en la operación de aserrío						
Rendimiento con corteza (%)	412	52.17	12.83	--	84.54	15.10
Rendimiento sin corteza (%)		57.50	14.20	--	91.12	17.10
Productividad (m ³ h ⁻¹)		7.57	3.98	--	22.70	1.40
Velocidad de alimentación (m/min)		46.47	14.97	--	98.68	8.53

6.5.2. Tiempos y rendimientos por aserradero

El valor de la productividad está referida sólo al tiempo de asierre de la torre principal desde el cargue de la troza en el carro escuadra, hasta la liberación de la última tabla aserrada. La velocidad de alimentación se estimó en 46 m/min con valores extremos de 99 a 9 m/min. Zavala y Hernández (2000) determinaron un rendimiento en madera aserrada del 51% en trocería de pino proveniente de San Pedro el Alto, Zimatlán, Oaxaca, lo cual resultó menor en 6.5% al rendimiento estimado para la región de El Salto, Durango. En relación

al rendimiento obtenido por categoría diamétrica, los autores no encontraron una tendencia de un aumento en el rendimiento con el aumento en diámetro de las trozas ya que el rendimiento reportado resultó ser muy similar con valores de 49 a 51% para trozas de 30 a 65 cm, lo cual concuerda también con la tendencia observada en este estudio.

Los resultados de la Tabla 6.4 mostraron diferencias significativas entre los indicadores de productividad por aserradero, resultando mayor el rendimiento en la madera aserrada en el aserradero Langer del CBTF1 con el 66%, mientras que el menor rendimiento lo observó el aserradero del ejido San Pablo con un 54%, la diferencia anterior se explica porque el promedio de tablas generadas por troza es 5 tablas menor en el aserradero Langer lo cual indica menor número de cortes y por lo tanto mayor rendimiento. La productividad fue estadísticamente diferente entre aserraderos, de tal forma que mientras el aserradero del ejido La Victoria observó la mayor productividad al aserrar en promedio $11.89 \text{ m}^3\text{h}^{-1}$ influenciado por una mayor velocidad de alimentación que se estableció en 62 m/min, los aserraderos del CBTF1 resultaron con una productividad de 3.82 a $4.46 \text{ m}^3\text{h}^{-1}$ debido a una mayor inversión de tiempo en la carga de trozas en el carro escuadra, los avances, retrocesos, volteo de las trozas y una menor velocidad de alimentación. Lo anterior contribuyó para que se registraran tiempos de asierre para 1000 pies tabla de 35 minutos en el aserradero Langer, hasta 41 minutos en el Bogli del CBTF1, mientras que en el aserradero del ejido La Victoria se registró el menor tiempo con 13.66 minutos.

Tabla 6.4. Tiempos y rendimientos por aserradero

Variable	Aserraderos				
	EL Brillante	La Victoria	San Pablo	Bogli CBTF 1	Langer CBTF 1
Características de las trozas aserradas					
Diámetro mayor sin corteza (m)	0.45	0.44	0.47	0.43	0.42
Diámetro menor sin corteza (m)	0.37	0.37	0.38	0.34	0.34
Largo de la troza (m)	5.23	5.25	5.50	5.10	4.54
Volumen total con corteza (m ³ r)	56.97	68.65	96.25	52.56	49.50
Volumen total sin corteza (m ³ r)	49.53	62.47	88.65	47.80	45.28
Productos obtenidos del asierre					
Tablas generadas (n)	1171	1469	1993	1306	1146
Tablas promedio por troza (n)	17	17	19	17	14
Volumen de las tablas (m ³)	30.26	35.93	46.56	27.17	29.09
Tiempos para aserrar 1000 pies tabla (min)					
Tiempo de carga en el carro escuadra	0.96	0.83	1.01	3.28	2.18
Tiempo de avance	11.68	7.22	8.50	19.98	15.12
Tiempo de retrocesos	6.15	3.94	5.53	11.75	10.75
Tiempo de volteos de las trozas	1.68	1.34	1.19	6.05	6.04
Tiempo justificado	1.43	0.32	0.27	0.06	0.38
Tiempo no justificado	0.00	0.00	0.83	0.38	0.33
Tiempo total de asierre	21.89	13.66	17.33	41.49	34.79
Trozos para 1000 pies tabla (n)	6	8	7	9	9
Indicadores de productividad en la operación de asierri*					
Rendimiento con corteza (%)	54.84 b	54.04 b	48.95 c	51.83 bc	59.90 a
Rendimiento sin corteza (%)	63.14 ab	59.43 bc	53.82 d	57.21 cd	66.08 a
Productividad (m ³ h ⁻¹)	7.15 c	11.89 a	9.36 b	3.82 d	4.46 d
Velocidad de alimentación (m/min)	48.54 b	62.32 a	50.85 b	30.47 d	37.00 c

*Medias con la misma letra entre aserraderos, no son significativamente diferentes $\alpha=0.05$

García *et al.* (2001) determinaron un rendimiento real en cuatro aserraderos del sur del estado de Jalisco, México de 61.72% equivalente a obtener 262 pies tabla por metro cúbico de madera en rollo, mientras que en el presente estudio la relación obtenida fue de 244 pt/m³r. En relación a la productividad, los autores encontraron un promedio de 2.95 m³h⁻¹, la cual es inferior en 4.62 m³h⁻¹ a la obtenida en este estudio, tal diferencia se atribuye al

largo de las trozas, ya que mientras en el sur de Jalisco utilizaron trozas de 8 pies de largo, en la región de El Salto, Durango el largo de las trozas aserradas osciló de 10 a 24 pies.

6.5.3. Tiempos y rendimientos por categoría de diámetro

La Tabla 6.5 presenta los resultados obtenidos en los tiempos y rendimientos por categoría diamétrica, se observan diferencias significativas en el rendimiento sin corteza entre las categorías de 26 a 35 y 36 a 45 cm, el mayor rendimiento se observó en las categorías de los 15 a 35 cm debido a un menor número de cortes realizados en las trozas para obtener las tablas, sin embargo, no se observó una tendencia de aumento en el rendimiento con el aumento en el diámetro de las trozas. En cuanto a la productividad, ésta experimenta un aumento a medida que aumenta el diámetro, mientras que la velocidad de alimentación mostró una tendencia inversa, es decir; a medida que aumenta el diámetro de las trozas, disminuye la velocidad de alimentación debido al riesgo de accidentes al forzar la sierra ante diámetros mayores, de igual forma, el tiempo necesario para aserrar 1000 pt disminuye al aumentar el diámetro de las trozas estableciéndose desde 44 minutos para la categoría de 15 a 25 cm, hasta 17 minutos en la categoría de trozas mayores a 56 cm. Por otra parte, Mourara *et al.* (2005) estimaron un rendimiento en madera aserrada de *Pinus taeda* de Brasil con dos diferentes métodos de asierre, encontrando de 35.24 a 43.92% con el sistema de asierre convencional y de 41.65 a 63.04% con un sistema de asierre optimizado, también mencionan que no observaron

una tendencia en el aumento del rendimiento con el aumento en el diámetro de las trozas.

Tabla 6.5. Tiempos y rendimientos por categoría diamétrica

Variable	Categoría diamétrica (cm)				
	15-25	26-35	36-45	46-55	>56
Características de las trozas aserradas					
Diámetro mayor sin corteza (m)	0.30	0.36	0.51	0.59	0.68
Diámetro menor sin corteza (m)	0.23	0.30	0.40	0.49	0.59
Largo de la troza (m)	5.24	5.20	5.07	5.09	5.08
Volumen total con corteza (m ³ r)	19.60	79.67	103.78	97.01	23.87
Volumen total sin corteza (m ³ r)	17.32	71.18	94.12	88.66	22.45
Productos obtenidos del asierre					
Tablas generadas (n)	630	2106	2150	1725	474
Tablas promedio por troza (n)	11	14	19	23	34
Volumen de las tablas (m ³)	10.04	44.04	52.32	49.93	12.68
Tiempos para aserrar 1000 pies tabla (min)					
Tiempo de carga en el carro escuadra	2.37	1.82	1.34	1.10	0.84
Tiempo de avance	15.15	12.56	12.02	9.62	8.94
Tiempo de retrocesos	10.39	8.26	6.67	5.14	4.62
Tiempo de volteos de las trozas	4.13	3.55	2.76	2.26	1.84
Tiempo justificado	0.52	0.11	0.48	1.10	0.38
Tiempo no justificado	1.43	0.01	0.35	0.13	0.51
Tiempo total de asierre	33.99	26.30	23.62	19.34	17.12
Trozas para 1000 pies tabla (n)	15	9	6	4	3
Indicadores de productividad en la operación de aserrío*					
Rendimiento con corteza (%)	53.60 a	56.17 a	50.97 a	52.32 a	53.75 a
Rendimiento sin corteza (%)	60.58 ab	62.87 a	56.18 b	57.13 ab	57.18 ab
Productividad (m ³ h ⁻¹)	5.54 d	7.14 cd	7.78 bc	9.33 ab	9.75 a
Velocidad de alimentación (m/min)	54.46 a	50.02 a	42.60 b	40.69 bc	35.87 c

*Medias con la misma letra entre categorías diamétricas, no son significativamente diferentes $\alpha=0.05$

Valores de 49.2% en el rendimiento promedio de madera aserrada fueron encontrados por Valério *et al.* (2009) en *Araucaria angustifolia* del estado de Paraná, Brasil con variaciones de 42.5 a 57.4%, los mismo autores mencionan que es posible estimar el rendimiento mediante modelos que involucren como

variables independientes al diámetro menor, el largo y volumen de las trozas. Valério *et al.* (2007) observaron que el 17.7% del volumen de las trozas aserradas de *Araucaria angustifolia* corresponde a la corteza, mientras que en el presente estudio tal diferencia fue del 9,3%; encontraron también un rendimiento sin corteza del 62.6% siendo necesarios 1.60 m³r para obtener un metro cúbico de madera aserrada; en la región de El Salto, se requiere 1.74 m³r para obtener un metro cúbico de madera aserrada. Meneses y Guzmán (2000) reportan que en Chile se necesitan 2.09 m³ r, en Nueva Zelanda 1,85 m³ de madera en rollo para producir 1 m³ de madera aserrada. Trabajos realizados en otros géneros han sido reportados por De Souza *et al.* (2007) para *Eucalyptus* spp en el estado de Minas Gerais, Brasil, reportando rendimientos de 38% con variaciones del 33 al 61%.

6.5.4. Tiempos y rendimientos por categoría de conicidad de las trozas

En la Tabla 6.6 se muestran los resultados del rendimiento por categoría de conicidad, observando diferencias significativas entre las categorías de 0-1 cm/m, 3.1-4 y 4.1-5 cm/m, la tendencia observada es que a medida que aumenta la conicidad de la trozas, el rendimiento, la productividad y la velocidad de alimentación disminuyen, sin embargo, el tiempo necesario para aserrar 1000 pies tabla es relativamente constante con valores de 21 a 27 minutos. Scnavaca y Garcia (2003) estimaron para *Eucalyptus urophylla* rendimientos de 42.54%, no encontrando un efecto directo por la conicidad de

las trozas en el rendimiento de la madera. En el presente estudio se encontró una disminución del rendimiento con el aumento en la conicidad de las trozas.

Tabla 6.6. Tiempos y rendimientos por conicidad de las trozas

Variable	Categorías de conicidad de trozas (cm/m)					
	0-1	1.1-2	2.1-3	3.1-4	4.1-5	5.1-6
Características de las trozas aserradas						
Diámetro mayor sin corteza (m)	0.38	0.42	0.53	0.57	0.64	0.69
Diámetro menor sin corteza (m)	0.35	0.34	0.40	0.40	0.43	0.44
Largo de la troza (m)	5.25	5.08	5.24	4.96	4.83	4.45
Volumen total con corteza (m ³ r)	89.83	101.33	74.25	43.08	10.22	5.22
Volumen total sin corteza (m ³ r)	81.46	91.15	67.60	39.43	9.27	4.82
Productos obtenidos del asierre						
Tablas generadas (n)	2102	2407	1476	852	154	94
Tablas promedio por troza (n)	15	16	21	21	19	24
Volumen de las tablas (m ³)	50.99	54.14	37.50	19.37	4.55	2.46
Tiempos para aserrar 1000 pies tabla (min)						
Tiempo de carga en el carro escuadra	1.49	1.81	1.29	1.70	1.80	2.16
Tiempo de avance	11.29	12.93	11.42	13.70	10.70	10.77
Tiempo de retrocesos	7.32	8.34	5.95	7.56	6.33	6.48
Tiempo de volteos de las trozas	3.01	3.54	2.65	3.02	2.22	3.17
Tiempo justificado	0.07	0.31	1.09	1.31	0.06	0.00
Tiempo no justificado	0.65	0.28	0.11	0.02	0.00	0.00
Tiempo total de asierre	23.83	27.21	22.51	27.30	21.12	22.58
Trozas para 1000 pies tabla (n)	9	9	6	6	5	4
Indicadores de productividad en la operación de aserrío*						
Rendimiento con corteza (%)	57.86 a	53.65 ab	51.41 ab	44.72 b	46.11 b	49.45 ab
Rendimiento sin corteza (%)	64.34 a	59.92 ab	56.49 ab	48.92 b	50.70 b	53.59 ab
Productividad (m ³ h ⁻¹)	8.22 a	6.87 a	7.98 a	7.26 a	7.22 a	7.44 a
Velocidad de alimentación (m/min)	50.37 a	46.72 a	43.98 ab	38.98 ab	40.05 ab	34.37 b

*Medias con la misma letra entre categorías de conicidad de trozas, no son significativamente diferentes $\alpha=0.05$

6.5.5. Tiempos y rendimientos por categoría de largo de las trozas

En lo que respecta al largo de las trozas, la Tabla 6.7 presenta los resultados donde se observan diferencias significativas en los indicadores de

productividad, observando la tendencia que a medida que el largo de la troza aumenta, disminuye el rendimiento, mientras que la productividad experimenta un aumento al igual que la velocidad de alimentación. El tiempo necesario para aserrar 1000 pies tabla es de 27 minutos para trozas menores a 16 pies y disminuye hasta 20 minutos en trozas mayores a 18 pies.

Tabla 6.7. Tiempos y rendimientos por el largo de las trozas

Variable	Largo de trozas (m)		
	3-5.03	5.04-5.64	5.65-7.57
Características de las trozas aserradas			
Diámetro mayor sin corteza (m)	0.46	0.44	0.43
Diámetro menor sin corteza (m)	0.38	0.36	0.34
Largo de la troza (m)	4.60	5.16	6.25
Volumen total con corteza (m ³ r)	114.26	145.76	63.91
Volumen total sin corteza (m ³ r)	104.11	131.71	57.91
Productos obtenidos del asierre			
Tablas generadas (n)	2644	3083	1358
Tablas promedio por troza (n)	17	17	19
Volumen de las tablas (m ³)	60.63	76.12	32.26
Tiempos para aserrar 1000 pies tabla (min)			
Tiempo de carga en el carro escuadra	1.76	1.58	1.35
Tiempo de avance	12.86	12.24	10.28
Tiempo de retrocesos	7.95	7.47	6.31
Tiempo de volteos de las trozas	3.65	3.06	2.20
Tiempo justificado	0.57	0.44	0.23
Tiempo no justificado	0.05	0.68	0.08
Tiempo total de asierre	26.85	25.47	20.46
Trozas para 1000 pies tabla (n)	8	8	7
Indicadores de productividad en la operación de aserrío*			
Rendimiento con corteza (%)	54.77 a	53.87 ab	50.59 b
Rendimiento sin corteza (%)	60.50 a	59.86 ab	56.51 b
Productividad (m ³ h ⁻¹)	7.27 b	7.26 b	9.00 a
Velocidad de alimentación (m/min)	41.86 c	47.03 b	54.71 a

*Medias con la misma letra entre categorías de largo, no son significativamente diferentes $\alpha=0.05$

En lo que respecta al rendimiento considerando el largo de las trozas, Steele (1984) menciona que el rendimiento en madera aserrada decrece con el incremento en longitud debido al efecto de la forma de la troza, puesto que a mayor largo es más probable que la trozas se encorve y pierda la rectitud ocasionando problemas para encontrar la adecuada geometría del aserrado, lo anterior concuerda con la tendencia observada del presente estudio.

6.6. CONCLUSIONES

Los resultados muestran que los tiempos y rendimientos son sensibles a las variaciones en el diámetro, largo y conicidad de las trozas, sin embargo, también influye los métodos de trabajo en cada aserradero ya que fueron notorias las diferencias encontradas en la productividad de los aserraderos automatizados con los convencionales lo que en términos económicos se traduce en un fuerte impacto en la rentabilidad del proceso. Sin embargo, el hecho de que la productividad sea alta esconde otras variables de interés como la calidad de los productos aserrados donde interviene otro elemento de vital importancia en el aserrío como lo es el control de refuerzos, de tal forma que es importante no sólo la consideración de la cantidad, sino también de la calidad de los productos.

6.7. LITERATURA CITADA

Aguilera, A., Inzunza, L., Alzamora, R., Tapia, L. 2005. Evaluación del costo de producción para faenas de aserrío portátil. *Bosque*. 26(2):107-114.

- Biasi, C.P. 2005. Rendimento e eficiência no desdobro de três espécies tropicais. Dissertação da Maestrado. Setor de Ciências Agrárias-Centro de Ciências Florestais e da Madeira. Univesidad Federal do Paraná, Brasil. 73 p.
- Björheden, R., Thompson, M.A. 2000. An international nomenclature for forest work study. *In*: Field, David B., (ed.) Proceeings, IUFRO 1995 S3:04 subject area: 20th World Congress; 1995 August 6-12; Tampere, Finland. Miscellaneous Report 422. Orono, ME: University of Maine: 190-215 pp.
- De Souza, Á.N., De Oliveira, A.D., Solforo, J.R., De Mello, J.M., De Carvalho, L.M. 2007. Modelagem do rendimento no desdobro de toras de eucalipto cultivado em sistema agroflorestal. *Cerne*. 13(2):222-238.
- Ferreira, S., Lima, J.T., Da Silva, S.C., Trugilho, P.F. 2004. Influência de métodos de desdobro tangenciais no rendimento e na qualidade da madeira de clones de *Eucalyptus* spp. *Cerne*. 10(1):10-21.
- García, J.D., Morales, L., Valencia, S. 2001. Coeficientes de aserrío para cuatro aserraderos banda en el Sur de Jalisco. *Foresta-AN*. Nota técnica No. 5. UAAAN, Saltillo, Coah. 12 p.
- Hernández, R., Wiemann, M.C. 2006. Lumber processing in selected sawmills in Durango and Oaxaca, México. General Technical Report FPL-GTR-167. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory. 14 p.
- Husch, B., Miller, C., Beers, T. 2003. *Forest mensuration*. Krieger Publishing. New York, USA. 402 p.

- Meneses, M., Guzmán, S. 2000. Productividad y eficiencia en la producción forestal basadas en las plantaciones de pino radiata. *Bosque* 21(2):3-11.
- Murara, M.I., Da Rocha, M.P., Timofeiczky, R.J. 2005. Rendimento em madeira serrada de *Pinus taeda* para duas metodologias de desdobro. *Floresta*. 35(3):473-483.
- Quirós, R., Chinchilla, O., Gómez, M. 2005. Rendimiento en aserrío y procesamiento primario de madera proveniente de plantaciones forestales. *Agronomía Costarricense* 29(2):7-15.
- Scanavaca, L., Garcia, J.N. 2003. Rendimento em madeira serrada de *Eucalyptus urophylla*. *Scientia Forestalis*. 63:32-43.
- Spichiger, O.A. 2004. Aprovechamiento en el aserrado de sequoia (*Sequoia sempervirens* (D.Don. Endl.) y clasificación de la madera obtenida. Memoria para optar al Título de Ingeniero de la Madera. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad de Chile. 43 p.
- Steele, P.H. 1984. Factors determining lumber recovery in sawmilling. Gen. Tech. Rep. FPL-39. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory. 8 p.
- UCODEFO 6. 1997. Memoria general de predios del programa de manejo forestal 1997-2007. El Salto, Durango, México. 207 p.
- Valério, Á.F., Watzlawick, L.F., Balbinot, R., Wincker, M.V., Filho, A.F. 2009. Modelagem para a estimativa do rendimento no desdobro de toras de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze. *Floresta*. 39(3):619-628.

- Valério, Á.F., Watzlawick, L.F., Dos Santos, R.T., Brandelero, C., Koehler, H. 2007. Quantificação de resíduos e rendimento no desdobro de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) O. Kuntze. Floresta. 37(3):387-397.
- Vilches, P.I. 2005. Evaluación de defectos y determinación del aprovechamiento a nivel de remanufactura en *Pinus radiata* D. Don. Trabajo de Titulación de Ingeniero en Maderas. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Austral de Chile. 65 p.
- Villagómez, L.M., García, A.D. 1986. El estudio de trabajo y su aplicación en las operaciones de abastecimiento forestal. Ciencia Forestal en México. 59(11):162-180.
- Wang, S.Y., Lin, Ch.J., Chiu, Ch.M. 2003. Effects of thinning and pruning on knots and lumber recovery of Taiwania (*Taiwania cryptomerioides*) planted in the Lu-Kuei area. J Wood Sci. 49:444–449
- 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 7

RENDIMIENTO VOLUMÉTRICO Y CALIDAD DIMENSIONAL DE LA MADERA ASERRADA EN EL SALTO, DURANGO, MÉXICO

LUMBER RECOVERY FACTOR AND QUALITY OF THE SAWING PROCESS IN EL SALTO, DURANGO, MÉXICO

7.1. RESUMEN

Se realizó la evaluación del rendimiento volumétrico y calidad dimensional de la madera en cinco aserraderos de El Salto, Durango, México. Para tal efecto, se dio seguimiento a los productos generados a partir de 412 trozas de *Pinus* spp con un volumen de 293.73 m³r sin corteza, obteniéndose 7085 tablas de diferentes dimensiones y clases con un volumen de 169.01 m³, correspondiendo un rendimiento en madera aserrada de 57.5%, equivalente a 244 pies tabla por cada metro cúbico de madera en rollo que es aserrado. El mayor rendimiento volumétrico por clase de calidad se observó en tablas del número 5 con 86 pies tabla, mientras que por grueso nominal, el mayor

rendimiento fue para las tablas de 7/8" con 95 pies tabla; por lo que respecta al ancho nominal, se encontró el mayor rendimiento en tablas de 8 pulgadas con 78 pies tabla y en lo relativo al largo, el mayor rendimiento fue para la madera de 16' con 115 pies tabla. Respecto a la calidad dimensional, el espesor promedio al que se asierra la madera no fue suficiente para permitir obtener madera seca y cepillada con dimensión final de 7/8", mientras que para el grueso de 5/4", las tablas aserradas en el ejido El Brillante resultaron sobredimensionadas y las tablas de 6/4" del ejido La Victoria resultaron con espesores compatibles con la dimensión óptima de corte estimada. Lo anterior sugiere la necesidad de establecer un sistema de control que asegure una buena calidad dimensional en los productos aserrados.

Palabras clave: *Dimensión óptima de corte, control de calidad, clases, trozas, aserraderos, proceso de aserrío.*

7.2. ABSTRACT

An evaluation of lumber recovery and dimensional quality of the sawmilling process was carried out in five sawmills at El Salto, Durango, Mexico. For such effect, monitoring was done of the products generated from 412 logs of *Pinus* spp, with a volume of 293.73 m³r without bark, which gave place to 7085 boards of different dimensions and grades with a sawn volume of 169.01 m³, which correspond to a lumber recovery of 57.5%, equivalent to 244 board feet by each cubic meter of round timber being sawn. The largest lumber recovery by quality

class was observed in boards of grade 5, with 86.49 board feet; whereas, by nominal thickness, the main lumber recovery was for 7/8" boards with 95 board feet. Regarding the wide, the best lumber recovery was found in 8 inches boards with, 78 board feet and, with respect to the length, the major lumber recovery was obtained in 16 feet sawn wood with 115 board feet. Considering the quality of the sawmilling process, the mean thickness to which the wood was not enough to support drying and planing boards with the final dimension of 7/8", while for the thickness of 5/4", the boards sawn in the ejido El Brillante were oversized; in the other hand, in lumber of 6/4" coming from ejido La Victoria, the mean thickness was compatible with the estimated target size. These findings suggest the necessity of establishing a control system, in order to ensure the good dimensional quality in the lumber sawmilling process.

Key words: *Target size, quality control, grades, logs, sawmills, sawmilling process.*

7.3. INTRODUCCIÓN

Para que la industria del aserrío sea competitiva, requiere analizar en forma continua sus procesos, siendo las variaciones en los espesores de la madera aserrada, las que influyen significativamente tanto en el rendimiento como en la calidad dimensional; grandes diferencias en el grosor de las tablas provocan un menor rendimiento volumétrico porque las variaciones elevadas requieren mayores refuerzos en las piezas aserradas. Esta situación es más

crítica en el espesor de la madera siendo una de las causas que dificultan la comercialización y en consecuencia, la competitividad de la industria. Lo ideal para un aserradero, es generar productos con lados paralelos en espesor y ancho, sin embargo, durante el proceso de aserrío ocurren anomalías que causan desviaciones conocidas como defectos de forma que a menudo son exhibidos en el espesor de la madera y que frecuente no son tomados en cuenta en la clasificación (Rasmussen *et al.*, 2004). El análisis de la variación en grosor por medio de observaciones y mediciones periódicas está siendo adoptado rápidamente por la industria del aserrío (Young *et al.*, 2007; Gatto *et al.*, 2004). El refuerzo en las dimensiones es una práctica común en la producción y comercialización de madera aserrada debido al volumen que se pierde por la variación del corte durante el aserrío, por el cepillado y por las contracciones de la madera verde al momento de secarse (Zavala y Hernández, 2000). La calidad de la madera puede ser evaluada de dos formas: una por sus características naturales y otra por la precisión de sus dimensiones (Eleotério *et al.*, 1996; Ponce, 1993). Conocer la variación de corte de la madera áspera es importante ya que esto permite determinar la cantidad de material que debe ser adicionado en verde para asegurar que al final se obtengan tablas secas y cepilladas de una dimensión determinada, sin embargo, demasiado incremento en el espesor de las tablas que compensen las variaciones de corte, podrían resultar en una pérdida de material y altos costos de secado, cepillado u otros procesos de la madera para eliminar los excesos (Steele, *et al.*, 1992). Cuando se establece un sistema de control de

dimensiones en la madera aserrada, es posible identificar problemas en el desempeño de las máquinas principales sobre causas de variaciones en el espesor, lo cual es una práctica elemental para maximizar el rendimiento volumétrico (Maness y Lin, 2002; Brown, 2000^a). El rendimiento de madera aserrada se define como la proporción de madera en escuadría que resulta al aserrar una unidad de volumen en trozas (Ferreira *et al.*, 2004). La proporción de madera aserrada puede ser afectada por el tipo y tamaño del equipo de aserrío, las especies, las técnicas utilizadas y la destreza y capacitación de los operarios responsables del proceso (Rocha y Tomaselli, 2001). Las variables más significativas que influyen en el rendimiento del aserrío son el ancho de corte y esquema de corte, las dimensiones de la madera, el diámetro, la longitud, conicidad y calidad de la troza así como la toma de decisiones del personal y las condiciones de mantenimiento del equipo (Melo y Ravón, 1982). García *et al.* (2001) afirman que el rendimiento de madera aserrada es uno de los principales indicadores para medir la eficiencia de cualquier industria. La eficiencia se refiere al grado de aprovechamiento de la materia prima que garantiza el producto que se comercializa. Por otra parte, es posible realizar una estimación del rendimiento de madera aserrada por troza lo cual en algunos casos es muy importante en la comercialización de la madera en rollo o para cálculos complementarios en los inventarios forestales (Brand *et al.*, 2002). Ante la falta de información sobre la calidad dimensional de los productos aserrados en El Salto, Durango, México, el presente estudio tiene como objetivo general la evaluación de la madera mediante un análisis que

permita conocer la distribución del rendimiento volumétrico por clases, gruesos, anchos y largos en los que se asierra, para estimar la dimensión óptima de corte en el espesor de la madera de pino, que garantice la mayor cantidad de madera con dimensiones finales coincidentes con las nominales, como un aporte de información que tienda a mejorar el proceso de transformación primaria en esta importante región forestal de México.

7.4. MATERIALES Y MÉTODOS

7.4.1. Localización del área de estudio

El estudio se realizó en El Salto, Durango, México, el cual se localiza en el sistema montañoso denominado Sierra Madre Occidental. Las alturas sobre el nivel del mar fluctúan entre 1,400 y 2,600 metros. El clima es semi-húmedo templado o semi-frío, que se torna templado o semi-seco en el lado oriental de la sierra. Por su ubicación geográfica, la zona presenta diversas condiciones de vegetación que va desde masas puras de encino y pino y en su mayor parte bosques mezclados de pino-encino (UCODEFO 6, 1997). La toma de información se realizó durante el año 2009 en los aserraderos de los ejidos El Brillante, La Victoria y San Pablo así como en dos aserraderos automatizados identificados como Bogli y Langer pertenecientes al Centro de Bachillerato Tecnológico Forestal No 1 de El Salto, Durango.

7.4.2. Métodos de trabajo usados en la región

En el asierre primario generalmente se utilizan torres verticales de sierra banda de 8 a 10 pulgadas de ancho, la separación de la madera aserrada se realiza a partir de 6 clases de calidad, gruesos y largos. Los gruesos más comunes en los que se asierra la madera es de 7/8", 5/4", 6/4", barrotes de 4 pulgadas de ancho, polines de 3X3 y 4X4 pulgadas, así como medidas en pedidos especiales. Los anchos de la madera van de 4 a 12 pulgadas y largos desde 4 a 20 pies más refuerzos que generalmente son de 1/8 de pulgada para los gruesos nominales de 7/8" y 5/4"; a partir de los 6/4" el refuerzo asignado corresponde a 1/4", mientras que en ancho los refuerzos son de 1/2" y en los largos varía de 1 a 5 pulgadas.

7.4.3. Métodos

Se realizó un seguimiento a los productos generados a partir del aserrío de 412 trozas con un volumen de 293.73 m³r sin corteza, de los cuales 49.53 m³r se procesaron en el aserradero del ejido El Brillante, 62.47 m³r en La Victoria, 88.65 m³r en San Pablo, 47.80 m³r en el aserradero Bogli y 45.28 m³r en el Langer del CBTF 1. Las tablas generadas en cada aserradero fueron registradas de acuerdo a la clase, se midieron al milímetro en grueso, ancho y largo para obtener el volumen y separarlas en clases y medidas nominales.

Para conocer el rendimiento en madera aserrada por calidad, grueso, ancho y largo nominales, se utilizó la siguiente relación:

$$R \% = \frac{Va}{Vr} \times 100$$

Donde:

$R\%$ = Rendimiento de madera aserrada en porciento.

Va = Volumen de las tablas aserradas por clase, grueso, ancho y largo nominal en m^3 .

Vr = Volumen de las trozas sin corteza en m^3 .

Conociendo la distribución de las dimensiones nominales de la madera, se seleccionó una muestra al azar de 50 tablas por grueso nominal en largas dimensiones generadas en la torre principal de cada uno de los 5 aserraderos. La distribución de la muestra se observa en la Tabla 7.1.

Tabla 7.1. Muestras de madera aserrada medidas por aserradero y grueso nominal

Aserradero	Grueso nominal en pulgadas					
	7/8	Error de muestreo (%)	5/4	Error de muestreo (%)	6/4	Error de muestreo (%)
La Victoria	50	1.2	--	--	50	0.7
El Brillante	50	1.6	50	1	50	1.3
San Pablo	50	1.2	50	1.6	--	--
Bogli CBTF 1	50	1	--	--	50	1.3
Langer CBTF 1	50	1.2	--	--	50	0.6

7.4.3.1. Determinación de la variación del corte en el proceso de aserrío

Para evaluar la calidad dimensional de la madera aserrada, se utilizó el método de medición de puntos múltiples sugerido por Brown (2000) el cual

consiste en tomar 10 mediciones por tabla, 3 en cada canto y ancho en forma equidistante a lo largo de la misma. La primera medición se tomó a 12 pulgadas de los extremos, evitando puntos coincidentes con nudos, rajaduras u otros defectos que no fueran originados por efecto del corte y otra medición se tomó en el centro de cada tabla. Con esta información se determinó la desviación estándar dentro de la tabla (S_w), el cual brinda información respecto a la forma de cómo está cortando la sierra, y la desviación estándar entre tablas (S_b), que indica el estado de la alineación de engranajes y guías del carro escuadra. La variación del corte en el aserrío se determinó a través de la desviación estándar total del proceso (S_t), la cual está integrada por (S_w) y (S_b) (Zavala, 1991).

7.4.3.2. Determinación del grueso promedio de las tablas

El grosor promedio se obtuvo mediante la siguiente relación:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^N x_{ij}}{N}$$

Dónde:

\bar{x} = *Media total.*

x_{ij} = *el i-ésimo espesor de las distintos puntos medidos a lo largo de una tabla en las j-ésimas tablas de todos los espesores de los distintos puntos medidos.*

N = *Número total de mediciones.*

7.4.3.3. Determinación de la desviación estándar dentro de las tablas

La desviación estándar dentro de tablas se determinó a través de la siguiente ecuación:

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

Dónde:

S_w = Desviación estándar del grosor de las seis mediciones en cada una de las tablas.

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

Para el cálculo de la varianza se utilizó la fórmula:

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

Dónde:

S_{ij} = Varianza de la tabla.

X^2 = Espesor de la tabla.

n = Número de mediciones en cada tabla.

7.4.3.4. Determinación de la desviación estándar entre tablas

El cálculo de la desviación estándar entre tablas se realizó mediante:

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

Dónde:

Sb = Desviación estándar entre tablas.

El cálculo de $S(\bar{x})^2$ se efectuó a través de la fórmula de la varianza:

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

Dónde:

$S^2 \bar{x}$ = *Varianza de la media de los espesores de las tablas muestreadas.*

\bar{x}^2 = *espesor de la tabla.*

m = Número de tablas muestreadas.

7.4.3.5. Determinación de la desviación estándar total del proceso

Con los valores conocidos de S_w y S_b , se procedió a determinar la desviación estándar total del proceso o variación del aserrío con la siguiente fórmula:

$$St = (S_w)^2 + (S_b)^2$$

Dónde:

St = Desviación estándar total del proceso o variación del proceso.

S_w = Desviación estándar dentro de las tablas.

S_b = Desviación estándar entre tablas.

7.4.3.6. Determinación de la dimensión óptima de corte

Para determinar la dimensión óptima de corte en la madera, a la dimensión nominal se le agregó una serie de refuerzos para tener una dimensión final específica, éstos refuerzos representaron el volumen que se pierde por contracciones de las especies procesadas, en este caso se utilizó el valor más alto de contracción tangencial de 8 especies de pino de la región de El Salto, que fue el determinado por Hernández, (2007) para *P. ayacahuite* con un valor de 6.19%. En relación al volumen que se remueve durante el cepillado, se consideró un valor de 2.0 mm para ambos lados de la tabla. La dimensión óptima de corte de la madera verde áspera se determinó a través de:

$$DO = (DF + RC) / (1 - \%C \times (Z \times St))$$

Donde:

DO = Dimensión óptima de corte de la madera verde áspera (mm).

DF = Dimensión final (mm).

RC = Refuerzo por cepillado (en ambos lados de la tabla) (mm).

%C = Refuerzo por contracciones (de verde al C.H final) (%).

Z = Factor de dimensión mínimo aceptable (1.65 para un 95% de confiabilidad).

St = Desviación estándar del proceso.

7.5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

7.5.1. Rendimiento volumétrico por clase

De los 293.73 m³r sin corteza se generaron 7085 tablas de diferentes dimensiones y clases con un volumen aserrado de 169.01 m³, lo cual indica un rendimiento en madera aserrada del 57.5% sin corteza. La Figura 7.1 muestra que el 20.4% del volumen en madera aserrada corresponde a la clase 5 y sólo el 1.3% pertenece a la madera de clase 1; en conjunto, la madera de las clases 1, 2 y 3 apenas representan el 23.1% del rendimiento total de la madera aserrada, mientras que el 34.4% restante lo conforma la madera de menor valor económico. Lo anterior indica que por cada metro cúbico de madera en rollo que es aserrado en la región de El Salto, se espera obtener 243.67 pies tabla, de los cuales, 5.58 corresponden a madera de clase 1; 38.96 pies tabla de clase 2; 53.21 de la 3; 46.33 de la 4; 86.49 de la clase 5 y 13.10 pies tabla de la clase 6.

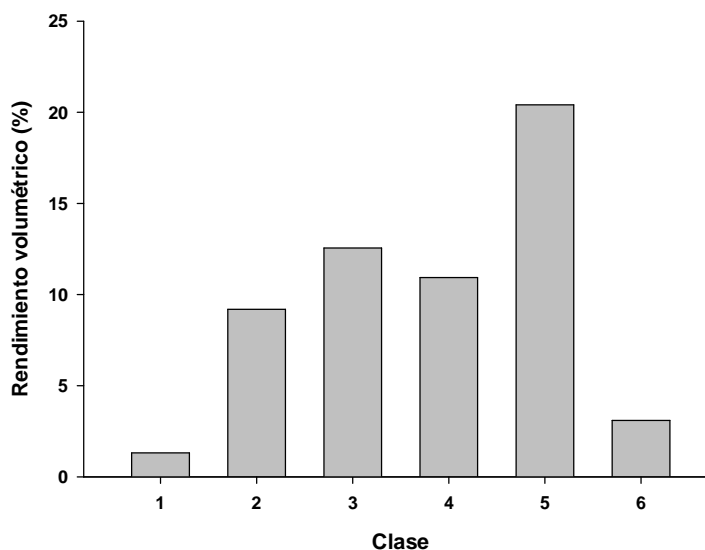


Figura 7.1. Rendimiento volumétrico de la madera aserrada por clase

7.5.2. Rendimiento volumétrico por grueso nominal

La Figura 7.2, permite observar que la producción del aserrío en la región de El Salto, se concentra en el grueso nominal de 7/8" (22.23 mm) con el 22.4% del volumen total aserrado, seguido por el grueso nominal de 5/4" (31.75 mm) con 13.9% y 6/4" (38.1 mm) con 7.5%, mientras que los barrotes y polines representan en conjunto el 13.6% del volumen aserrado. De acuerdo a lo anterior, por cada metro cúbico de madera en rollo que sea aserrado, se esperaría obtener 95.05 pies tabla de madera con grueso nominal de 7/8"; 59.07 correspondientes al grueso nominal de 5/4"; 31.77 para el grueso de 6/4" y 57.79 pies tabla de barrotes y polines.

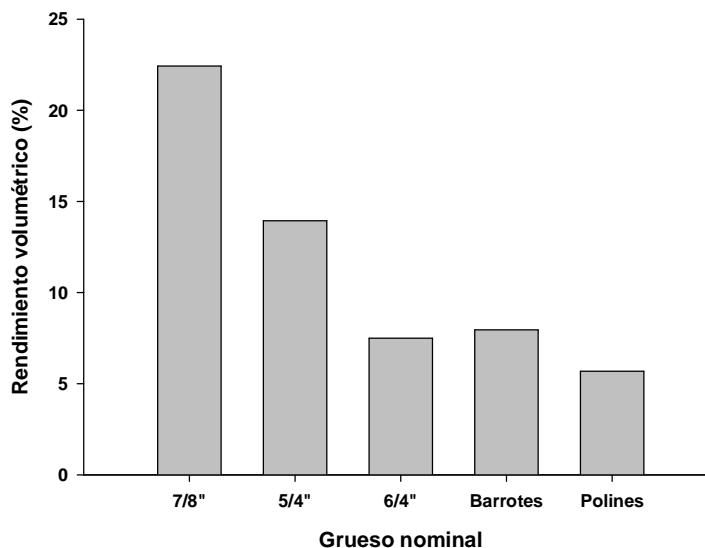


Figura 7.2. Rendimiento volumétrico de la madera aserrada por grueso

7.5.3. Rendimiento volumétrico por ancho nominal

El rendimiento volumétrico por ancho nominal se muestra en la Figura 7.3, donde el de 8 pulgadas sobresale con el 18.4%, mientras que los anchos nominales de 4" y 12" sólo representan el 7.6 y 7.9% respectivamente. De lo anterior, se desprende que por cada metro cúbico de madera en rollo que es aserrado, es posible obtener 32.18 pies tabla de madera con ancho nominal de 4"; 56.68 pies tabla de madera con 6" de ancho; 78.13 pies tabla en el ancho de 8"; 43.39 pies tabla en el ancho de 10" y 33.28 pies tabla de 12" de ancho.

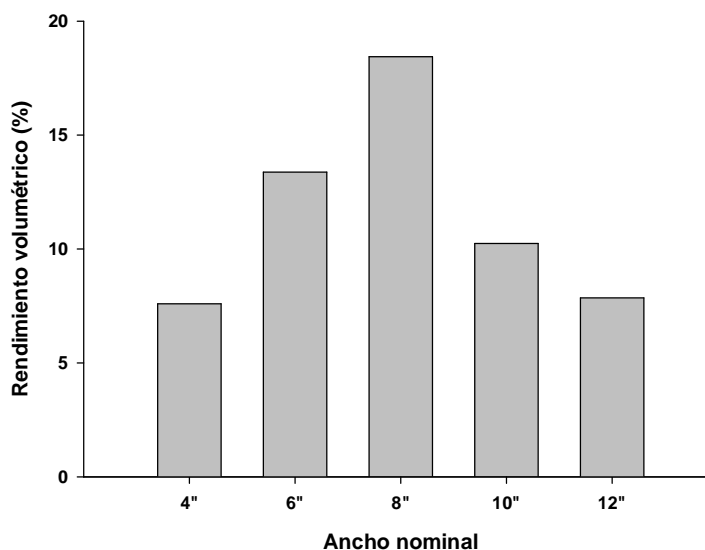


Figura 7.3. Rendimiento volumétrico de la madera aserrada por ancho

7.5.4. Rendimiento volumétrico por largo nominal

La Figura 7.4 muestra la distribución del rendimiento volumétrico por largo, sobresale el de 16' con el 27.2% del volumen total aserrado, por otra parte, las longitudes en madera aserrada que menor volumen presentaron corresponden a las de 4' y 6' con 1.1 y 1.3%. Por lo tanto, se esperaría que un metro cúbico de madera aserrada genere 4.87 pies tabla en largos de 4'; 5.48 para el largo de 6'; 30.64 correspondientes al largo de 8'; 22.06 al largo de 10'; 23.19 al de 12'; 12.23 al largo de 14'; 115.25 al de 16'; 10.30 al de 18' y 19.54 pies tabla correspondientes al largo de 20'.

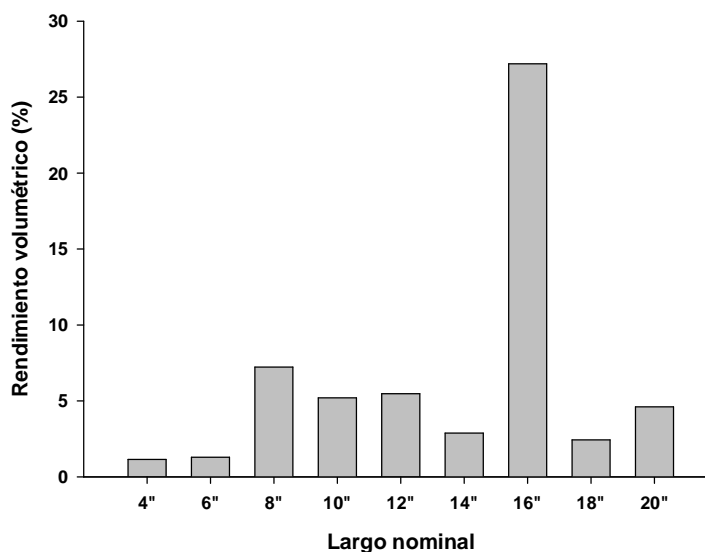


Figura 7.4. Rendimiento volumétrico de la madera aserrada por largo

7.5.5. Variación del grueso de asierre en las tablas de 7/8"

Los resultados de la Tabla 7.2 muestran que en ningún aserradero el grueso promedio de la madera garantiza la obtención de tablas secas y cepilladas con dimensión final a 7/8" (22.23 mm), lo anterior se debe a que en el espesor asignado no se incorpora un refuerzo suficiente que compense la variación en el corte de las tablas, faltando en promedio entre 1.37 mm en las tablas del aserradero del ejido San Pablo hasta 2.02 mm las tablas del aserradero del ejido La Victoria, sin embargo; la mayor desviación estándar del proceso en la madera se presentó en ejido El Brillante con 1.73 mm lo que ocasiona que la dimensión óptima de corte estimada también sea la más alta para compensar las variaciones del aserrío de la madera, de tal forma que para garantizar la obtención de tablas secas y cepilladas con dimensión nominal final de 7/8" (22.25 mm), se requiere aserrar la madera a un espesor de 28.13

mm y no a los 25.78 mm actuales. La menor desviación estándar del proceso se observó en la madera aserrada de la torre principal Bogli del CBTF1 con 1.30 mm, lo cual permite que la dimensión óptima de corte sea también la menor con 27.41 mm.

Tabla 7.2. Variación del proceso de aserrío y estimación óptima de corte para el grueso nominal de 7/8”

Aserradero	Tablas	Media (mm)	Sw (mm)	Sb (mm)	St (mm)	Do (mm)	Do-media (mm)
Sierra Principal La Victoria	50	25.78	1.11	1.07	1.54	27.80	2.02
Sierra principal San Pablo		26.14	0.92	1.00	1.36	27.51	1.37
Sierra Principal El Brillante		25.78	0.97	1.44	1.73	28.13	2.35
Sierra Principal Bogli		25.68	1.13	0.63	1.30	27.41	1.73
Sierra Principal Langer		26.09	0.85	1.03	1.34	27.47	1.38

Sw= Desviación estándar dentro de las tablas

Sb= Desviación estándar entre tablas

St= Desviación estándar del proceso

Do= Dimensión óptima de corte

Para compensar las variaciones en el grueso de la madera de 7/8” y alcanzar la dimensión óptima de corte en cada aserradero, en el ejido El Brillante esta compensación representa el 1.20% del rendimiento en madera aserrada, lo cual equivale a 5.07 pies tabla por cada metro cúbico de madera en rollo procesado. En el aserradero del ejido La Victoria tal variación representa el 2.37% del volumen aserrado, esto es, 10.05 pies tabla por m³r; en el aserradero del ejido San Pablo la variación del corte es igual a 3.90 pies tabla por m³r procesado; en el aserradero Bogli del CBTF1, llega hasta los 10.99 pies tabla por metro cúbico rollo equivalente al 2.60% del rendimiento volumétrico de la madera en esa dimensión, y en lo que respecta al aserradero Langer del CBTF1, la variación del corte representa el 0.96% del rendimiento, esto es, 4.06 pies tabla por cada metro cubico rollo que es procesado (Tabla

7.3). Aunque en apariencia se estaría sacrificando volumen para alcanzar la dimensión óptima de corte, se garantizaría que el 95% de la madera aserrada alcanzara una dimensión final de 7/8" (22.25 mm) sin riesgo de que pasara a alguna categoría inferior, en este caso de 3/4" (19.05 mm), ya que en ese escenario se tendría una pérdida de volumen que impactaría considerablemente la rentabilidad del proceso.

Tabla 7.3. Rendimiento normal y con la dimensión óptima de corte para el grueso nominal de 7/8"

Indicadores	Aserradero				
	El Brillante	La Victoria	San Pablo	Bogli CBTF1	Langer CBTF1
Volumen total sin corteza (m ³ r)	49.53	62.47	88.65	47.8	45.28
Volumen generado en madera de 7/8" (m ³)	6.50	18.39	14.82	18.13	8.04
Rendimiento normal en madera de 7/8" (%)	13.12	29.43	16.72	37.93	17.76
Volumen con la dimensión óptima (m ³)	7.09	19.87	15.64	19.37	8.48
Rendimiento con la dimensión óptima (%)	14.32	31.80	17.64	40.53	18.72
Diferencia entre rendimientos (%)	1.20	2.37	0.92	2.60	0.96

La Tabla 7.4 muestra los resultados de la variación del proceso de aserrío para el grueso nominal de 5/4" (31.75 mm), donde la mayor desviación estándar del proceso se observó en el aserradero del ejido San Pablo, estimando la dimensión óptima de corte en 39.51 mm, lo que asegura que el 95% de las tablas aserradas en esa dimensión nominal tendrán un grueso final en tablas secas y cepilladas de 5/4" al incluir la variación del corte. A medida que la desviación estándar entre tablas se reduzca mediante la verificación de la alineación del equipo de asierre, con seguridad la dimensión óptima de reducirá permitiendo que el grueso de asierre promedio sea compatible con el óptimo. En las tablas generadas en el aserradero del ejido El Brillante, el

grueso promedio de asierre resultó ser mayor a la dimensión óptima de corte en 0.85 mm, lo cual se considera una pérdida de volumen innecesario en cada tabla aserrada.

Tabla 7.4. Variación del proceso de aserrío y estimación óptima de corte para el grueso nominal de 5/4"

Aserradero	Tablas	Media (mm)	Sw (mm)	Sb (mm)	St (mm)	Do (mm)	Do-media (mm)
Sierra Principal San Pablo	50	39.04	1.58	2.08	2.61	39.51	0.47
Sierra Principal El Brillante		38.44	1.03	1.02	1.45	37.59	-0.85

Sw= Desviación estándar dentro de las tablas
 Sb= Desviación estándar entre tablas
 St= Desviación estándar del proceso
 Do= Dimensión óptima de corte

Si la madera se procesa con la dimensión óptima de corte estimada para cada aserradero, representaría un aumento en el rendimiento volumétrico de madera del 0.63% en el aserradero del ejido El Brillante, lo cual equivale a generar 2.68 pies tabla extra por cada metro cúbico de madera en rollo procesado, mientras que en el aserradero del ejido San Pablo, sería necesario compensar la variación en grueso que en este caso representa el 0.38% del rendimiento de madera aserrada para el grueso nominal de 5/4", esto es, 1.61 pies tabla por cada metro cúbico de madera en rollo aserrado (Tabla 7.5).

Tabla 7.5. Rendimiento normal y con la dimensión óptima de corte para el grueso nominal de 5/4"

Indicadores	Aserradero	
	El Brillante	San Pablo
Volumen total sin corteza (m ³ r)	49.53	88.65
Volumen generado en madera de 5/4" (m ³)	13.69	27.89
Rendimiento normal en madera de 5/4" (%)	27.64	31.47
Volumen con la dimensión óptima (m ³)	13.38	28.22
Rendimiento con la dimensión óptima (%)	27.01	31.85
Diferencia entre rendimientos (%)	-0.63	0.38

En la Tabla 7.6 se presentan los valores estimados de la dimensión óptima de corte para la madera de 6/4" (38.1 mm). Se observa que el promedio en el espesor de las tablas aserradas en el ejido La Victoria se encuentra dentro de la dimensión óptima de corte, por lo que se espera que el 95% de las tablas aserradas tengan una dimensión final de 6/4". Las tablas aserradas en el ejido El Brillante mostraron la mayor desviación estándar que de acuerdo a algunos estudios, es ocasionada por mayores desviaciones de la sierra durante su desempeño en el corte por una inadecuada tensión en combinación con una excesiva velocidad de alimentación de las trozas (Álvarez, *et al.*, 2004; Steele *et al.*, 1992); sin embargo, Néri *et al.* (1999) mencionan que las fuerzas en el corte varían con la especie maderable, con la dirección de las fibras, la densidad y humedad de la madera, los ángulos de la sierra, velocidad y espesor del corte. En este caso, los 46.11 mm de espesor promedio de la madera dieron como resultados que sólo se tuviera una diferencia de 0.68 mm para alcanzar la dimensión óptima de corte. En el aserradero Bogli del CBTF1, se observó la mayor diferencia entre las dimensiones promedio de la madera con la dimensión óptima de corte con 1.66 mm, mientras que para el aserradero Langer, tal diferencia resultó sólo de 0.28 mm.

Tabla 7.6. Variación del proceso de aserrío y estimación óptima de corte para el grueso nominal de 6/4"

Aserradero	Tablas	Media (mm)	Sw (mm)	Sb (mm)	St (mm)	Do (mm)	Do-media (mm)
Sierra Principal La Victoria	50	44.20	1.06	0.96	1.43	44.18	-0.02
Sierra Principal El Brillante		46.11	2.29	1.95	3.01	46.79	0.68
Sierra Principal Bogli		44.41	1.68	1.95	2.57	46.07	1.66
Sierra Principal Langer		43.81	1.13	0.78	1.37	44.09	0.28

Sw= Desviación estándar dentro de las tablas

Sb= Desviación estándar entre tablas

St= Desviación estándar del proceso

Do= Dimensión óptima de corte

Compensar la variación del corte de la madera en la dimensión óptima en cada aserradero, representaría en el ejido El Brillante el 0.06% o bien 0.24 pies tabla por cada metro cúbico rollo aserrado; en el aserradero del ejido La Victoria se tendría un sobredimensionamiento en la madera de apenas 0.03 pt/m³r; en el aserradero Bogli para alcanzar la dimensión óptima de corte se requiere de 1.90 pt/m³r y para la torre principal Langer del CBTF1 sería de apenas 0.20 pies tabla por cada metro cúbico de madera en rollo procesado equivalente al 0.07% del rendimiento volumétrico para esa dimensión nominal (Tabla 7.7).

Tabla 7.7. Rendimiento normal y con la dimensión óptima de corte para el grueso nominal de 6/4"

Indicadores	Aserradero			
	El Brillante	La Victoria	Bogli CBTF1	Langer CBTF1
Volumen total sin corteza (m ³ r)	49.53	62.47	47.8	45.28
Volumen generado en madera de 6/4" (m ³)	1.81	9.52	5.59	4.47
Rendimiento normal en madera de 6/4" (%)	3.65	15.24	11.69	9.87
Volumen con la dimensión óptima (m ³)	1.84	9.51	5.81	4.50
Rendimiento con la dimensión óptima (%)	3.71	15.23	12.14	9.94
Diferencia entre rendimientos (%)	0.06	-0.01	0.45	0.07

Zavala y Hernández (2000) mediante el asierre de trocería de pino de cinco calidades, determinaron un rendimiento promedio de 12% para la clase 2 y mejor; 18% para la clase 3, 12% para la 4 y 9% para la clase 5 totalizando un 51% de rendimiento en madera aserrada, esto significa que es posible obtener 216 pies tabla por cada metro cúbico de madera en rollo aserrado de los cuales 51 pies tabla corresponden a la clase dos y mejor, 76 pies tabla a la clase 3, 51 pies tabla a la clase 4 y 38 pies tabla a la clase 5. Tales valores son muy diferentes a los encontrados en los aserraderos de El Salto, donde la mayor concentración volumétrica se observó en las tablas de clase 5 con el 20% del rendimiento. Álvarez, *et al.* (2004) encontraron en cuatro aserraderos de Cuba, desviaciones estándar en el proceso en el aserrío de *Pinus caribea* para el espesor de 13 mm de 1.89 a 2.90 mm, mientras que para el espesor de 50 mm tales desviaciones fluctuaron entre 2.16 y 4.85 mm, para el grueso de 75 mm las desviaciones oscilaron de 2.36 a 4.50 mm y para el grueso de 100 mm las variaciones encontradas fueron de 2.71 a 5.46, las cuales son mayores a las encontradas en la madera aserrada en El Salto, donde la desviación máxima se registró en la madera de 6/4" aserrada en el ejido El Brillante con 3.01 mm, de tal forma que existe una tendencia en que a medida que aumenta la dimensión de corte, también lo hacen las variaciones; los mismos autores mencionan que existe un excesivo sobredimensionamiento y variación del corte atribuyendo como causas principales, la excesiva variación de la sierra al efectuar los cortes y la deficiente alineación de las escuadras del carro porta trozas. Zavala (2003) al aserrar madera de *Quercus* spp mediante el sistema

tradicional y radial a un espesor nominal de 3/4" (19.05 mm), encontró una desviación estándar del proceso de 3.93 sugiriendo una mala calidad de asierre al encontrar el 80% de las tablas no aptas para comercializarse en esa dimensión nominal; estimó una dimensión óptima de corte de 28.71 mm la cual resultó 12% mayor al promedio que fue de 25.36 mm, menciona que la distribución del ancho de la madera aserrada por el sistema radial fue del 40% del rendimiento para tablas de 4 y 6 pulgadas y 12% de tablas en el ancho de 8 pulgadas, lo cual corresponde a un rendimiento volumétrico total de 52%, es decir, de cada metro cúbico de madera en rollo que es aserrado, se obtienen 220 pies tabla, de los cuales, 170 corresponden a los anchos de 4 y 6 pulgadas y 50 pies tabla a madera en el ancho de 8 pulgadas; mientras que con el sistema de aserrío tradicional, encontró un 49% de rendimiento en tablas con ancho de 8" y 7% en tablas de 4 y 6 pulgadas, lo cual indica un rendimiento del 56%, indicativo que por cada metro cúbico de madera en rollo aserrada, se espera obtener un volumen de 237 pies tabla, de los cuales, 207 corresponde a madera con ancho de 8 pulgadas y 30 pies tabla de 4 a 6 pulgadas. En el presente estudio, las tablas de 8 pulgadas resultaron ser las producidas en mayor número, sin embargo en términos de rendimiento volumétrico total en madera aserrada, apenas alcanzaron el 18%, equivalente a 78 pies tabla por metro cúbico de madera en rollo aserrado lo cual es 38% menor al volumen reportado por Zavala (2003).

7.6. CONCLUSIONES

Los resultados mostraron que la calidad dimensional de la madera producida en los aserraderos objeto de estudio en la región de El Salto, Durango, es baja, ya que las dimensiones a las que se asierra actualmente no permiten que la madera alcance una dimensión nominal final seca y cepillada. Lo anterior, debido a que no se considera en los refuerzos asignados el volumen que compense las variaciones que se presentan durante el aserrío de la madera, las cuales no sacrifican en forma significativa el rendimiento volumétrico en cada espesor evaluado, por lo que el beneficio de aserrar la madera a la dimensión óptima de corte estimada garantiza la mayor cantidad de tablas dentro de un espesor final adecuado, como se demostró. De lo anterior destaca la importancia de establecer mecanismos que permitan controlar la variación del corte de la madera mediante acciones de mantenimiento preventivo y correctivo tanto en la alineación de los elementos de corte como en los mecanismos encargados de asignar los espesores de la madera.

7.7. LITERATURA CITADA

Álvarez, D., Andrade, E., Quintín G., Domínguez, A. 2004. Importancia del control de las dimensiones de la madera aserrada. Chapingo serie Ciencias Forestales y del Ambiente. 10(2):105-110.

- Brown, T.D. 2000. Lumber Size Control, Part 1: Measurement Methods, Oregon State University. Extension Service. 11 p.
- Brown, T.D. 2000a. Lumber Size Control, Part 2: Size Analysis Considerations. Oregon State University. Extension Service. 28 p.
- Eleotério, J.R., Storck, L., Lopes, S. 1996. Caracterização de peças de madeira produzidas em serraria visando o controle de qualidade. *Ciencia Florestal*, 6(1):89-99.
- Gatto, D.A., Santini, E.J., Haselein, C.R., Durlo, A. 2004. Qualidade da madeira serrada na região da quarta colônia de imigração Italiana do Rio Grande Do Sul. *Ciência Florestal*. 14(1):223-233.
- Hernández, C. 2007. Estudio tecnológico en la madera de *Pinus ayacahuite* y *P. teocote* del Ejido Pueblo Nuevo, Durango. Tesis de Maestría en Ciencias en Desarrollo Forestal Sustentable. Instituto Tecnológico de El Salto. Durango, México. 115 p.
- Maness, T., Lin, Y. 1995. The influence of sawkerf and target size reductions on sawmill revenue and volumen recovery. *Forest Products Journal*. 54(11/12):43-50.
- Néri, A.C., Gonsalves, R., Hernandez, R.E. 2000. Forças de corte ortogonal 90-90 em três espécies de madeira de eucalipto. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. 4(2):275-280.
- Ponce, R.H. 1993. Novas tecnologias de desdobro e beneficiamento de madeira: a busca da competitividade *In: Anais do 7º Congresso Florestal Brasileiro*. Curitiba: Brasil. 310-314 pp.

- Rasmussen, H.K., Kozak, R.A., Maness, T.C. 2004. An analysis of machine-caused lumber shape defects in British Columbia sawmills. *Forest Products Journal*. 54(6):47-56.
- Steele, P.H., Wade, M.W., Bullard, S.H., Araman, P.A. 1992. Relative kerf and sawing variation values for some hardwood sawing machines. *Forest Products Journal*. 42(2):33-39.
- UCODEFO 6. 1997. Memoria general de predios del programa de manejo forestal 1997-2007. El Salto, Durango, México. 207 p.
- Young, T.M., Bond, B.H., Wiedenbec, J. 2007. Implementation of a real-time statistical process control system in hardwood sawmills. *Forest Products Journal*. 57(9): 54-62.
- Zavala, D. 1991. Manual para el establecimiento de un sistema de control de la variación de refuerzo en madera aserrada. Serie de apoyo académico 44. Universidad Autónoma Chapingo. 49 p.
- 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.
- 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):29-39.

CAPÍTULO 8

CONCLUSIONES GENERALES

8.1. Operaciones de aprovechamiento forestal

- El ciclo de derribo, desrame y troceo se estableció en promedio en 3.49 minutos para árboles de 36 cm de diámetro, 19 m de altura, volumen de 1.22 m³r y una distancia entre árboles por derribar de 24.5 m, lo cual indica un rendimiento promedio de 29.67 m³h⁻¹. Valores que son influenciados por la variación en el diámetro, altura y distancia entre árboles, ya que a medida que el diámetro y altura de los árboles aumenta, también lo hace el rendimiento, mientras que éste disminuye a medida que aumenta la distancia entre los árboles por derribar.
- El ciclo de arrastre mecanizado se estableció en promedio en 2.71 minutos para trozas de 27 cm de diámetro menor y 37 de diámetro mayor, largo de 6.53 m, volumen de 0.56 m³r y distancia media de arrastre de 43 m, con lo cual se esperan rendimientos de arrastre mecanizado de 19.83 m³h⁻¹. Sin embargo, estos valores varían en función del tamaño y distancia de arrastre de las trozas ya que a medida

que aumenta el diámetro y largo de las trozas, el rendimiento se incrementa, mientras que éste disminuye a medida de que las distancias de arrastre se incrementan.

- El ciclo de carga mecanizada se estableció en promedio en 2.80 minutos para trozas de 27 cm de diámetro menor, 35 de diámetro mayor, 5.97 m de largo, volumen de 0.49 m^3 , con lo cual se espera un rendimiento de $35.27 \text{ m}^3\text{h}^{-1}$. Rendimiento que es influenciado por la variación en el diámetro de las trozas, ya que a medida que aumentan en diámetro, también aumenta el rendimiento en la carga. Sin embargo, en lo referente al largo de las trozas, la relación encontrada es que a medida que las trozas son más largas los rendimientos disminuyen, puesto que se invierte mayor tiempo de manipulación para subirlas a los camiones.

8.2. Impactos de las operaciones forestales

- En la región de El Salto, Durango, la efectividad del derribo en promedio es del 80%, encontrando valores de efectividad de 64% a 90%, lo cual se traduce en una mayor afectación al arbolado residual.
- Se estimó que por cada 10 árboles que son derribados y arrastrados, siete afectan a 22 árboles residuales, esto corresponde a una afectación de 3.5 árboles residuales por cada árbol derribado y arrastrado.

- Los disturbios por efecto de las operaciones forestales en las áreas de corta son severos en 24% de la superficie, moderados en otro 24% y 54% no sufre disturbio alguno.
- En las operaciones de arrastre mecanizado se encontró que por cada metro cúbico de madera que es arrastrado, se remueven 0.481 metros cúbico de suelo.

8.3. Asierre primario de la madera

- El rendimiento de madera en los aserraderos de la región de El Salto, Durango es de 57.5% sin corteza y la productividad de $7.57 \text{ m}^3\text{h}^{-1}$. La velocidad de alimentación se estimó en 46.47 m/min. No se observó una tendencia de aumento en el rendimiento con el aumento en el diámetro de las trozas; respecto al largo de las trozas, se observó que un aumento en longitud representa una disminución del rendimiento; lo mismo ocurre con la conicidad de las trozas, observándose que a medida que las trozas son más cónicas el rendimiento en madera aserrada disminuye.

8.4. Calidad dimensional de la madera

- La calidad dimensional de la madera producida en los aserraderos de la región de estudio es baja ya que las dimensiones con las que se asierra actualmente no permiten que la madera alcance una dimensión nominal final seca y cepillada.

De acuerdo a las conclusiones anteriores, el trabajo ha aportado evidencia de que existen amplias áreas de oportunidad para aumentar la eficiencia y calidad de los procesos y productos maderables en la región de El Salto, Durango. En lo referente a las operaciones de aprovechamiento forestal es preocupante el nivel de eficiencia detectado en el derribo de los árboles ya que el 80% de efectividad se traduce en una urgente necesidad de capacitación de los operarios para reducir los impactos al arbolado residual, pero lo más importante es reducir la probabilidad de ocurrencia de accidentes laborales. En el proceso de transformación primaria de la madera, se detectó que existen problemas en la calidad dimensional de la madera aserrada, lo cual representa una barrera para promover la venta de madera hacia el exterior por no reunir los requerimientos dimensionales adecuados. Para abatir este problema es urgente la adopción de sistemas de monitoreo en la calidad, por lo que se hace necesario el establecimiento de un sistema de control de calidad dimensional de la madera en los aserraderos de la región, asimismo debe existir un programa de capacitación continua hacia los operarios para que tengan la capacidad de detectar el origen de las fallas en el equipo e incursionar en nuevas formas de trabajo donde la prioridad sea el trabajo seguro de calidad y no la cantidad. Lo anterior es una prioridad que debe ser considerada y puesta en marcha por parte de los productores forestales de la región, ya que depende en gran medida el convencimiento que tengan para realizar las mejoras en los procesos productivos para aumentar la calidad y con ello afrontar los retos de la competencia externa que tanto afecta al sector. Lo

que es un hecho es que el paradigma del trabajo forestal debe cambiar, ya que no se puede seguir siendo productor de materias primas, la única alternativa para sobrevivir en un mercado tan complicado como es el de la madera es otorgar valor agregado a los productos pues esa sería parte de la solución para generar beneficios económicos. No se puede continuar con el enfoque de trabajo actual con un recurso escaso y una demanda creciente de satisfactores sociales en la región.

CAPÍTULO 9

RECOMEDACIONES GENERALES

9.1. Operaciones de aprovechamiento forestal

- Utilizar los indicadores de productividad en función de los diámetros, alturas y distancias de los árboles por derribar para realizar la programación de las operaciones de aprovechamiento forestal en la región objeto de estudio.

9.2. Impactos de las operaciones forestales

- Capacitar a los operadores de motosierras en técnicas de derribo de bajo impacto para aumentar la eficiencia del derribo ya que se estimó que ésta se encuentra en 80%. Con lo anterior se busca disminuir la afectación al arbolado residual, y lo más importante, reducir los riesgos de accidentes a los operadores.
- En las operaciones de arrastre se recomienda trazar los carriles en áreas donde se exista el menor número de individuos residuales o especies de alto valor económico.

- Para evitar la pérdida de suelo por efecto de las operaciones forestales, se recomienda clausurar los carriles de arrime con vegetación residual del aprovechamiento como una forma de evitar el arrastre y pérdida de suelo.

9.3. Asierre primario de la madera

- Es necesario el establecimiento de mecanismos que permitan controlar la variación del corte de la madera mediante acciones de mantenimiento preventivo y correctivo tanto en la alineación de los elementos de corte como en los mecanismos que asignan los espesores de la madera.
- Se recomienda analizar alternativas de industrialización que permitan darle un mayor valor agregado a la madera aserrada y reducir la comercialización tradicional de trocería y tablas.

9.4. Calidad dimensional de la madera

- Analizar y detectar los problemas de ajustes y alineación de las sierras y el equipo para ubicar las fallas del proceso, incluyendo las velocidades de alimentación utilizadas, ya que esta es una variable que influye en forma negativa en la variación del espesor de la madera aserrada.
- Aserrar la madera a las dimensiones estimadas en el presente estudio para garantizar el mayor número de tablas con dimensiones coincidentes con las nominales; sin embargo, en la medida de que se

reduzcan las variaciones en grueso de la madera mediante un ajuste y alineación del equipo de corte, se podrán reducir las dimensiones óptimas de corte y con ello obtener un ahorro de materia prima en cada tabla aserrada.

- Con el fin de mejorar el proceso de asierre se recomienda establecer un sistema de control de calidad en las dimensiones de la madera aserrada en grueso y ancho.

CAPÍTULO 10

LITERATURA CITADA

- Aguilera, A., Inzunza, L., Alzamora, R., Tapia, L. 2005. Evaluación del costo de producción para faenas de aserrío portátil. *Bosque*. 26(2):107-114.
- Akay, A., Yilmaz, M., Tongue, F. 2006. Impact of harvesting machines on forest ecosystem: Residual stand damage. *Journal of Applied Sciences* 6(11):2414-2419.
- Álvarez, D., Andrade, E., Quintín G., Domínguez, A. 2004. Importancia del control de las dimensiones de la madera aserrada. *Chapingo serie Ciencias Forestales y del Ambiente*. 10(2):105-110.
- Ambrosio, T.Y., Tolosana, E. 2007. El control de tiempos y rendimientos en los trabajos forestales. *El programa Kronos. Montes*. 87:14-20.
- Arce, J.E., MacDonagh, P., Friedl, R.A. 2004. Geração de padrões ótimos de corte através de algoritmos de traçamento aplicados a fustes individuais. *Árvore*. 28(2): 207-217.

- Barnes, R. 1968. Motion and time study: design and measurement of work. 6^a ed. New York: John Willey & Sons. 799 p.
- Beltrán, M. 2001. Estudio de tiempos y movimientos para mejorar la productividad. M&M. 33:52-56.
- Berger, R., Timofeiczky, J.R., Carnieri, C., Lacowicz, P.G., Junior, J.S., Brasil, A.A. 2002. Minimização de custos de transporte florestal com a utilização da programação linear. Floresta 33(1): 53-62.
- Bertrand, I., Prabhakar, M. 1990. Control de calidad. Teoría y aplicaciones. Editorial Díaz de Santos S.A. Madrid. 564 p.
- Biasi, C.P. 2005. Rendimento e eficiência no desdobro de três espécies tropicais. Dissertação da Maestrado. Setor de Ciências Agrárias-Centro de Ciências Florestais e da Madeira. Univesidad Federal do Paraná, Brasil. 73 p.
- Binagorov, G.S. 1984. Tecnología del aprovechamiento forestal. Editorial Industrial Forestal. Moscú. 201-202 pp.
- Björheden, R. 1991. Basic time concepts for international comparisons of time study reports. International Journal of Forest Engineering. 2(2):33-39.
- Björheden, R., Thompson, M. A. 2000. An international nomenclature for forest work study. *In*: Field, David B., (ed.) Proceeings, IUFRO 1995 S3:04 subject area: 20th World Congress; 1995 August 6-12; Tampere, Finland. Miscellaneous Report 422. Orono, ME: University of Maine: 190-215 pp.

- Blancarte, V.A., Hernández, C. 1982. Análisis de eficiencia de las operaciones de abastecimiento de trocería y leñas en el ejido Pueblo Nuevo, Durango. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales. Boletín Técnico. No. 86. México. 187 p.
- Brown, N.C., Bethel, J.S. 1987. La industria maderera. Editorial Limusa. México. 397 p.
- Brown, T.D. 2000. Lumber Size Control, Part 1: Measurement Methods, Oregon State University. Extension Service. 11 p.
- Brown, T.D. 2000a. Lumber Size Control, Part 2: Size Analysis Considerations. Oregon State University. Extension Service. 28 p.
- Bryant, R.C. 1938. Lumber its manufacture and distribution. 2nd. Ed. John Wiley & Sons, Inc. New York, U.S.A. 535 p.
- Caballero, D. M. 2004. La demanda de la educación y la capacitación forestal en México. Comisión Nacional Forestal y Colegio de Postgraduados. México. 46 p.
- Cárdenas, B.G.E. 1981. Planeación Industrial y de las Operaciones de Abastecimiento en la Unidad Industrial de Explotación Forestal de Atenquique Jalisco. Tesis Profesional. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 91 p.
- Casado, M. 1997. Tecnología de las industrias forestales. Tomo1. Serie forestal 26. Escuela Técnica Superior de Ingenierías Agrarias, Universidad de Valladolid. 191 p.

Castro, A. M. G., De Wright, J., Goedert, W. 1996. Metodologia para viabilizaçãodo modelo de demanda na pesquisa agropecuária. *In: Anais do XIX Simpósio de Gestão da Inovação Tecnológica. São Paulo. USP/PGT/FIA/PACTO.*

Clatterbuck, W.K. 2006. Logging damage to residual tres following comercial harvesting to different overstory retention levels in a mature hardwood stand in Tennessee. *In: Connor, Kristina F., ed. Proceedings of the 13th biennal southern silvicultural research conference. Gen. Tech. Rep. SRS-92. Asheville, NC: U.S. Departament of Agriculture, Forest Service, Southern Research Station. 640 p.*

Cline, M. L., Hoffman, B. F., Cyr, M., Bragg, W. 1991. Stand Damage Following Whole-Tree Partial Cutting in Northern Forests. *Northern Journal of Applied Forestry* 8(2):72-76.

Comisión de Solidaridad y Defensa de los Derechos Humanos, A.C. (COSYDDHAC). 1999. La industria forestal y los recursos naturales en la Sierra Madre de Chihuahua: impactos sociales, económicos y ecológicos. Texas Center for Policy Studies. Austin, Texas, U.S.A. 63 p.

Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). 2010. Cadenas productivas. http://www.conafor.gob.mx/index.php?option=com_content&task=view&id=70&Itemid=144. (Consultado el 25 de agosto de 2010).

- Contreras, F., Cordero, W., Fredericksen, T.S. 2001. Evaluación del aprovechamiento forestal. Proyecto de Manejo Forestal Sostenible (BOLFOR) USAID. Santa Cruz, Bolivia. 43 p.
- Cordero, W., Meza, A. 1992. Algunas Notas sobre Prácticas de Aprovechamiento Forestal Mejorado. *En: V Curso Intensivo Internacional de Silvicultura y Manejo de Bosques Naturales Tropicales*. CATIE. 52 p.
- De Freitas, L. C. 2000. A baixa produtividade e o desperdício no processo de beneficiamento da madeira: um estudo de caso. *Disertación de Maestría*. Universidad Nacional de Santa Catarina. Brasil. 146 p.
- De Souza, Á.N., De Oliveira, A.D., Solforo, J.R., De Mello, J.M., De Carvalho, L.M. 2007. Modelagem do rendimento no desdobro de toras de eucalipto cultivado em sistema agroflorestal. *Cerne*. 13(2):222-238.
- Donatti, Z. 1983. Madeira de reflorestamiento *In: Encontro Nacional de Reflorestadores*. Curitiba, Brasil. 30 p.
- Dykstra, D.P., Heinrich, R. 1996. Código modelo de prácticas de aprovechamiento forestal de la FAO. Roma. 102 p.
- Egas, A.F. 1998. Consideraciones para elevar los rendimientos en aserraderos con sierras de banda. Tesis para optar por el grado de doctor en Ciencias Forestales. Universidad de Pinar del Rió, Cuba. 100 p.
- Egger, W. 1982. Planning of work systems for wood harvesting in mountainous regions. *Logging of mountain forest*. FAO. Roma. 285 p.

- Eleotério, J.R., Storck, L., Lopes, S. 1996. Caracterização de peças de madeira produzidas em serraria visando o controle de qualidade. *Ciencia Florestal*, 6(1):89-99.
- Eriksson, L.O. 1983. Quantitative support by linear programming for decision on silviculture and harvesting. Institutionen for Skogsteknik. Stencil 248. Sweden. 41 p.
- Eroğlu, H., Öztürk, U.Ö., Sönmez, T., Tilki, F., Akkuzu, E. 2009. The impacts of timber harvesting techniques on residual trees, seedlings, and timber products in natural oriental spruce forests. *African Journal of Agricultural Research*. 4(3):220-224.
- Fahey, T.D., Sachet, J.K. 1993. Lumber recovery of ponderosa pine in Arizona and New Mexico. USDA Forest Service Paper PNW-RP-467. Pacific Northwest Research Station Portland, Oregon. 18 p.
- Fajardo, A.J., Sánchez, L. 1995. Relación entre defectos principales externos de trocería de pino y su rendimiento en calidad y cantidad de madera aserrada en Gomez Farias, Jalisco. *Revista Chapingo serie Ciencias Forestales y del Ambiente*. 1: 35-42.
- FAO. 1989. Cuidado y mantenimiento de sierras. *Estudios FAO Montes* 58. Roma. 117 p.
- Fath, H. 2001. Commercial timber harvesting in natural forests of Mozambique. *Forest Harvesting Case-Study*. FAO. 66 p.

- Ferreira, S., Lima, J.T., Da Silva, S.C., Trugilho, P.F. 2004. Influência de métodos de desdobro tangenciais no rendimento e na qualidade da madeira de clones de *Eucalyptus* spp. *Cerne*. 10(1):10-21.
- Ferreira, W. 2000. Análise operacional de colheitadeiras Florestais. *Floresta e Ambiente*. 7(1): 265-278.
- Fosado, O. 1999. Tratamiento económico matemático de la planificación operativa del proceso de aserrado de la Madera. Tesis de Doctorado en Ciencias Forestales. Universidad de Pinar del Rio. Pinar del Rio, Cuba. 100 p.
- García, J.D., Morales, L., Valencia, S. 2001. Coeficientes de aserrío para cuatro aserraderos banda en el Sur de Jalisco. *Foresta-AN*. Nota técnica No. 5. UAAAN, Saltillo, Coah. 12 p.
- García, L., Guindeo, A., Peraza, C., De Palacios, P. 2002. La madera y su tecnología. Fundación Conde del Valle de Salazar y Ediciones Multiprensa. AITIM. Madrid. 322 p.
- Gatto, D.A., Santini, E.J., Haselein, C.R., Durlo, A. 2004. Qualidade da madeira serrada na região da quarta colônia de imigração Italiana do Rio Grande Do Sul. *Ciência Florestal*. 14(1):223-233.
- Gayoso, A.J., Iroume, A. 1995. Impacto del manejo de plantaciones sobre el ambiente físico. *Bosque* 16(2):3-12.
- Gerwing, J., Vidal, E., Veríssimo, A. 1997. Rendimiento no processamento de Madeira no estado do Pará. *Tropical Forest Products*, 3(1): 70-80.

- Gómez, A.R. 1982. Análisis de la eficiencia de las operaciones de abastecimiento de productos forestales en el Ejido La Victoria, Pueblo Nuevo, Durango. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales. Boletín Técnico No. 84. México. 100 p.
- Hallock, L.W. 1976. Increasing softwood dimension yield from small logs best opening face. USDA Forest Service research. Madison, Wis. 11p.
- Han-Sup, H., Kellogg, L.D. 2000. Damage characteristics in young Douglas-Fir stands from commercial thinning with four timber harvesting systems. Western Journal of Applied Forestry. 1(1):27-33.
- Han-Sup, H., Kellogg, L.D. 2000a. A comparison of sampling methods for measuring residual stand damage from commercial thinning. International Journal of Forest Engineering. 11(1):63-69.
- Hernández, C. 2007. Estudio tecnológico en la madera de *Pinus ayacahuite* y *P. teocote* del Ejido Pueblo Nuevo, Durango. Tesis de Maestría en Ciencias en Desarrollo Forestal Sustentable. Instituto Tecnológico de El Salto. Durango, México. 115 p.
- Hernández, D.C., Gómez, A.R., García, P.A., Trillo, J.A. 1982. Abastecimiento de trocería y leña en la Unidad Industrial de Explotación Forestal Atenquique, Jalisco. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales. Boletín Divulgativo. No. 57. México. 103 p.
- Hernández, R., Wiemann, M.C. 2006. Lumber processing in selected sawmills in Durango and Oaxaca, México. General Technical Report FPL-GTR-167.

- Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory. 14 p.
- Hofle, H.H. 1971. Optimization of the harvest of small-size wood through linear programming in operational research and the managerial economics of forestry her majesty stationery. Office Forestry Commission Bulletin no. 44. England. 11 p.
- Husch, B., Miller, C., Beers, T. 2003. Forest mensuration. Krieger Publishing. New York, USA. 402 p.
- Jackson S., Fredericksen, T.S., Malcolm, J.R. 2002. Area disturbed and residual stand damage following logging in a Bolivian tropical forest. *Forest Ecology and Management*. 163:271-283.
- Johns J.S., Barreto, P., Uhl, C. 1996. Logging damage during planned and unplanned logging operations in the Eastern Amazon. *Forest Ecology and Management*. 89:59-77.
- Kanawaty, G. 1992. Introduction to Work Study. International Labour Office, Geneva. 524 p.
- Koch, P. 1964. Word Machinning Processes. The Ronald Press Company. Nueva York. 530 p.
- Koroleff, A. 1953. Investigaciones sobre el rendimiento de la explotación forestal. *Unasyva*. 7(4):35-36.

- Leavenworth, G. 2004. Control estadístico de calidad. CECSA. Segunda edición. México. 722 p.
- Limbeck-Lilienau, B. 2003. Residual stand damage caused by mechanized harvesting systems. *In*: Limbeck-Lilienau, Steinmüller and Stampfer (Editors). Proceedings of the Austro 2003 meeting: High Tech Forest Operations for Mountainous Terrain, October 5-9, 2003, Schlaegl-Austria. 11 p.
- Lineros, P.M., Espinosa, B., Jiménez, A. 2003. Daño a los árboles remanentes por sistema harvester-forwarder en raleo comercial de *Pinus radiata* D. Don. Bosque 24(1):87-93.
- Loehnertz, P.S., Vazquez, C.I., Guerrero, J. 1996. Hardwood sawing technology in five tropical countries. Forest Prod. J. 46(2):51-56.
- Lopes, D.E., Zanlorenzi, E., Couto, L.C. 2003. Análise dos fatores humanos e condições de trabalho no processamento Mecânico primário e secundário da madeira. Ciência Florestal. 13(2) 177-183.
- Lopes, S.E. 2007. Análise técnica económica de um sistema de colheita florestal. Tesis Doctoral. Universidade Federal de Viçosa. 113 p.
- López, S.E., Ambrosio Y.T., Vignote, S. 2005. Tiempos y rendimientos de dos sistemas de aprovechamiento de madera de *Populus* sp. en Castilla-León (España). Ciencia Forestal en México. 31(99):73-91.

- Lustrum, S. 1993. Circular sawmills and their efficient operation. USDA Forest Service State and Private Forestry. 93 p.
- Malinovsky, R.A., Malinovsky, R., Malinovsky, J.R., Yamaji, F.M. 2006. Análise das variáveis de influencia na produtividade das máquinas de colheita da madeira em função das características físicas do terreno, do pavimento e do planejamento operacional florestal. *Floresta* 36(2):169-182.
- Maness, T., Lin, Y. 1995. The influence of sawkerf and target size reductions on sawmill revenue and volumen recovery. *Forest Products Journal*. 54(11/12):43-50.
- Martins E.P., Oliveira, A.D., Scolforo, J.R. 1997. Avaliação dos danos causados pela exploração florestal à vegetação remanescente, em florestas naturais. *Cerne* 3:14-24.
- Melo, R., Ravón, H. 1982. Análisis y diagnóstico de procesos industriales de transformación mecánica de la madera. INFOR. Concepción, Chile. 162 p.
- Mendoza, M.A. 1995. Rendimiento de un sistema de cable en relación a la intensidad del régimen silvícola. *Madera y Bosques* 3(1): 13-32.
- Meneses, M., Guzmán, S. 2000. Productividad y eficiencia en la producción forestal basadas en las plantaciones de pino radiata. *Bosque* 21(2):3-11.
- Mialhe, L.G. 1974. Manual de mecanización agrícola. Sao Paulo: editora agronómica Ceres. 301 p.

- Miyata, E.S., Steinhilb, H.M., Winsauer, S.A. 1981. Application of work sampling technique to analyze logging operations. Research Paper NC-213. USDA, Forest Service, North Central Forest Experiment Station. 11 p.
- Moreno, R., Vargas R., Rivero, P. 1985. Modelo de programación lineal de labores de abastecimiento forestal. *Ciencia Forestal en México*. 53 (10): 28-49.
- Moreshi, J.C. 2004. Propriedades da madeira. Notas de aula. Departamento de Engenharia e Tecnología Florestal. UFPR. Brasil. 168 p.
- Mousavi, R. 2009. Comparison of productivity, cost and environmental impacts of two harvesting methods in Northern Iran: short-log vs. long-log. Academic Dissertation. Faculty of Forest Sciences, University of Joensuu, Finland. 93 p.
- Murara, M.I., Da Rocha, M.P., Timofeiczky, R.J. 2005. Rendimento em madeira serrada de *Pinus taeda* para duas metodologias de desdobro. *Floresta*. 35(3):473-483.
- Nájera, L.J.A., Rodríguez, R.I., Méndez, G.J., Graciano, L.J., Rosas, G.F., Hernández, F.J. 2006. Evaluación de tres sistemas de asierre en *Quercus sideroxylo* Humb & Bompl. de El Salto, Durango. *Ra Ximhai*. 2(2) 497-513.
- Návar, H.R. 1979. Aspectos de abastecimientos de productos forestales en el Ejido Santa María de Ocotán y Xoconoxtle, municipio de El Mezquitil, Durango. *Ciencia Forestal en México*. 55 (10): 50-64.

- Návar, H.R., Gómez, A.R., Hernández, C. 1979. Análisis de la eficiencia de las operaciones de abastecimiento de productos forestales en el ejido La Ciudad, municipio de Pueblo Nuevo, Durango. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales. México. 129 p.
- Néri, A.C., Gonsalves, R., Hernandez, R.E. 2000. Forças de corte ortogonal 90-90 em três espécies de madeira de eucalipto. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. 4(2):275-280.
- Ohlson-Kiehn, C., Alarcón, A., Choque, U. 2003. Variación en disturbios del suelo y el dosel causados por aprovechamiento de diferentes intensidades en un bosque tropical húmedo de Bolivia. Proyecto de Manejo Forestal Sostenible. BOLFOR. Documento Técnico 131/2003. USAID/Bolivia. 31 p.
- Organización Internacional del Trabajo (OIT). 1996. Introducción al estudio del trabajo. Editorial OIT, Ginebra, Suiza. 507 p.
- Pérez, R. C., Rodríguez, F.C., Sambrano, G.V. 1982. Plan de Desarrollo Forestal del Estado de Guerrero. Estudio Básico No. 5. Extracción y Transporte Forestal. Subsecretaria Forestal y de la Fauna. México. 100 p.
- Polzl, W., Dos Santos, A., Timofeiczky, R., Polzl, P. 2003. Cadeia produtiva do processamento mecânico da madeira - segmento da madeira serrada no estado do Paraná. Floresta. 33(2) 127-134.
- Ponce, R.H. 1993. Novas tecnologias de desdobro e beneficiamento de madeira: a busca da competitividade *In: Anais do 7º Congresso Florestal Brasileiro*. Curitiba: Brasil. 310-314 pp.

- Poschen, P. 1993. Forestry, a safe and healthy profession?. *Unasyuva*. 44(172):3-12.
- Quirós, R. 1990. Optimización del proceso de aserrío de trozas de *Terminalia amazonia*. *Revista Forestal Centroamericana*. 29 (1): 14-19.
- Quirós, R., Chinchilla, O., Gómez, M. 2005. Rendimiento en aserrío y procesamiento primario de madera proveniente de plantaciones forestales. *Agronomía Costarricense*. 29(2):7-15.
- Rasmussen, H.K., Kozak, R.A., Maness, T.C. 2004. An analysis of machine-caused lumber shape defects in British Columbia sawmills. *Forest Products Journal*. 54(6):47-56.
- Rocha, M.P., Tomaselli, I. 2001. Efeito do modelo de corte nas dimensões de madeira serrada de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus dunnii*. *Floresta e Ambiente*. 8(1)94-103.
- Rodríguez, C.R. 1978. Coeficientes de refuerzo y aserrío en la práctica mexicana de producción de madera aserrada de pino. *México y sus bosques*. 17(1):8-23.
- Rodríguez, M.G., Balestrini A.S., Balestrini, A.S., Meleán, R.R., Rodríguez, B. 2002. Análisis estratégico de proceso productivo en el sector industrial. *Revista de Ciencias Sociales*. 8(1):135-156.
- Rojas, F. 1995. Integración bosque industria: Una necesidad regional. *Madera y Bosques* 1(1): 5-7.

- Santillán, P.J. 1986. Elementos de dasonomía. Universidad Autónoma Chapingo. División de Ciencias Forestales. Chapingo, México. 238-261 pp.
- SAS INSTITUTE. 2002. SAS User's Guide: Statistics. Ver. 9.1. SAS Institute Inc. Cary, N.C. USA. 1028 p.
- Scanavaca, L., Garcia, J.N. 2003. Rendimento em madeira serrada de *Eucalyptus urophylla*. Scientia Forestalis. 63:32-43.
- Seixas, F. 1985. Estudo comparativo entre dois sistemas operacionais de exploracao utilizando toras com diferentes comprimentos. Dissertacao da Maestria. Universidade de Campinas. Brasil. 155 p.
- Selmany, Y. 1993. Analyse Des Flux Physique De Bois À L'interieur De La Filière-Bois. Tesis Doctorado. ENGREF, Nancy. 200 p.
- SEMARNAT, 2008. Aprovechamiento forestal maderable. Disponible en línea (http://www.semarnat.gob.mx/ESTADOS/DURANGO/TEMAS/Paginas/aprov_forestal.aspx) consultado el 20 de mayo de 2008.
- Smartwood. 2004. Resumen Público de Certificación del Ejido San Pablo. Certificado SW-FM/COC-218. 38 p.
- Smartwood. 2005. Resumen Público de Certificación del Ejido El Brillante. Certificado SW-FM/COC1256. 37 p.
- Smartwood. 2006. Resumen Público de Certificación del Ejido La Victoria. Certificado SW-FM/COC154. 25 p.

- Smartwood. 2007. Resumen Público de Certificación del Ejido La Campana. Certificado SW-FM/COC-1158. 14 p.
- Smith, W.G., Harrell, C. 1961. Linear programming in log production. *Forests Products Journal*. 11(1): 8-11.
- Solgi, A., Najafi, A. 2007. Investigating of residual tree damage during ground-based skidding. *Pakistan Journal of Biological Science*. 10(10):1755-1758.
- Spichiger, O.A. 2004. Aprovechamiento en el aserrado de sequoia (*Sequoia sempervirens* (D.Don. Endl.) y clasificación de la madera obtenida. Memoria para optar al Título de Ingeniero de la Madera. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad de Chile. 43 p.
- Steele, P.H. 1984. Factors determining lumber recovery in sawmilling. Gen. Tech. Rep. FPL-39. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory. 8 p.
- Steele, P.H., Wade, M.W., Bullard, S.H., Araman, P.A. 1992. Relative kerf and sawing variation values for some hardwood sawing machines. *Forest Products Journal*. 42(2):33-39.
- Steele, S., Wagner, F. 1990. As model to estimate regional softwood sawmill conversion efficiency. *Forest Products Journal*. 4 (10): 29-34 p.
- Stöhr, G.W.D. 1981. Técnicas de estudio de trabajo forestal. *In*: Becker, G. Curso de Actualización Sobre Sistemas de Explotación y Transporte Forestal. Curitiba, FUPEF. 45-58 pp.

- Subsecretaría Forestal y de la Fauna (SFF). 1978. Disposiciones sobre coeficientes de aserrío y usos de refuerzos. México. SFF. Dirección General de Control y Vigilancia Forestal. Circular 2/78. 3 p.
- Tarnowski, B.C., Schneider, P.R., Machado, C.C. 1999. Produtividade e custos do processador trabalhando em Povoamentos de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden Ciência Florestal. 9(2):103-115.
- Todoroki, C.L. 1990. Autosaw system for sawing simulator. New Zealand Journal of Forestry Science 18 (1): 116-123.
- Toledo, M., Fredericksen, T., Licona, J.C., Mostacedo, B. 2001. Impactos del aprovechamiento forestal en la flora de un bosque semideciduo pluviestacional de Bolivia. Proyecto de Manejo Forestal Sostenible. BOLFOR. Documento Técnico 106/2001. USAID/Bolivia. 23 p.
- Tolosana, E. 1999. El aprovechamiento forestal mecanizado en las cortas de mejora de *Pinus sylvestris* L. Modelos de tiempos, rendimientos y costes y estudio de sus efectos ambientales. Tesis Doctoral. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes. Universidad Politécnica de Madrid. 222 p.
- Tolosana, E., Ambrosio, T., Vignote, S. 2002. Rendimientos, costes y efectos ambientales de las claras mecanizadas sobre repoblaciones de *Pinus sylvestris* L. en España. Invest. Agr. Sist. Recur. For. 11(1):39-65.

- Torres-Rojo, J.M. 2004. Estudio de tendencias y perspectivas del sector forestal en América Latina al año 2020. Informe Nacional México. FAO. 145 p.
- Troncoso, L. F. 2001. Aserrío en trozas de roble (*Nothofagus obliqua* (Mirb.) Oerst.), provenientes del primer raleo de un renoval de la provincia de BioBío: Rendimientos y defectos. Tesis Profesional de Licenciatura. Universidad de Concepción. Departamento Forestal. Chile. 44 p.
- Tuset, R., Duran, F. 1979. Manual de maderas comerciales, equipos y procesos de utilización. Editorial Hemisferio Sur. S.R.I. Montevideo. 390 p.
- UCODEFO 6. 1997. Memoria general de predios del programa de manejo forestal 1997-2007. El Salto, Durango, México. 207 p.
- Valério, Á.F., Watzlawick, L.F., Balbinot, R., Wincker, M.V., Filho, A.F. 2009. Modelagem para a estimativa do rendimento no desdobro de toras de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze. Floresta. 39(3):619-628.
- Valério, Á.F., Watzlawick, L.F., Dos Santos, R.T., Brandelero, C., Koehler, H. 2007. Quantificação de resíduos e rendimento no desdobro de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) O. Kuntze. Floresta. 37(3):387-397.
- Vera, G.F. 1982. Transporte de productos forestales. Universidad Autónoma Chapingo. Departamento de Bosques. Boletín técnico 8. 166 p.
- Veríssimo, A., Barreto, P., Mattos, M., Tarifa, R., Uhl, C. 1992. Logging impacts and prospects for sustainable forest management in an old Amazonian

Frontier: the case of Paragominas. *Forest Ecology and Management* 55:169-199.

Vilches, P.I. 2005. Evaluación de defectos y determinación del aprovechamiento a nivel de remanufactura en *Pinus radiata* D. Don. Trabajo de Titulación de Ingeniero en Maderas. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Austral de Chile. 65 p.

Villagómez, L.M., Gómez, A.R. 1983. Diagnostico de las Operaciones de Abastecimiento de la Unidad de Administración Forestal. No. 10 del estado de Michoacán. Tesis profesional. Universidad Autónoma Chapingo. 89 p.

Villagómez, L.M., García, A.D. 1986. El estudio de trabajo y su aplicación en las operaciones de abastecimiento forestal. *Ciencia Forestal en México*. 59(11):162-180.

Villagómez, L.M.A. 1983. Abastecimiento y aprovechamiento de productos forestales. Memoria del IV Seminario Nacional de la Industria Maderera. Publicación Especial 63. 67-90 pp.

Wadousky, L. H. 1987. O planejamento operacional na exploração de florestas. In: Simposio Sobre Exploração, Transporte, Ergonomia e Segurança em Reflorestamentos. FUPEF. 28-39 pp.

Wang, J., Long, Ch., Mcneel, J., Baumgras, J. 2004. Productivity and cost of manual felling and cable skidding in central Appalachian hardwood forests. *Forest Product Journal* 54(12):45-51.

- Wang, S.Y., Lin, Ch.J., Chiu, Ch.M. 2003. Effects of thinning and pruning on knots and lumber recovery of *Taiwania* (*Taiwania cryptomerioides*) planted in the Lu-Kuei area. *J Wood Sci.* 49:444–449
- Yilmaz, M., Akay, A. 2008. Stand damage of a selection cutting system in a uneven aged mixed forest of Cimendagi in Kahramanmaras-Turkey. *International Journal of Natural Engineering Sciences.* 2(1):77-82.
- Young, T.M., Bond, B.H., Wiedenbec, J. 2007. Implementation of a real-time statistical process control system in hardwood sawmills. *Forest Products Journal.* 57(9): 54-62.
- Zamudio, S.E. 1986, Manual de la industria maderera, Dirección de Difusión Cultural de la UACH, México. 389 p.
- Zavala, Z.D. 1981. Analisis of the sawmilling practices in the State of Durango, Mexico. Master Theses. British Columbia University. Vancouver, Canada. 91 p.
- Zavala, Z.D. 1991. Manual para el establecimiento de un sistema de control de la variación de refuerzo en madera aserrada. Serie de apoyo académico 44. Universidad Autónoma Chapingo. 49 p.
- Zavala, Z.D. 1978. Utilización de especies tropicales en la producción de durmientes para el Metro. *Ciencia Forestal.* 3(15):3-10.

Zavala, Z.D. 1994. Control de la calidad en la industria de aserrío y su recuperación económica. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales.

Bol. Tec. No. 115. 48 p.

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):29-39.

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.