



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

DIVISIÓN DE CIENCIAS FORESTALES

**EVALUACIÓN DE LA PRODUCTIVIDAD DE LA
COSECHADORA FORESTAL EN PLANTACIONES
COMERCIALES DE EUCALIPTO.**

TESIS

**Que como requisito parcial
Para obtener el Grado de:**

**MAESTRIA EN CIENCIAS
EN CIENCIAS FORESTALES**



DIRECCION GENERAL ACADEMICA
DEPTO. DE SERVICIOS ESCOLARES
OFICINA DE EXAMENES PROFESIONALES

**Presenta:
Ing. Imelda Vargas Abasolo**

**Chapingo, Texcoco, Estado de México
Septiembre de 2010**

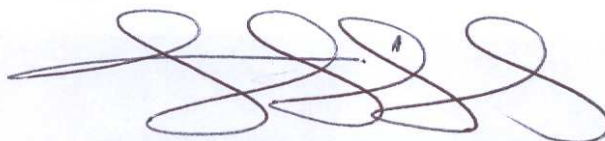


"Evaluación de la productividad de la cosechadora forestal en plantaciones comerciales de eucalipto"

Tesis realizada por Imelda Vargas Abasolo bajo la dirección del Comité Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN CIENCIAS FORESTALES

DIRECTOR:



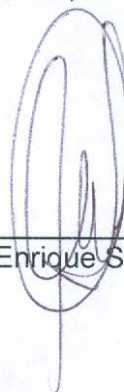
Ph. D. Leonardo Sánchez Rojas

ASESOR:



M.S. Rigoberto Vargas Carballo

ASESOR:



Ph. D. Enrique Serrano Gálvez

Chapingo, Texcoco, Estado de México

Septiembre de 2010

AGRADECIMIENTOS

A la **Universidad Autónoma Chapingo** por haber abierto nuevamente sus puertas para que yo continuara con mi formación profesional.

Al **Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología**, por el apoyo brindado en la realización de este postgrado.

A la **Coordinación General de Postgrado** y a la **Coordinación de Postgrado de la División de Ciencias Forestales** por haberme permitido integrarme en su programa.

Al **Dr. Leonardo Sánchez Rojas** por sus asesorías y apoyo en la elaboración de esta tesis.

A los miembros del comité asesor: **Dr. Enrique Serrano Gálvez** y **M. S. Rigoberto Vargas Carballo**, por su orientación en las correcciones y estructuración de la tesis.

Al **M.C. Miguel Ángel Pérez Torres**, por sus asesorías y consejos para la elaboración de este trabajo.

Al **M.C. Ángel Leyva Ovalle**, por su apoyo en la elaboración de esta investigación.

Al **Ing. Diego Ernesto Lira González** que sus sugerencias e impulso fueron muy importantes para la conclusión de este trabajo.

A la **Dr. Amparo Borja de la Rosa**, por el apoyo brindado durante los estudios de maestría.

Al **Ing. Saúl Benjamín Monreal Rangel** por el apoyo brindado durante la fase de campo.

Mis más sinceros agradecimientos al **Lic. Rafael Riaño Mazo (Provedora Silvícola Internacional)** por haber permitido que tomara la información que requerí para el desarrollo de la presente tesis y también agradezco a **PROPLANSE** por el apoyo otorgado en la fase de campo.

DEDICATORIA

A mi esposo Diego Ernesto Lira González.

Por el esfuerzo que ha hecho para que yo siga adelante, por tu amor, comprensión y porque siempre has estado cuando te he necesitado.

A mis padres Reyna Abasolo Guerrero e Isidro Vargas Avelar

Con todo mi amor, por su ejemplo, esmero y dedicación que han puesto en mis hermanos y en mí a lo largo de nuestras vidas. Siguen siendo la fuerza motora de mi vida.

A mis hermanos, Luz Aida Vargas Abasolo, Isidro Vargas Abasolo, Reyna Vargas Abasolo y Leobardo Vargas Abasolo:

Por ser mis queridos hermanos por el apoyo que me han dado, por su cariño y atención.

A Tere Juárez Arredondo, Margarita González Juárez y Roberto Manuel Robles González.

Por el apoyo que me dieron durante la maestría y por el tiempo que llevamos de conocernos, porque son parte importante de mi vida.

Biografía de Imelda Vargas Abasolo.

Imelda Vargas nació el 21 de agosto en Agua Linda, Jalpan Puebla, cursó la primaria y secundaria en su comunidad natal, en el año 2000 ingresó a la preparatoria de la Universidad Autónoma Chapingo, la cual concluyó en el año 2003. Para los estudios de licenciatura se inclinó hacia el área forestal, ingresando en 2003 en esta misma Universidad a la carrera de Ingeniero Forestal Industrial, durante ese periodo se involucró en actividades extracurriculares en el Centro de Desarrollo Agroempresarial de la misma Universidad Autónoma Chapingo, participando en cursos, talleres y capacitaciones.

También participó en seminarios y cursos fuera de la Universidad, en Nacional Financiera, en la American Hardwood Export Council (AHEC), en la Red Mexicana de Organizaciones Campesinas Forestales A.C. (Red MOCAF) y en Sistemas de Información Geográfica, S.A. de C.V. (SIGSA).

Su estancia preprofesional la realizó en Maderas Conglomeradas S.A. (MACOSA), diagnosticando con el Ing. Diego Ernesto Lira González las líneas de producción de tableros, para posteriormente concluir sus estudios en junio de 2007.

De julio-agosto de 2007 colaboró en la evaluación del Programa Nacional de Prevención y Combate de Incendios Forestales 2006, en los estados de Chihuahua y Durango. Obtuvo el título de licenciatura en abril de 2008. En enero de 2008 se integró a la Maestría en Ciencias Forestales de La Universidad Autónoma Chapingo, concluyó sus créditos en diciembre de 2009. Elaboró como tema de investigación una evaluación de la productividad de la cosechadora forestal en plantaciones comerciales de eucalipto.

De enero a febrero trabajó como Supervisor de cosecha de madera de eucalipto en PROPLANSE S.A., en el estado de Tabasco. De marzo a la fecha colabora con el Ing. Saúl Benjamín Monreal Rangel en actividades de consultoría en plantaciones forestales comerciales. También participa en la Evaluación Pro-árbol 2009 de Reforestación, Sanidad y Suelos de la Comisión Nacional Forestal.

ÍNDICE GENERAL

	Página
ÍNDICE DE FIGURAS	iii
ÍNDICE DE CUADROS	v
ÍNDICE DE ANEXOS	vi
RESUMEN	vii
SUMMARY	viii
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. PLANTEAMIENTO	3
3. JUSTIFICACIÓN	4
4. OBJETIVOS.....	5
4.1. Objetivo General.....	5
4.2. Objetivos Particulares.....	5
5. HIPÓTESIS.....	6
6. REVISIÓN DE LITERATURA.....	7
6.1. Técnicas de procesamiento de madera en pie a madera en rollo.....	7
6.2. Técnicas de cosecha forestal mecanizadas.....	8
6.3. Máquina cosechadora forestal tipo corte a medida	8
6.3.1. Tipos de Cosechadores.....	9
6.3.1.1. Llantados.....	9
6.3.1.2. Orugados.....	10
6.3.1.3. Patas Articuladas.....	11
6.3.2. Cabezales de cosecha forestal.....	12
6.3.2.1. Cabezales para volumen comercial	12
6.3.2.2. Cabezales para bioenergía	17
6.4. Rendimientos y costos de producción de la Cosechadora Forestal del CTL.....	17
6.4.1. Rendimientos de producción de la Cosechadora.....	18
6.4.2. Costos de producción.....	20
7. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	24
7.1. Ubicación	24

7.2.	Clima	25
7.3.	Flora	25
7.4.	Fauna	25
8.	METODOLOGÍA	26
8.1.	Materiales	26
8.2.	Descripción de la cosechadora forestal	26
8.2.1.	Especificaciones del cabezal.....	27
8.2.2.	Especificaciones de la excavadora	29
8.3.	Tamaño de muestra.....	32
8.4.	Toma de datos en campo	34
8.4.1.	Tiempos por turno.....	34
8.4.2.	Tiempos por ciclo de cosecha	35
8.5.	Procesamiento de la información	38
8.5.1.	Tiempos por turno.....	38
8.5.2.	Tiempos por ciclo de cosecha	39
8.5.3.	Volumen de trocería.....	39
8.5.4.	Análisis de productividad	41
8.5.5.	Análisis de costos	42
9.	RESULTADOS	43
9.1.	Tiempos y movimientos de producción.....	43
9.1.1.	Tiempos por turno.....	43
9.2.	Tiempos del ciclo de cosecha	48
9.3.	Tiempos improductivos	51
9.4.	Análisis de productividad.....	55
9.5.	Análisis de costos.....	62
10.	CONCLUSIONES	66
11.	RECOMENDACIONES.....	68
12.	BIBLIOGRAFÍA CITADA.....	69
13.	ANEXOS	74

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Descripción	Página
6.1.	Evolución de las técnicas de cosecha forestal (Thor, 2008).....	7
6.2.	Partes principales que conforman la cosechadora forestal de un abrazo (one-grip harvester) con el sistema corte a medida (Cut-To-Length).....	9
6.3.	Excavadora forestal Caterpillar 320D FM (Caterpillar, 2009).	11
6.4.	Cosechadora forestal TIGERCAT LH870C (Tigercat, 2008).....	11
6.5.	Cosechadora de patas articuladas, (Tolosana <i>et al.</i> , 2004).....	12
6.6.	Partes principales del cabezal cosechador (SP Marskiner, 2008a).	13
7.1.	Municipio de Huimanguillo, Tabasco.	24
7.2.	Plantaciones de eucalipto de Proplanse S.A. de C.V. en Huimanguillo, Tabasco.	25
8.1.	Cosechadora forestal, cabezal Kesla adaptado a la excavadora Caterpillar, Huimanguillo, Tabasco.	26
8.2.	Cabezal cosechador Kesla, señalando las partes principales que lo integran (Kesla, 2008).....	27
8.4.	Cosecha de madera de eucalipto	36
8.5.	Árboles procesados	37
8.6.	Pantalla de la computadora del cabezal	37
8.7.	Perspectiva de la cosecha de eucalipto	38
9.1.	Porcentaje que comprende cada actividad del turno de producción.....	43
9.2.	Abastecimiento de combustible.....	44
9.3.	Cabezal VALMET 378 para cosecha de plantaciones de eucalipto (VALMET, 2007)	46
9.4.	a) Afilado manual de la sierra de la cosechadora y b) Lima y guía de afilado.....	47
9.5.	Porcentaje promedio de tiempo empleado por la cosechadora por cada actividad del ciclo de cosecha	50
9.6.	Corta mecanizada mediante cosechadora forestal (Pulkki, s/f).	51
9.7.	Porcentaje de repeticiones de cada actividad improductiva de las 47 horas muestreadas del ciclo de cosecha.	54
9.8.	Porcentaje del tiempo total de cada actividad improductiva de las 47 horas muestreadas.....	54
9.9.	Modelo aceptado de productividad de la forma $y=a+bx+cx^2$, que incluye los TI.	57
9.10.	Modelo aceptado de productividad de la forma $y=a+bx+cx^2$, que no considera los TI, nótese que presenta una r^2 más elevada.	58

9.11. Gráfica de comportamiento del costo en relación a la productividad, para el caso de cosecha considerando tiempos improductivos (TI).....	61
9.12. Gráfico de comportamiento del costo en relación a la productividad, para el caso de cosecha sin incluir los tiempos improductivos (TI).....	61

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro	Descripción	Página
6.1.	Modelos y marcas de tractores llanteados que se pueden adaptar a un cabezal cosechador .	10
6.2.	Modelos de cabezales cosechadores	13
6.3.	Ciclo de tiempo con sus elementos y variables asociadas	20
6.4.	Relaciones de productividad de la cosechadora	21
6.5.	Factores de costeo para tres clases de cosechadoras	21
8.1.	Especificaciones técnicas del cabezal cosechador	28
8.2.	Especificaciones del motor.....	30
8.3.	Especificaciones del peso	30
8.4.	Mecanismos de rotación	30
8.5.	Especificaciones de la capacidad de llenado.....	31
8.6.	Especificaciones de mando	31
8.7.	Especificaciones del sistema hidráulico	32
8.8.	Clasificación de actividades improductivas con su clave	40
9.1.	Tiempo de las actividades productivas e improductivas por jornada laboral	44
9.2.	Promedio de tiempo de cada actividad que compone el ciclo de cosecha	49
9.3.	Comparación del procesamiento de eucalipto de la cosechadora	49
9.4.	Probabilidad de que ocurran las actividades improductivas en función de cada 100 árboles derribados	52
9.5.	Actividades improductivas del ciclo de cosecha con el tiempo promedio de los días muestreados en segundos y la desviación estándar.	53
9.6.	Análisis de los modelos de regresión considerando los tiempos improductivos.....	55
9.7.	Análisis de los modelos de regresión sin incluir los tiempos improductivos	56
9.8.	Factores de costeo considerados para el análisis de la cosechadora	62
9.9.	Tiempo en segundos para el proceso de cosecha.....	65
9.10.	Productividad por modelo de motosierra y del descortezado manual y requerimientos de personal para igualar la productividad de la cosechadora forestal.....	65

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo	Descripción	Página
1.	Alternativas de cosecha y sus características.	74
2.	Formato para el registro de tiempos por jornada laboral de la cosechadora forestal.....	78
3.	Formato para el registro de diámetros de trocería por árbol.	79
4.	Formato para el registro de los tiempos de procesamiento de cada árbol.....	80
5.	Regresión no lineal 1.....	81
6.	Regresión no lineal 2.....	85
7.	Regresión no lineal 3.....	89
8.	Regresión no lineal 4.....	93

EVALUACIÓN DE LA PRODUCTIVIDAD DE LA COSECHADORA FORESTAL EN PLANTACIONES COMERCIALES DE EUCALIPTO.

RESUMEN

Se realizó la evaluación de la cosechadora forestal en plantaciones forestales de eucalipto, en Huimanguillo, Tabasco. En campo se hizo un estudio de tiempos y movimientos de jornadas completas durante nueve días, se registraron las actividades que implicaron a la cosechadora forestal y a su operador. Se identificaron actividades improproductivas causadas por fallas en la cosechadora y por falta de capacitación del operador. Considerando las ocho horas efectivas laborales, la cosechadora trabaja al 75.9% de su capacidad, el 21 % del tiempo total por turno corresponde a mantenimiento correctivo, principalmente por rompimiento de mangueras del aceite hidráulico. Se determinó que no se cuenta con un programa de mantenimiento preventivo. En la cosecha se identificaron actividades improproductivas, el afilado de la sierra es el que más repercute. Para el análisis de productividad se aceptó el modelo de la forma $y = a + bx + cx^2$, la información se evaluó con y sin actividades improproductivas (TI). Para el primer caso la utilidad máxima se obtiene cuando hay un volumen promedio del arbolado de 0.5534 m³, generando una productividad por hora de 25.4147 m³/hora; para el segundo caso la utilidad máxima ocurre con un volumen promedio del arbolado de 0.56627 m³ y una productividad por hora de 27.7661 m³. Se genera una utilidad menor cuando se incluyen las actividades improproductivas comparadas con la forma ideal a la que debe trabajar la cosechadora, sin actividades improproductivas, la utilidad se eleva 20 %.

Palabras clave:

Productividad, costos, tiempos y movimientos.

PRODUCTIVITY EVALUATION OF A FOREST HARVESTER IN COMMERCIAL EUCALYPTUS PLANTATIONS.

SUMMARY

The evaluation of a forest harvester was conducted in eucalyptus forest plantations in Huimanguillo, Tabasco. In the field, a time and motion study was carried out during nine, eight-hour work days. Activities that involved the forest harvester and its operator were recorded. Unproductive activities caused by harvester failures and lack of operator training were identified. Based on the eight-hour work days, the harvester works at 79% capacity; 21% of the total time per shift is taken up by corrective maintenance, mainly due to the breaking of hydraulic hoses. It was concluded that no preventative maintenance program exists. At harvest, unproductive activities were identified, with sharpening the saw having the most impact. For the productivity analysis, the model $y = a + bx + cx^2$ was accepted. The information was evaluated with and without unproductive activities (IT). For the first case the maximum profit is obtained when there is an average wood volume of 0.5534 m^3 , generating a productivity of $25.4147 \text{ m}^3/\text{hour}$. For the second case the maximum profit occurs with an average wood volume of 0.56627 m^3 and a productivity of $27.7661 \text{ m}^3/\text{hour}$. A lower profit is generated when including unproductive activities compared with the ideal way in which a harvester should work. Without unproductive activities, profit rises 20%.

Key words:

Logging, costs, time and movements.

1. INTRODUCCIÓN

A nivel mundial existen poco menos de 4,000 millones de hectáreas de bosque, representando el 30% de la superficie terrestre total, y más de la mitad de esta superficie se encuentra distribuida en cinco países (la Federación Rusa, Brasil, Canadá, Estados Unidos de América y China) (FAO, 2007). Sin embargo, México sólo cuenta con 64 millones de hectáreas de bosques y selvas, que representan el 32% del territorio nacional (SEMARNAT y FAO, 2004); lo que representaría aproximadamente el 1.5% de la superficie boscosa mundial.

Por otra parte, la producción mundial de madera en 2005 ascendió a 3,503 millones de metros cúbicos de madera en rollo (FAO, 2007). En el mismo año, en México sólo se produjeron 6.4 millones de m³r, lo cual no representa ni el 1% de la producción mundial (SEMARNAT, 2009). En el periodo 2000-2008 la producción maderable de México varió de 9.4 a 6.7 mil m³r, lo que representa una contracción de 27.9%, además en el periodo de 1980-2008 la producción ha oscilado entre 6 y 10 millones de m³r, mientras que las autorizaciones de aprovechamiento se han dado por hasta 20 de millones m³r (Zuñiga, 2009), lo cual no se ha podido aprovechar en su totalidad, dicho en otras palabras, la producción de madera de los bosques mexicanos es mayor a la capacidad de aprovechamiento.

Los bosques mexicanos tienen una gran capacidad de producción, aunque no se tenga la capacidad de aprovecharlos totalmente, lo cual se debe entre otras cosas, principalmente a la sobrerregulación, escasa inversión y desarrollo tecnológico, legislación fiscal, subsidios y estímulos agropecuarios más atractivos que los forestales, falta de acceso a financiamientos competitivos, deterioro de la infraestructura caminera y de producción y al enorme mercado ilegal (Zuñiga, 2009).

La escasa inversión y desarrollo tecnológico se debe a que en la actualidad las técnicas de producción forestal son atrasadas y la maquinaria es obsoleta, los productores y contratistas no ganan lo suficiente para renovar su tecnología debido a los altos costos y baja productividad; cuando existen condiciones para la modernización se enfrentan a la carencia de mano de obra calificada (CONAFOR, 2001). En el caso del aprovechamiento forestal México cuenta con un bajo nivel tecnológico y en ocasiones obsoleto, tanto en la extracción como en el transporte de la madera (Sánchez *et al*, 2005; Sánchez y García,

2008). Lo anterior conlleva a la sustitución de materias primas nacionales por importadas, trayendo consigo desempleo, migración y salida de divisas (CONAFOR, 2001).

Por otra parte, las oportunidades que presenta el sector forestal son: mano de obra con bajo costo y facilidad de capacitación, disponibilidad de materias primas en bosques templados y precios razonables de insumos (CONAFOR, 2001); sin embargo, los apoyos para el desarrollo o introducción de tecnologías son escasos y están limitados a bosques naturales (DOF, 2008), además son insuficientes, ya que tienen montos muy por debajo de los costos de los equipos que se requieren, en la actualidad los montos de apoyo oscilan en los 65,000 USD, mientras que los precios de los equipos de procesamiento y extracción forestal oscilan entre 250,000 y 650,000 USD por equipo.

Las perspectivas para el desarrollo del sector forestal en América Latina y el Caribe en todas las escalas se concentrará principalmente en inversiones de capital en maquinarias y en menor escala en la capacidad humana (FAO, 2007). En México en Junio de 2008 se introdujo el primer cabezal de procesamiento forestal en plantaciones de eucalipto en el sureste mexicano (Monreal, 2008), en la actualidad existen en México cuatro cabezales de cosecha: 1 Kesla, 2 Risley y 1 SP; sin embargo, este avance en el desarrollo de la tecnología forestal está limitado, por la falta de mano de obra calificada y la productividad en las condiciones mexicanas.

2. PLANTEAMIENTO

El panorama actual de la capacidad y tecnología del aprovechamiento forestal maderable es desalentador, pues no se puede aprovechar la capacidad productiva de los bosques mexicanos; lo anterior se debe a la obsolescencia de la tecnología y a la falta de adopción de nuevas tecnologías debido principalmente a los altos costos de inversión y al desconocimiento de las mismas, tanto de su productividad como operación y rentabilidad.

3. JUSTIFICACIÓN

En el presente estudio se hace una evaluación de la operación de una tecnología para el procesamiento de madera en la cosecha forestal de eucaliptos en el sureste mexicano, con el fin de evaluar la productividad y los niveles de costos que implica el uso de estas tecnologías, y en función de esto, determinar si es rentable o no la adopción de las mismas.

4. OBJETIVOS

4.1. Objetivo General

Determinar la rentabilidad y productividad de una cosechadora forestal para el procesamiento de madera en pie de eucalipto.

4.2. Objetivos Particulares

- Determinar los tiempos unitarios del procesamiento de madera en pie de eucalipto con la cosechadora forestal.
- Determinar la productividad de la cosechadora forestal.
- Determinar el costo de elaboración por m³r de la cosechadora.
- Determinar el potencial de producción de la cosechadora.
- Analizar la rentabilidad del procesamiento de madera de eucalipto utilizando la cosechadora forestal y la forma tradicional de procesamiento de madera de la cosecha forestal manual.

5. HIPÓTESIS

Se establecen las siguientes hipótesis de acuerdo a los objetivos planteados:

- El procesamiento de arbolado en pie de plantaciones forestales de eucalipto con una cosechadora del tipo corte a medida (CTL) con cabezal procesador es más rentable y productivo que el sistema tradicional de procesamiento de madera.
- Es rentable adoptar la tecnología de procesamiento de madera que utiliza la cosechadora forestal.

Y como hipótesis alternativas:

- El procesamiento de arbolado en pie de plantaciones forestales de eucalipto con una cosechadora del tipo corte a medida (CTL) con cabezal procesador es menor o igual de rentable y productivo que el sistema tradicional de procesamiento de madera.
- No es rentable adoptar la tecnología de procesamiento de madera que utiliza la cosechadora forestal.

6. REVISIÓN DE LITERATURA

6.1. Técnicas de procesamiento de madera en pie a madera en rollo

La mecanización tiende básicamente a facilitar y acelerar las labores inherentes al campo donde se apeguen, conllevando como objetivo final a mejorar la productividad hombre-máquina por día, y bajar los costos de esta operación (Heikkilä, s/f).

En la Figura 6.1, se muestra la evolución de las técnicas de cosecha forestal a partir de los inicios del siglo pasado, donde se empleaban herramientas simples y animales hasta la introducción de maquinaria de última generación. Asimismo, se muestra el aumento de la productividad por hora por hombre (Thor, 2008).

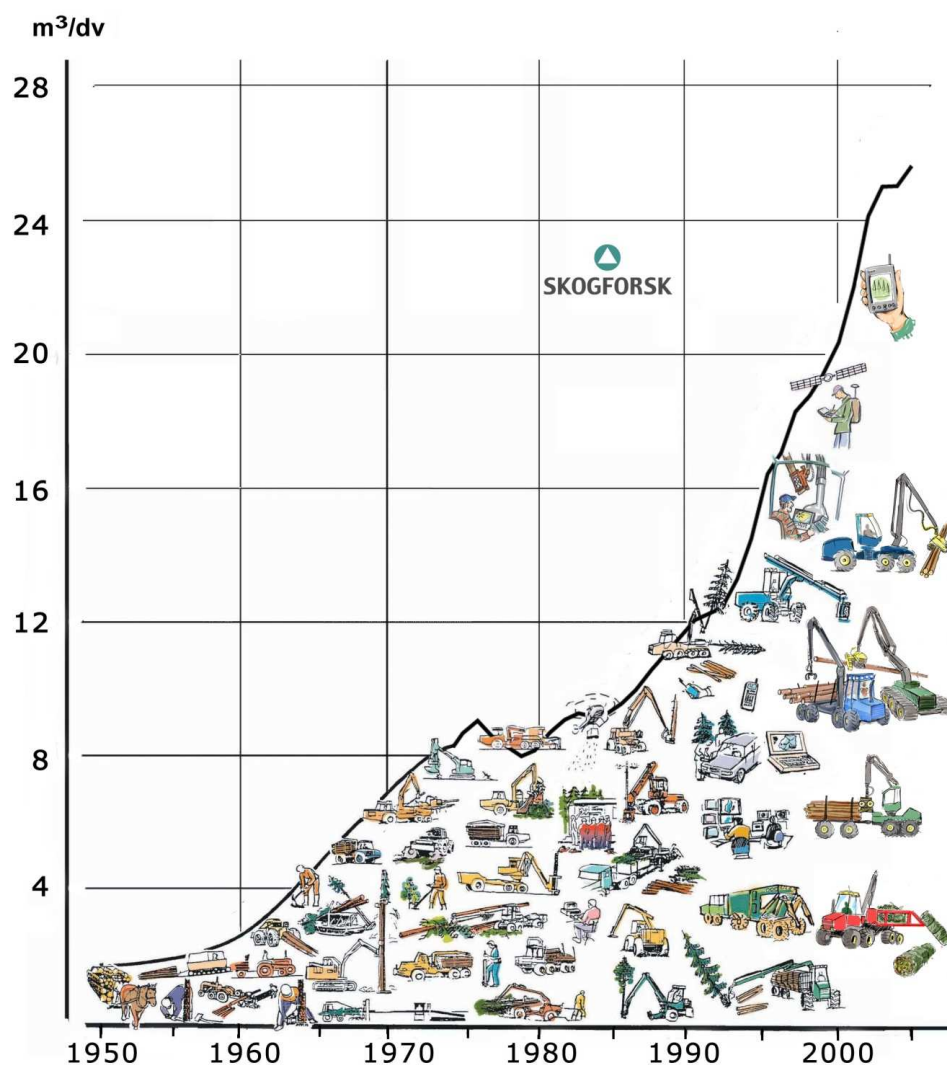


Figura 6.1. Evolución de las técnicas de cosecha forestal (Thor, 2008).

En general existen diferentes alternativas de cosecha forestal o aprovechamiento forestal, algunas de estas atienden diferentes demandas específicas o condiciones específicas según los objetivos que se persigan, en el Anexo 1, se presentan algunas alternativas de cosecha y sus características (Parker y Bowers, 2006).

6.2. Técnicas de cosecha forestal mecanizadas

Las técnicas de cosecha mecanizadas requieren utilizar altas inversiones de capital y un uso intensivo del equipo, hasta las 24 horas del día para ser económicamente rentables, estas sólo son empleadas por sistemas industriales (McCormack *et al.*, 2000).

6.3. Máquina cosechadora forestal tipo corte a medida

Este tipo de maquinaria de cosecha forestal tipo corte a medida (CTL; por sus siglas en ingles) se caracteriza por el tipo de procesamiento, el cual permite derribar, desramar, descortezar (si se requiere), trocear, apilar, e inclusive la selección de productos por categorías diamétricas.

Existe una clasificación de los tipos de máquinas cosechadoras forestales que se refiere al número de elementos de trabajo o procesadores (Tolosana *et al.*, 2004):

- Cosechadora de cabezal único de apeo y procesado (*one-grip harvester*)

Es un equipo que cuenta con un sólo procesador y tiene la capacidad de llegar hasta donde se encuentra el árbol y procesarlo.

- Cosechadora con cabezal de apeo en punta de grúa y plataforma de procesado (*two-grip harvester*)

Es un equipo que cuenta con dos procesadores, uno para el derribo y otro para el procesamiento, tiene el inconveniente de tener poca accesibilidad a los árboles en el bosque, ya que está montado en un camión de carga y presenta más complejidad de operación.

El cosechador forestal de cabezal único de apeo y procesado es el más empleado, está compuesto por tres partes esenciales, que son: el cabezal procesador, el equipo motriz o máquina base y la grúa para movimiento y soporte del cabezal (Figura 6.2).

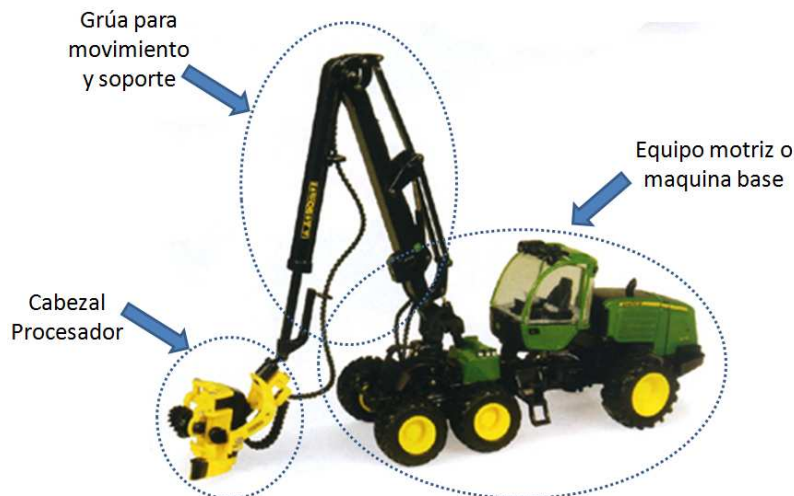


Figura 6.2. Partes principales que conforman la cosechadora forestal de un abrazo con el sistema corte a medida.

6.3.1. Tipos de Cosechadores

En general existen dos tipos de cosechadoras forestales comerciales del tipo CTL, los cuales dependen del tipo de equipo que genere el desplazamiento, los cuales son: llantados (Wheeled) y orugados (Tracked). En ambos casos se pueden emplear grúas tanto articuladas como telescópicas.

Además, existe un prototipo de la Firma John Deere®, que tiene un sistema motriz de patas articuladas, semejantes a un insecto.

Asimismo existe una categoría mixta de cosechadores que tienen la capacidad de transportar madera como un Forwarder, este tipo de equipos se les llama Dual o Harwarder.

6.3.1.1. Llantados

En general este tipo de equipos se encuentran equipados con llantas de gran tamaño que le permiten tener mayor flotabilidad sobre el terreno y ejercer presión mínima sobre el mismo, incluso menor presión que la que ejerce una persona (Ponsse, 2008).

En general los equipos son de tracción hidráulica individual en cada llanta y pueden contar con 4, 6, u 8 llantas (4X4, 6X6 y 8X8), dependiendo de las necesidades de

flotabilidad y de la estabilidad del suelo en el que van a trabajar o las condiciones climáticas como lluvia o nieve.

Además se les puede colocar cadenas para aumentar la tracción o bantrax para aumentar la flotabilidad, reduciendo velocidad de traslado, según vayan deteriorándose las condiciones de trabajo.

Los modelos de los equipos más comerciales se concentran en el Cuadro 6.1.

Cuadro 6.1. Modelos y marcas de tractores llanteados que se pueden adaptar a un cabezal cosechador

Tipo de Equipo	Modelos
Tracción 4X4	John Deere 770D
Tracción 6X6	Ponsse Bear, Ponsse Ergo, John Deere 1070D Eco III, John Deere 1270D, John Deere 1470D
Tracción 8X8	Ponsse Ergo, Ponsse Fox, Tigercat H09

6.3.1.2. Orugados

Existen tres tipos de equipos orugados, sin embargo sólo dos son comunes, ya que el tercero pertenece a la firma Valmet, el cual tiene el mejor desempeño en terrenos inclinados, inclusive se le conoce como “el escalador de montañas”, el Valmet 911.3X3M, el cual es un equipo de 25 toneladas, con cabina giratoria y autonivelable (Valmet, 2007).

Los modelos más comerciales comprenden a dos grupos: a orugadas de cabina giratoria y a los de cabina giratoria autonivelable; en la primera entran modelos de excavadoras comerciales de la industria de la construcción y algunas que han sido modificadas para soportar las condiciones forestales tales como la Caterpillar 320 D FM (Figura 6.3), la cual considera refuerzos en las estructuras y protecciones adicionales a las láminas de cubierta y a las bandas de las orugas (Caterpillar, 2009). En el caso de los equipos autonivelables, su diseño es totalmente para las áreas forestales, y ya consideran todas las adecuaciones necesarias para soportar las condiciones adversas de trabajo como los equipos “Tigercat LH870C Harvester” (Tigercat, 2008) (Figura 6.4).



Figura 6.3. Excavadora forestal Caterpillar 320D FM (Caterpillar, 2009).



Figura 6.4. Cosechadora forestal Tigercat LH870C (Tigercat, 2008)

6.3.1.3. Patas Articuladas

Este tipo de equipo es sólo un prototipo desarrollado por la firma Jonh Deere, el cual aun no se encuentra disponible de manera comercial, el objetivo principal de este desarrollo es generar el menor impacto posible al ambiente en las operaciones de cosecha forestal (Figura 6.5) (Tolosana *et al.*, 2004).



Figura 6.5. Cosechadora de patas articuladas, (Tolosana et al., 2004).

6.3.2. Cabezales de cosecha forestal

En general el cabezal cosechador, que es el corazón de la máquina está dividido en dos categorías, que son: procesadores de materias primas maderables y procesadores de materias bioenergéticas.

Los cabezales taladores, juntadores y procesadores son aditamentos de cosecha de árboles, de un peso aproximado de 1,500 Kg, que pueden ser montados en un amplio rango de máquinas (tractores, cargadores frontales, forwarders, motoarrastradoras), equipadas con brazos hidráulicos y capaces de proveer fluido hidráulico en el orden de los 150 litros por minuto y presiones de alrededor de los 190 Kg/cm²; algunos de estos equipos realizan no solamente la tala, sino pueden realizar dos o más funciones, incluyendo tala, desramado, trozado y aún medición. La más simple es sólo apta para cortar (González, s/f).

6.3.2.1. Cabezales para volumen comercial

Los cabezales de cosecha para volumen comercial maderable, pueden realizar las siguientes funciones: derribar, descortezar, desramar, trocear, seleccionar trocería y apilar.

En la Figura 6.6 se señalan las partes principales que componen un cabezal cosechador son: chasis, cuchillas fijas para derramado superior e inferior, rodillos de alimentación,

cuchillas derramadoras envolventes, sierra de corte y rueda de medición (SP Marskiner, 2008a).

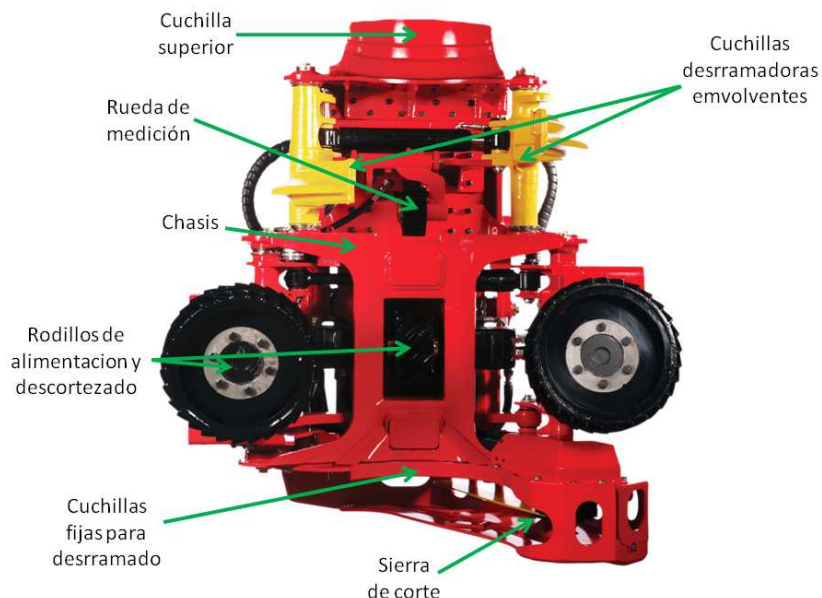


Figura 6.6. Partes principales del cabezal cosechador (SP Marskiner, 2008a).

Existen variaciones de construcción de un cabezal a otro, variando el número de cuchillas desramadoras envolventes y rodillos de alimentación, y el tamaño del cabezal entre otras variantes, que permiten mejor desempeño para diferentes condiciones de arbolado y requerimientos de procesamiento.

En el Cuadro 6.2, se muestran los diferentes modelos de cabezales cosechadores comerciales y sus principales características constructivas.

Cuadro 6.2. Modelos de cabezales cosechadores

Firma	Modelo	Especificaciones
Tigercat	TH575	Máxima apertura rodillos: 725 mm. Cuchillas: 3 móviles, 2 fijas. Poder de alimentación: 38.6 Kn Velocidad de alimentación: 0-6 m/s Corte máximo de la sierra: 700 mm

Ponsse	H53e	Mayor apertura (rodillos de alimentación mm): 500 (19.7 in) Diámetro de corte, una pasada (mm): 520/640 (20.5 in/25.2 in) Sistema de alimentación: 3 rodillos de alimentación. Poder de alimentación: 18 (4,047 lbf). Velocidad de alimentación: 0-5 (0-16.4 ft/s)
	H6	Mayor apertura (rodillos de alimentación mm): 600(23.6 in) Diámetro de corte, una pasada (mm): 640 (25.2 in) Sistema de alimentación: 3 rodillos de alimentación. Poder de alimentación: 25 Velocidad de alimentación: 0-6 (0-20 ft/s)
	H60e	Mayor apertura (rodillos de alimentación mm): 600(23.6 in) Diámetro de corte, una pasada (mm): 640 (25.2 in) Sistema de alimentación: carretones de alimentación con rodillos de acero Poder de alimentación: 24 (5,395 lbf) Velocidad de alimentación: 0-5 (0-16.4 ft/s)
	H60bw	Mayor apertura (rodillos de alimentación mm): 600(23.6 in) Diámetro de corte, una pasada (mm): 640 (25.2 in) Sistema de alimentación: 2 rodillos de alimentación. Poder de alimentación: 24 (5,395 lbf) Velocidad de alimentación: 0-5 (0-16.4 ft/s)
	H73e	Mayor apertura (rodillos de alimentación mm): 600 (27.6 in) Diámetro de corte, una pasada (mm): 640/720 (25.2 in/28.3 in) Sistema de alimentación: 3 rodillos de alimentación. Poder de alimentación: 26/33 (5,845/7,419 lbf). Velocidad de alimentación: 0-5 (0-16.4 ft/s)
	H7	Mayor apertura (rodillos de alimentación mm): 650 (16.5 in) Diámetro de corte, una pasada (mm): 640/720 (25.2 in/28.3 in) Sistema de alimentación: 3 rodillos de alimentación. Poder de alimentación: 30 (6744,2 lbf). Velocidad de alimentación: 0-5 (0-16.4 ft/s)
	H7euca	Mayor apertura (rodillos de alimentación mm): 630 (24.8 in) Diámetro de corte, una pasada (mm): 640 (25.2 in)

		Sistema de alimentación: 3 rodillos de alimentación. Poder de alimentación: 25/30 (5,620/6,744 lbf). Velocidad de alimentación: 0-5.8 (0-19 ft/s)
	H8	Mayor apertura (rodillos de alimentación mm): 740 (29.2 in) Diámetro de corte, una pasada (mm): 640/720 (25.2/28.3 in) Sistema de alimentación: 3 rodillos de alimentación. Poder de alimentación: 36 (8,093 lbf). Velocidad de alimentación: 0-5(0-16.4 ft/s)
Valmet	330.2	Peso: desde 685 kg, desde 750 kg
	330.2	Diámetro de corte: 480 mm
	DUO	Velocidad de alimentación: 0-4,5 m/s Fuerza de alimentación, bruta: 15,5 kN Apertura de cuchillos superiores, máx.: 460 mm Apertura de rodillos, máx. : 530 mm, 680 mm Caudal hidráulico máx. Necesario: 180 l/min Presión hidráulica máx. necesaria: 24 MPa Gripvidd (330.2 DUO): 1.200 mm
	350.1	Peso: desde 750 kg Diámetro de corte: 600 mm Velocidad de alimentación: 0-5 m/s Fuerza de alimentación, bruta: 16.5-25,3kN Apertura de cuchillos superiores, máx.: 600 mm Apertura de rodillos, máx. : 520 mm Caudal hidráulico máx. Necesario: 200-300 l/min Presión hidráulica máx. necesaria: 25 MPa
	360.2	Peso: desde 1.245 kg Diámetro de corte: 650 mm Velocidad de alimentación: 0-5 m/s Fuerza de alimentación, bruta: 25,3kN Apertura de cuchillos superiores, máx.: 640 mm Apertura de rodillos, máx. : 550 mm Caudal hidráulico máx. Necesario: 260 l/min Presión hidráulica máx. necesaria: 25 MPa

	370.2	Peso: desde 1.470 kg Diámetro de corte: 700 mm Velocidad de alimentación: 0-5 m/s Fuerza de alimentación, bruta: 28,2-30,7 kN Apertura de cuchillos superiores, máx.: 640 mm Apertura de rodillos, máx. : 600 mm Caudal hidráulico máx. necesario: 300-310 l/min Presión hidráulica máx. necesaria: 28 MPa
	370E	Peso: desde 1600 kg Diámetro de corte: 700 mm Velocidad de alimentación: 0-5 m/s Fuerza de alimentación, bruta: 21-30,7 kN Apertura de cuchillos superiores, máx.: 640 mm Apertura de rodillos, máx. : 600 mm Caudal hidráulico máx. necesario: 225-310 l/min Presión hidráulica máx. necesaria: 28 MPa
	378	Peso: desde 1.850 kg Diámetro de corte: 650 mm Velocidad de alimentación: 0-6 m/s Fuerza de alimentación, bruta: 26,6 kN Apertura de cuchillos superiores, máx.: 725 mm Apertura de rodillos, máx. : 645 mm Caudal hidráulico máx. necesario: 320 l/min Presión hidráulica máx. necesaria: 30 MPa
SP	SP 591 LX	Presión de trabajo recomendada: 25-30 Mpa Velocidad de alimentación: 0-7 m/s Fuerza de alimentación: 30 KN Diámetro de corte: 600 mm Velocidad de sierra: 40-45 m/s Cuchillas: 2 fijas y 2 móviles. Ancho de abierto: 1550 mm Ancho de cerrado: 1250 mm

SP 761 LF	Presión de trabajo recomendada: 23-28 Mpa Velocidad de alimentación: 0-6 m/s Fuerza de alimentación: 49,6 KN Diámetro de corte: 900 mm Velocidad de sierra: 40-45 m/s Cuchillas: 5 fijas y 1 móvil. Ancho de abierto: 1920 mm Ancho de cerrado: 1390 mm
-----------	--

SP 451 LF	Presión de trabajo recomendada: 23-25 Mpa Velocidad de alimentación: 0-6 m/s Fuerza de alimentación: 18 KN Diámetro de corte: 530 mm Velocidad de sierra: 40-45 m/s Cuchillas: 4 fijas y 1 móvil. Ancho de abierto: 1130 mm Ancho de cerrado: 850 mm
-----------	---

Fuentes: Tigercat, 2008; Ponsse, 2009; Valmet, 2007; SP Maskiner, 2008; SP Maskiner, 2008a; SP Maskiner, 2008b.

6.3.2.2. Cabezales para bioenergía

En general los cabezales convencionales para cosecha forestal se pueden emplear para la cosecha forestal con fines de obtención de biomasa, ya que en algunos casos es necesario retirar ramas gruesas para una adecuada manipulación del material en procesos subsecuentes (IDAE, 2007)

6.4. Rendimientos y costos de producción de la Cosechadora Forestal del CTL

El volumen de los árboles tiene un marcado efecto sobre la productividad; un ejemplo, un incremento de 0.11 a 0.17 m³/árbol, permite incrementar la productividad de 8.5 a 11.6 m³/hora productiva (González, s/f).

La secuencia de operación consiste en los siguientes elementos (González, s/f):

- Tiempo de movimiento (no necesariamente para cada árbol);
- Ciclo de corta;
- Ciclo de procesado;

- Tiempo de desmalezado y corta de pequeños árboles no comerciables;
- Pérdidas: incluye detenciones, problemas mecánicos y personales.

6.4.1. Rendimientos de producción de la Cosechadora

Los estudios de cosecha forestal mecanizada CTL de bosques de maderas duras realizados en Francia, han recabado información por medio de estudios de tiempos y movimientos con observaciones de 3 a 5 horas por equipo por sitio, de acuerdo al protocolo armonizado AIR3-CT94-2097, para medir la productividad en diferentes condiciones, obteniendo rendimientos por máquina de entre 6 y 8 m³/hora, (Bigot y Cuchet, s/f).

En ensayos cronometrados en bosques de Spruce Canadá, el tiempo promedio de elaboración de cada árbol de 0.130 m³ de volumen es de 48 segundos, con un promedio de 74 árboles por hora productiva de máquina, lo que equivale a 9.6 m³/hora (González, s/f).

Por medio del uso de GPS, se pueden obtener registros en tiempo real que pueden permitir controlar y conocer la productividad de los equipos de cosecha forestal. En la VIII Región de Chile se reporta una productividad de 18.35 m³/hora, cosechando 0.045 hectáreas/hora; esto se estimó mediante el empleo de esta tecnología, con una recopilación 84,362 registros en 17 días evaluando 234 horas operativas, asimismo el 88.2% del tiempo se empleó en cosecha, 5.7% en movimientos del equipo y 6.1% los equipos estuvieron detenidos (Cordero *et al.*, 2006).

En Uruguay en plantaciones forestales de eucalipto la empresa Ritrok ha logrado tener rendimientos de cosecha forestal de 10,000 m³/mes (17.5 – 19.0 m³/hora) con un cabezal SP 591 LX montado en una excavadora Doosan de 20 toneladas (Brizzio, 2009).

En condiciones de Irlanda la productividad de los cosechadores se encuentra entre 13.5 a 60.5 m³/hora, donde el tamaño del árbol afecta directamente la productividad, de tal forma que se determinó una función de productividad en relación al tamaño de los árboles en m³ (TA). Productividad (m³/hora operativa) = 60.711 * TA^{0.6545} (Jiroušek *et al.*, 2007).

Otro estudio realizado en Nueva Zelanda en plantaciones de pino con dos cabezales Waratah 622 y 624, se obtuvieron las siguientes funciones de productividad respecto al tamaño del árbol, considerando únicamente derribo y desramado (Visser *et al.*, 2009):

$$\text{Waratah 622 : Productividad (m}^3\text{/hora operativa)} = 161 * \text{TA}^{0.39} [r^2 = 0.42]$$

$$\text{Waratah 624 : Productividad (m}^3\text{/hora operativa)} = 200 * \text{TA} + 35.9 * \text{TA}^2$$

Del cabezal Waratah 624, se encontró que el óptimo de operación se encuentra cuando corta árboles de 2.2 m³ de volumen individual, en un rango de volumen de 0.3 a 3.8 m³/árbol (Visser *et al.*, 2009).

En plantaciones de eucalipto (*Eucalyptus viminalis*) de Nueva Zelanda en cosecha a 7 años un estudio de productividad indica que el diámetro normal tiene estrecha relación con el tiempo de las actividades unitarias de la cosechadora, tal y como se describe en los Cuadros 6.3 y 6.4 (Hartsough y Cooper, 1999).

En el sistema de árbol completo (Tree-Lenght), la función de producción de una apiladora derribadora (Feller Buncher) Tigercat 720B para una plantación de *Pinus lobloli* en Carolina del Norte, respecto al tamaño medio del árbol en pies cúbicos (TA) y el número de árboles a apilar (AA); tiene una $r^2 = 66\%$ a una probabilidad del 95%, con un tamaño promedio por árbol de 8.15 ft³, pilas de 2.63 árboles, ciclos de 0.60 minutos, y una productividad promedio de 1998 ft³/hora (55 m³/hora) (Visser y Stampfer, 2003):

$$\text{Productividad (m}^3\text{ / hora productiva)} = (262 + 171 * \text{TA} + 14.4 * \text{AA} * \text{TA}) * 0.283$$

En otro estudio en Chile realizado con el fin de balancear un proceso de cosecha con árbol completo, indica que la productividad de un Feller Buncher es de 140.17 m³/hora, un Skkider con grapa de 51.58 m³/hora y un cabezal procesador de 41.23 m³/hora (Aracena *et al.*, 2007).

Al igual que en el sistema CTL, la productividad en el sistema FT también se ve influenciada por el diámetro normal (Holtzcher y Lanford, 1997).

Es de notarse que la productividad de una derribadora apiladora es mucho más alta que la que tiene en general la cosechadora forestal del tipo CTL, sin embargo el proceso es sólo derribo y apilado, aún falta el procesamiento para retirar ramas, corteza y dimensionamiento de las piezas a medidas comerciales.

Cuadro 6.3.Ciclo de tiempo con sus elementos y variables asociadas

Harvester	Promedio	Desviación estándar	Observaciones
Movimiento (cmin/move)	12.1	9.1	198
Árboles/movimiento	1.71		
Derribo (cmin/árbol)	13.6	9.6	339
Procesamiento (cmin/árbol)	38.4	24.7	339
Limpieza (cmin/árbol)	9.2	23.2	340
Demoras por bifurcaciones y curvaturas(cmin/árbol)	3.2	11.0	340
Otros retrasos en la productividad del Harvester (fracción de tiempo del ciclo)	0.048		
Distancia por movimiento (ft/movimiento)	5.05	2.89	198
Diámetro a la altura del pecho (pulgadas)	5.62	2.11	339
Volumen del árbol (ft ³ ,sin corteza)	3.31		
Longitud del árbol	1.82	0.71	340

Fuente: Hartsough y Cooper, 1999 [cmin = centiminuto]

6.4.2. Costos de producción

Las consideraciones de costos en el caso de la operación mecanizada de la cosecha forestal difieren en gran medida de las prácticas tradicionales manuales, tanto en la logística que implica como en los montos que se erogan.

Los costos de un cosechador por hora se presentan en el Cuadro 6.5, para tres diferentes clases de cosechadores (Jiroušek *et al.*, 2007), tomando en cuenta la estructura de costos presentada por Brinker *et al.* (2002). Además cabe mencionar que el costo por m³ de madera elaborada se verá influenciado directamente con la productividad (Jiroušek *et al.*, 2007); por otra parte hay que considerar que la productividad cambia si se emplea un cosechador con excavadora y sin ella, siendo más bajo el primero (Lileng, 2007).

Cuadro 6.4. Relaciones de productividad de la cosechadora

Movimiento, cmin/movimiento = $6.09 + 1.189 * Distancia$ $r^2 = 0.14$, F=33, n = 198
Derribo, cmin/árbol = $15.75 + 0.511 * DAP$ $r^2 = 0.02$, F = 7.6, n = 338
Procesamiento, cmin/árbol = $15.75 + (0.333 + 0.166 * Parcial + 0.515 * full) * DAP^2$ $r^2 = 0.57$, F = 149, n = 339
Limpieza, cmin/árbol = 9.24
Demoras por bifurcaciones y curvaturas, cmin/árbol = $-3.12 + 1.125 * DAP$ $r^2 = 0.05$, F = 17, n = 340
Tiempo productivo, cmin/árbol = (mov./árboles por movimiento.+ derribo+ procesamiento+ limpieza)*demoras por bifurcaciones y curvaturas
Longitud por árbol = $0.7 + 0.2 * DAP$
Donde: Distancia es en pies y diámetro a la altura del pecho (DAP) es en pulgadas

Fuente: Hartsough y Cooper, 1999 [cmin = centiminutos]

Cuadro 6.5. Factores de costeo para tres clases de cosechadoras

Factor de costeo	Cosechador		
	Clase 1	Clase 2	Clase 3
Información de costo de la máquina			
Precio de compra (P), €	300,000	320,000	360,000
Poder de salida de la máquina, Kw	80	120	150
Vida de la máquina (n), años	5	5	5
Valor de rescate (sv), % del precio de compra	10	10	10
Ritmo de utilización de las máquinas (ut), %SMH	75	75	75
Costo de reparación y mantenimiento (rm), % de capital sobre la vida.	56	56	56
Tasa de interés (in), % de la media anual de inversión (Y)	8	8	8
Tasa de impuestos y seguros (it), % de la inversión media anual (Y)	7	7	7
Tasa de consumo de combustible (fcr), l/h	10.93	12.8	14.18
Costo de combustible (fc), €/l	0.5	0.5	0.5
Tasa de consumo de lubricantes y aceites (ocr), l/h	0.62	0.62	0.62
Costo de lubricante y aceites (lo), €/l	2	2	2
Salario del operador (w), €/SMH	12	12	12
Horas máquina programadas (SMH), h/año	2,000	2,000	2,000
Valor de rescate (S), €	30,000	32,000	36,000

Depreciación anual (D) en €/año, $D = [(P - S)/n]$	54,000	57,600	54,800
Inversión media anual (Y) en €/año, $Y = [(((P - S) \times (n + 1))/2n) + S]$	192,000	204,800	230,400
Horas máquina productivas (PMH) en h/año, $PMH = (SMH \times ut)$	1,500	1,500	1,500
Costos de propiedad			
Interés sobre el capital (I) en €/año, $I = (in \times Y)$	15,360	16,384	18,432
Costos de impuestos y seguros (IT) en €/año, $IT = (it \times Y)$	13,440	14,336	16,128
Costos anuales de propiedad (F) en €/año, $F = (D + I + IT)$	82,800	88,320	99,360
Costos de propiedad por SMH (Os) en €, $Os = (F/SMH)$	41.4	44.16	49.68
Costos de propiedad por PMH (Op) en €, $Op = (F/PMH)$	55.20	58.88	66.24
Costos de operación			
Costos de combustible (Fu) en €/PMH, $Fu = (fcr \times fc)$	5.47	6.40	7.09
Costos de lubricante (L) en €/PMH, $L = (ocr \times lo)$	0.62	0.62	0.62
Costos de reparación y mantenimiento (RM) en €/PMH, $RM = [rm \times P/(PMH \times n)]$	22.40	23.89	26.88
Costos del operador (Opc) en €/PMH, $Opc = (W/ut)$	16.00	16.00	16.00
Costos de operación de la máquina por PMH (Vp) en €/PMH, $Vp = (Fu + L + RM + Opc)$	44.49	46.91	50.59
Costos de operación de la máquina por SMH (Vs) en €/SMH, $Vs = (Vp + ut)$	33.36	35.19	37.94
Costos totales			
Costo total de la máquina por SMH en €/SMH, $TCS = (Os + Vs)$	74.76	79.35	87.62
Costo total de la máquina por PMH en €/PMH, $TCP = (Op + Vp)$	99.69	105.79	116.83

Fuente: Jiroušek *et al.*, 2007

Otro caso de costeo de equipos cosechadores para el caso de un Harvester TJ 1210-B, obteniendo un costo promedio de 210.29 USD/SMH y 323 USD/PMH; tomando en cuenta los siguientes conceptos (Akay y Sessions, 2004):

- Costos de propiedad
 - o Costos de depreciación
 - o Intereses, seguros e impuestos
 - o Gastos de licencias y almacenamiento
 - o Propiedad por tiempo operativo
- Costos de operación
 - o Costos de mantenimiento y reparación
 - o Costos de combustibles y lubricantes
 - o Costos de llantas y rines
- Costos laborales
 - o Sueldos, salarios y prestaciones
 - o Compensaciones de trabajadores
 - o Seguridad social, Seguros de salud y seguros de desempleo
 - o Factor de carga de trabajo

Otro costo a considerar es la relocalización de maquinaria, ya que este se prorratea entre el volumen cosechado entre un área y otra. Dicho en otras palabras entre más volumen se coseche en una sola área menor será el costo por m³ por este concepto (Russell y Mortimer, 2005).

En el caso de la depreciación se considera 4 años para el caso de los cosechadores forestales con un valor de rescate del 20% del valor de compra, y con una inversión general en mantenimiento del 110% del valor de adquisición. Así mismo se consideran 2,000 horas de operación en general para cosechadores con 1,600 horas efectivas (Brinker *et al.*, 2002).

En el caso de máquinas duales en Finlandia (Ponsse Wisent Dual, Ponsse Bufalo Dual y Valmet Combi 801), se tiene un costo por metro cúbico de 7.5 a 9.5 €, considerando operaciones de extracción y procesamiento (Väätäinen *et al.*, 2006).

7. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

7.1. Ubicación

La evaluación se llevó a cabo en el municipio de Huimanguillo, Tabasco, con la empresa Proveedora Silvícola Internacional (PSI), que brindaba sus servicios como contratista para la cosecha de plantaciones forestales de madera de eucalipto a la empresa Proplanse S.A. de C.V.

Esta región se localiza en la región de la Chontalpa y tiene como cabecera municipal la ciudad de Huimanguillo, ubicada al este del estado, entre los paralelos 17°19' de latitud norte y 93°23' de longitud oeste (Figura 7.1).



Figura 7.1. Municipio de Huimanguillo, Tabasco.

Colinda al norte con el municipio de Cárdenas, al sur con los estados de Chiapas y Veracruz, al este con el estado de Chiapas y al oeste con el estado de Veracruz. La extensión territorial del municipio es de 3,757.59 km².

Del total de las actividades productivas de esta región el 5% está comprendido por el área forestal con plantaciones forestales comerciales (Figura 7.2), para aprovechamiento maderero y extracción de hule.



Figura 7.2. Plantaciones de eucalipto de Proplanse S.A. de C.V. en Huimanguillo, Tabasco.

7.2. Clima

Se aprecian dos tipos de clima: el cálido húmedo con abundantes lluvias en verano con cambios térmicos en los meses de diciembre y enero; su temperatura media anual es de 26.2°C y el clima cálido húmedo con lluvias todo el año (Af) se da en la parte sur y suroeste. La precipitación pluvial es de 2,290.3 mm.

7.3. Flora

En esta zona existe la selva alta perennifolia con árboles mayores a 30 m de altura y algunos de selva media perennifolia de 15 a 30 m de altura como el cedro (*Cedrela odorata*) y caoba (*Swietenia macrophylla*).

7.4. Fauna

La fauna del municipio es escasa, se pueden mencionar algunas especies como el saraguato, conejo, tepezcuintle, tortuga, y gran variedad de aves.

8. METODOLOGÍA

8.1. Materiales

Para el trabajo en campo se requirió el siguiente material:

1. Cámara de video y fotográfica.
2. Tripie
3. Computadora portátil.
4. Cronómetro.
5. Cinta adhesiva.
6. Memorias SD.
7. Formatos para el vaciado de información.

Para el trabajo en gabinete:

1. Computadora
2. Cronómetro
3. Formatos para el vaciado de tiempos de los videos

8.2. Descripción de la cosechadora forestal

La cosechadora forestal es un cabezal marca Kesla adaptado a una excavadora de oruga Caterpillar 320D (Figura 8.1).



Figura 8.1. Cosechadora forestal, cabezal Kesla adaptado a la excavadora Caterpillar, Huimanguillo, Tabasco.

8.2.1. Especificaciones del cabezal

El cabezal cosechador Kesla modelo 30RHS, construido para cosecha de árboles con un diámetro de hasta 50 cm, la apertura máxima de las garras es de 68 cm. El desplazamiento del árbol o alimentación es por medio de tres rodillos sincronizados. Está diseñado para el montaje en excavadoras de 18 a 25 ton.

Las partes principales que componen el cabezal cosechador se muestran en la Figura 8.2 y los datos técnicos se describen en el Cuadro 8.1.

1. Dos rodillos alimentadores y descortezadores que tienen un ajuste de presión sobre el árbol controlado mediante un calibrador que garantiza que coincida con el diámetro del árbol.
2. Un rodillo de medición longitudinal que está controlado por un calibrador que sigue la superficie del árbol.
3. Cuatro cuchillas derramadoras
4. Una sierra

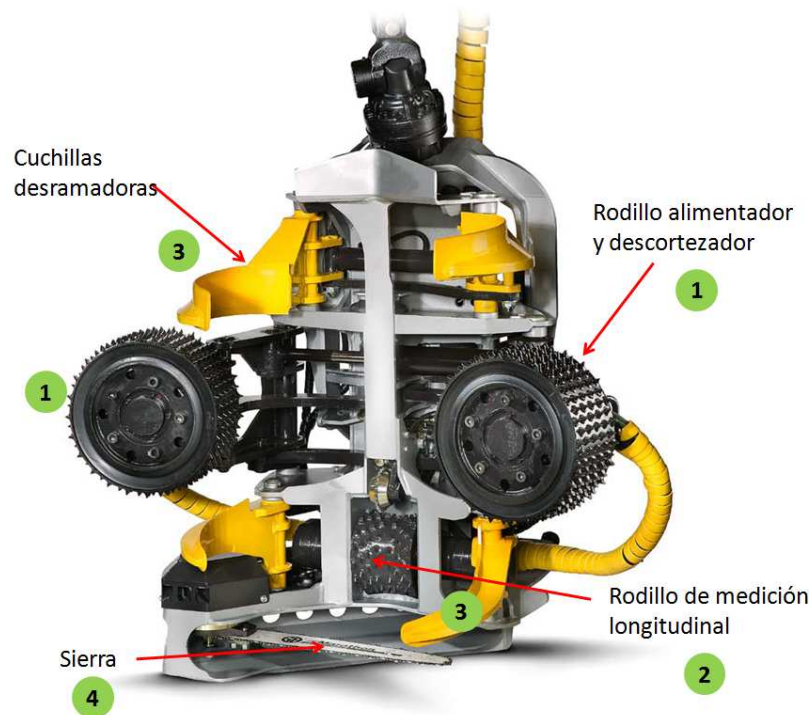


Figura 8.2. Cabezal cosechador Kesla, señalando las partes principales que lo integran (Kesla, 2008).

Cuadro 8.1. Especificaciones técnicas del cabezal cosechador

DATOS TÉCNICOS	30RHS	DATOS TÉCNICOS	30RHS
Ancho con las garras bien abiertas	1695 mm	Desramado	
Ancho con las garras cerradas	1130 mm	Número de cuchillas	4 móviles, 1 fija
Longitud	1690 mm	Diámetro de corte (entre filos opuestos)	480 mm
Altura (sin rotador)	1610 mm	Abertura máxima de cuchillas frontales	720 mm
Peso(sin rotador)	1400 kg	Abertura máxima de cuchillas posteriores	760 mm
Sierra		Sistema hidráulico	
Diámetro de corte máximo	670(750)mm	Presión	230-270 bar
Longitud de la espada	25(28)"	Caudal requerido	220-270 l/min
Desplazamiento del motor	30 cc	Potencia requerida	100-130 kw
Alimentación	3 rodillos sin cr.		
Abertura máxima de los rodillos	680 mm		
Fuerza de alimentación	27 kN		
Velocidad de alimentación máxima	5 m/s		

Fuente: Kesla, 2008.

8.2.2. Especificaciones de la excavadora

Las partes principales que integran la excavadora se describen a continuación y se muestra en la Figura 8.3, en los Cuadros 8.2, 8.3, 8.4, 8.5, 8.6 y 8.7 se describen son especificaciones técnicas.

El motor C6.4 Cat ; suministra el combustible, administra el aire y el control electrónico. El rendimiento del motor provee 103 kW (138 hp). También dispone de movimiento de carrera larga, del pistón para proveer velocidades medianas y bajas (Caterpillar, 2005).

Módulo de control eléctrico. El Módulo de Control Electrónico (ECM) es el “cerebro” del sistema de control del motor y responde a las variables de operación para proporcionar eficiencia del motor. Está integrado con sensores en los sistemas de combustible, aire, refrigerante y escape del motor, el ECM guarda y transmite la información de las condiciones del motor, como rpm, consumo de combustible y diagnóstico (Caterpillar, 2005).

Suministro de combustible. El motor C6.4 Cat tiene controles electrónicos que regulan el sistema de inyección de combustible. La programación del ciclo de combustión reduce las temperaturas de la cámara de combustión, genera menos emisiones, y optimiza la combustión de combustible (Caterpillar, 2005).

Sistema de enfriamiento. El ventilador de enfriamiento es impulsado directamente por el motor. Hay un paquete para altas temperaturas ambiente disponible, que aumenta la capacidad de enfriamiento de 43°C a 52°C (109°F a 125°F) (Caterpillar, 2005).

Sistema hidráulico. Es para una manipulación continua de material. Los componentes hidráulicos están ubicados muy cerca uno de otros, lo cual reduce la pérdida por fricción y las caídas de presión en las tuberías. La presión del sistema es de 35.000 KPa (5.076 lb/pulg²), lo cual contribuye a la fuerza de brazo y cabezal, fuerza de arrastre en la barra de tiro (206 kN – 46.322 lb) provee la capacidad para subir pendientes, giros de la máquina sobre si misma más fáciles, y desplazamiento en malas condiciones de terreno(Caterpillar, 2005).

Cuadro 8.2. Especificaciones del motor.

Motor		
Modelo de motor	Cat ^R C6.4ACERT™	
Potencia neta del volante	103 Kw	138 hp
Potencia neta-ISO 9249	103 kw	138 hp
Potencia neta-SAE J1349	103 kw	138 hp
Potencia neta-EEC80/1269	103 kw	138 hp
Calibre	102 mm	4,02 pulg
Carrera	130 mm	5,12 pulg
Cilindrada	6.4 L	389 pulg ³

Fuente: Caterpillar, 2005.

La potencia neta ofrecida es la disponible en el volante cuando el motor está equipado con ventilador, filtro de aire, silenciador y alternador. No se requiere reducir la potencia del motor a altitudes inferiores a 2.300 m (7.500 pies) (Caterpillar, 2005).

Cuadro 8.3. Especificaciones del peso

Peso		
Peso en orden de trabajo-Estándar Tren de rodaje	20.330 kg	44.820 lb
Pluma de alcance, R2.9B1 (9 pies 7 pulg) Brazo, 0,9 m³ (1,18 yd³)		

Fuente: Caterpillar, 2005.

Cuadro 8.4. Mecanismos de rotación

Mecanismos de rotación		
Velocidad de rotación	11,5 rpm	
Par de rotación	61,8 kN	45.612 lb pies

Fuente: Caterpillar, 2005.

Cuadro 8.5. Especificaciones de la capacidad de llenado

Capacidad de llenado de servicio		
Capacidad del tanque de combustible	410L	108 gal
Sistema de enfriamiento	25 L	6,6 gal
Aceite de motor	30L	8 gal
Impulso de giro	8L	2,1 gal
Mandos finales (cada uno)	8L	2,1 gal
Sistema hidráulico	260L	69 gal
Tanque hidráulico	120L	32 gal
Tanque hidráulico (incluso tubería de succión)	138L	36 gal

Fuente: Caterpillar, 2005.

Cuadro 8.6. Especificaciones de mando

Mando		
Fuerza máxima en la barra de tiro	206 kN	46.311 lb
Velocidad máxima de desplazamiento	5,5 km/h	3,4 millas/h

Fuente: Caterpillar, 2005.



Figura 8.3. Excavadora Caterpillar 320D (Caterpillar, 2005).

Cuadro 8.7. Especificaciones del sistema hidráulico

Sistema hidráulico		
Sistema principal de implementos-Caudal máximo (2x)	205 L/min	54 gal/min
Presión máxima-Equipo	35.000 kPa	5.076 lb/pulg ²
Presión máxima-Equipo-Pesado	36.000 kPa	5.221 lb/pulg ²
Presión máxima-Desplazamiento	35.000 kPa	5.076 lb/pulg ²
Presión máxima-Rotación	25.000 kPa	3.626 lb/pulg ²
Sistema piloto-Flujo máximo	32,4 L-min	9 gal/min
Sistema piloto-Presión máxima	3900 kPa	566 lb/pulg ²
Cilindro de la pluma-Calibre	120 mm	4,7 pulg
Cilindro de la pluma-Carrera	1.260 mm	49.6 pul
Cilindro de brazo de alcance-calibre	140 mm	5,5 pul
Cilindro de brazo de gran volumen-calibre	140 mm	5,5 pulg
Cilindro de brazo de alcance-Carrera	1.518 mm	59.8 pulg
Cilindro de brazo de alcance-Carrera	1.504 mm	59,2 pul

Fuente: Carterpillar, 2005.

8.3. Tamaño de muestra.

Las variables analizar de cada muestra, de acuerdo al trabajo de Hartsough y Cooper (1999), son las siguientes:

- Para jornadas de trabajo, los tiempos unitarios considerados fueron:
 - o Transporte de personal
 - o Transporte de cosechadora
 - o Mantenimiento de rutina
 - o Mantenimiento preventivo
 - o Mantenimiento correctivo
 - o Cosecha
 - o Abastecimiento de combustible
 - o Necesidades
 - o Distracciones
 - o Calentamiento de encendido

- o Afilado
- o Desajuste de cadena
- o Enfriamiento de máquina
- Para procesamiento de árboles individuales, los tiempos unitarios considerados fueron:
 - o Movimiento
 - o Limpieza
 - o Posicionamiento
 - o Derribo
 - o Manipulación
 - o Descortezado y desrame
 - o Troceo

El tamaño de muestra se determinó mediante el empleo de la ecuación siguiente y partiendo de los resultados obtenidos en el premuestreo (Cochran, 1971).

$$n = \frac{1}{\frac{E^2}{t^2 \delta_y^2} + \frac{1}{N}}$$

Se determinaron dos tipos de muestras, uno para las jornadas de trabajo y otro para las operaciones de procesamiento individual de los árboles por hora, en el primer tipo de muestra se tomaron nueve observaciones y para el segundo 20 observaciones como premuestra, donde se tuvieron las consideraciones siguientes, para determinar la muestra:

- Para las jornadas de trabajo:
 - o n = tamaño de muestra.
 - o E = error esperado definido en 0.25 horas por jornada (15 minutos).
 - o t = distribución t-student evaluada a $n-1$ grados de libertad de la premuestra y al 95% de confiabilidad.
 - o δ_y^2 = varianza de la premuestra (observada 0.7114).
 - o N = tamaño de la población, considerado para el presente 286 (son los días laborables por año).
- Para las operaciones de procesamiento individual de los árboles por hora:

- o n = tamaño de muestra.
- o E = error esperado definido en 1 árbol por hora.
- o t = distribución t-student evaluada a $n-1$ grados de libertad de la premuestra y al 95% de confiabilidad.
- o δ_y^2 = varianza de la premuestra (observada 185.31).
- o N = tamaño de la población, considerado para el presente 10,000 (tiempo de vida útil considerada para el cabezal).

Los resultados de la premuestra para el primer tipo de muestra determinaron que se requerían 9 días.

Por otra parte en el caso de las operaciones de procesamiento individual de los árboles por hora la muestra según los cálculos es de 38 horas, y el estudio contempló un total de 47 horas.

8.4. Toma de datos en campo

En campo se obtuvo información de jornadas completas registrando las actividades y tiempo de ejecución que implicaban a la cosechadora y a su operador. La toma de tiempos se clasificó en dos clases:

Toma de tiempos por turno, donde se consideran las actividades que se hacen por jornada, incluida la cosecha, la duración de cada actividad va desde minutos hasta horas.

Toma de tiempos por ciclo de producción, un ciclo de producción implica las actividades para el derribo y procesamiento de un árbol, sólo se considera la cosecha, la duración de cada actividad es en segundos.

8.4.1. Tiempos por turno

Para jornadas completas se tomaron tiempos de trabajo productivos correspondientes a la cosecha, actividades no operativas como necesidades, desplazamientos, interrupciones y actividades de mantenimiento preventivo y correctivo.

Para estas actividades se uso el formato mostrado en el Anexo 2, donde se consideraron los tiempos productivos e improductivos de manera individual de forma que es posible el análisis de la productividad, de servicio, de reparaciones, etc.

Se consideró el inicio de la jornada laboral desde el transporte de la base o campamento a la plantación. Las actividades de cada turno se registraron en campo como iban sucediéndose, ya que había algunas que se repetían diariamente pero el orden de ejecución cambiaba, por esta razón no se registraron en la impresión del formato.

Se registro el tiempo exacto invertido de cada operación elemental con la ayuda de un cronómetro señalando el inicio y termino de cada actividad.

8.4.2. Tiempos por ciclo de cosecha

Para la toma de tiempos de la cosecha se consideró que la cosechadora durante el derribo y procesamiento de un árbol realiza las siguientes actividades:

Ciclo de cosecha

1. **Movimiento:** Cualquier movimiento que hace la máquina, para ir de un árbol a otro.
2. **Limpieza:** remoción de árboles talados, maleza, árboles no comerciales y otros materiales que afecten la caída de los árboles comerciales.
3. **Posicionamiento:** Colocación del cabezal alrededor del árbol en pie, para derribarlo. Este elemento se inicia cuando ha terminado la limpieza y termina cuando la sierra de la cadena empieza a cortar la base del árbol (modo de cosecha).
4. **Derribo:** es el corte del árbol, desde que la sierra empieza a funcionar hasta que cae el árbol.
5. **Manipulación:** movimiento de la pluma cuando el cabezal tiene un árbol cortado, siempre que la máquina no este realizando otras funciones, por ejemplo desrame o descortezado.
6. **Descortezado y desrame:** alimentación a las cuchillas con el árbol derribado.
7. **Troceo:** Corte de trozas en longitudes especificadas en la máquina, para este caso 2.50 m.

En la Figura 8.4 se muestra parte del ciclo de cosecha de eucalipto.

En el ciclo de cosecha también se incluye el apilado, que es el acomodo de las trozas para su extracción hacia el patio de almacenamiento (SROP MOW, 2002), pero en este estudio no se consideró ya que el operador no lo llevaba a cabo, aunque era necesario (Figura 8.5).

La información que se necesitaba es el tiempo de procesamiento de cada árbol y su volumen en m^3 . Es importante señalar que la computadora de la máquina cosechadora proporcionaba en la pantalla los diámetros en milímetros de cada troza que se iba cortando (Figura 8.6), sin embargo no contaba con el programa de computo para ir guardando la información en un disco, por lo tanto se tuvo que ir copiando manualmente el diámetro de la pantalla. El formato de diámetros de trocería se muestra en el Anexo 4.

Por esta situación fue difícil registrar los tiempos de cada ciclo de procesamiento de los árboles y a la vez el diámetro de cada troza. Se recurrió a tomar grabaciones mediante video de esta actividad, aunque con esto se multiplicó el tiempo de trabajo necesario para la obtención de los datos, ya que en gabinete se extrajo la información de tiempos de cada video.



Figura 8.4. Cosecha de madera de eucalipto

En campo se tuvo la precaución de que las grabaciones coincidieran con los diámetros registrados de cada troza, las grabaciones se obtuvieron por hora, la cámara de video se monto en un tripie el cual fue colocado dentro de la máquina y de esta forma fue grabando

el proceso productivo. La Figura 8.7 muestra la vista de la cámara hacia el cabezal durante la cosecha.



Figura 8.5. Árboles procesados



Figura 8.6. Pantalla de la computadora del cabezal



Figura 8.7. Perspectiva de la cosecha de eucalipto

8.5. Procesamiento de la información

8.5.1. Tiempos por turno

Las actividades por turno para un procesamiento más explícito se clasificaron de la manera siguiente:

1. **Transporte de personal:** es el transporte de la base o campamento a la plantación.
2. **Transporte de cosechadora:** cualquier movimiento que hace la máquina, siempre que no esté cosechando. Por ejemplo transporte de base a zona de cosecha.
3. **Mantenimiento de rutina:** son actividades de mantenimiento que se hacen diariamente a la máquina para mantener su capacidad de trabajo en el sistema de producción.
4. **Mantenimiento preventivo:** son actividades de mantenimiento que se hacen para prevenir una falla.
5. **Mantenimiento correctivo:** actividades de reparación que se realizan por rompimientos y fallas en la cosechadora.

6. **Cosecha:** fase productiva, donde se procesa el arbolado para obtener trocería de 2.50 m, incluye todos los ciclos de cosecha o tiempos de procesamiento de cada árbol por turno.
7. **Abastecimiento de combustible:** suministro de diesel a la máquina cosechadora
8. **Calentamiento:** preparación de la cosechadora antes de empezar a laborar.
9. Enfriamiento de cosechadora: enfriamiento de la máquina, cuando se calienta el hidráulico.
10. **Afilado:** afilado de cadena de la barra.
11. **Desajuste de cadena:** Desmonte de la cadena de la barra al estar en operación.
12. **Necesidades:** Tiempo de descanso, necesidades personales y tiempo de alimentos.
13. **Distracciones:** actividades que no se relacionan directamente con la cosecha, como ejemplo colaboración en reparación de otros equipos que son parte de la extracción de madera procesada.

De los nueve días muestreados, se obtuvo el porcentaje que representa cada actividad en la jornada laboral, el promedio de tiempo de cada actividad con la desviación estándar, máximos y mínimos, con apoyo de la hoja de cálculo Microsoft Excel® versión 2007.

8.5.2. Tiempos por ciclo de cosecha

En gabinete se extrajo el tiempo de procesamiento de cada árbol, en cada ciclo de cosecha se presentaron tiempos improductivos de corta duración que no se incluyeron como parte de la producción. Son actividades improductivas efectuadas por inadecuada manipulación del cosechador y deficiente técnica de cosecha, el formato que se usó para la captura de tiempos se muestra en el Anexo 3. Estas actividades se clasificaron como se muestra en el Cuadro 8.8.

Con los datos obtenidos de los ocho tipos de tiempos improductivos del ciclo de cosecha se realizó un análisis de ocurrencia de cada evento en función de cada 100 árboles, la probabilidad de ocurrencia se obtuvo en porcentaje.

8.5.3. Volumen de trocería

Se determinó el volumen de cada troza con los dos diámetros que se registraron en campo mediante la siguiente fórmula:

$$V = \left(\frac{Dp}{2}\right)^2 * \pi * L$$

Donde:

V= Volumen en m³

Dp = Diámetro promedio en metros.

L= Longitud de la troza en metros.

Cuadro 8.8. Clasificación de actividades improductivas con su clave

Clave	Actividad improductiva	Descripción
T11	Descortezado de desechos	Se refiere al descortezado de madera muy delgada menor a 11 cm de diámetro y de pedacería que no cumple la longitud establecida de 2.50m.
T12	Soltar árbol derribado	Ocurre cuando suelta el árbol derribado durante la manipulación, el descortezado-desrame o el troceo
T13	Corte de base astillada del árbol	Nivelado de la base del árbol con la sierra, cuando no se realiza bien el corte en el derribo.
T14	La sierra no corta al troceo	La sierra efectúa varios recorridos en la misma zona de corte, durante el troceo.
T15	La sierra no corta al derribo	La sierra efectúa varios recorridos en la misma zona de corte, durante el derribo.
T16	Distracción	Actividades ajenas a cosecha que interrumpen el proceso.
T17	Dificultad al posicionar el cabezal para el derribo	se refiere al posicionamiento del cabezal para el derribo
T18	Otro tipo	Cualquier otra actividad que dificulte la cosecha.

Con el diámetro de cada árbol se procedió a analizar cada volumen con su tiempo de procesamiento.

En las actividades por turno se analizó cada una, incluida la cosecha como una actividad global, posteriormente se analizó la cosecha de manera independiente descomponiéndola en ciclos o tiempo de procesamiento de cada árbol.

Para el tiempo de ejecución de cada actividad y para el volumen de madera, se determinó el promedio, desviación estándar, porcentajes y se construyeron gráficas para el análisis.

8.5.4. Análisis de productividad

Para el análisis de productividad, se utilizaron los siguientes modelos de regresión lineal para relacionar la productividad (Y), con el diámetro de la base o el volumen individual del árbol (X), de acuerdo a las experiencias de los trabajos de Visser *et al.* (2009) y Hartsough y Cooper (1999):

- Modelo lineal: $Y = \beta_0 + \beta_1 x + \varepsilon$
- Modelo polinómico de segundo grado: $Y = \beta_0 + \beta_1 x + \beta_2 x^2 + \varepsilon$
- Modelo logarítmico: $Y = \beta_0 + \beta_1 \ln(x) + \varepsilon$
- Modelo potencial: $Y = \beta_0 x^{\beta_1} + \varepsilon$

Los modelos se corrieron en dos categorías, la primera considerando los tiempos improductivos del ciclo de cosecha y la segunda sin incluir los tiempos improductivos. El primer caso es la situación real en la que se encuentra operando la máquina y para el segundo caso es la condición ideal a la que debe operar la máquina.

En cada categoría las cuatro regresiones usadas se corrieron asignando dos valores a X, donde; X=tamaño del árbol en m³ y X= diámetro de la base del árbol en cm., como no se contaba con el diámetro normal del árbol se consideró el diámetro de la base del árbol.

El modelo seleccionado fue el de la forma $Y = \beta_0 + \beta_1 x + \beta_2 x^2 + \varepsilon$, el cual se eligió para ambas categorías de tiempos en virtud a su mayor r² y la forma de la curva la cual tiende a decrecer.

Con la fórmula general se resuelven las ecuaciones anteriores para determinar el tamaño del árbol X₁ y X₂, en m³ donde la utilidad es igual a cero. A y se le asignó el valor de 17.8556 que es el punto de equilibrio de las horas máquina programada (PMH) en m³.

Para conocer el volumen máximo del arbolado X^* donde existe mayor utilidad, se utilizó el principio de optimización sin restricciones que establece dos condiciones (Chiang y Wainwright, 2006):

Condición de primer orden o condición necesaria: $\frac{\partial y}{\partial x} = 0$

Condición de segundo orden o condición suficiente: $\frac{\partial^2 y}{\partial x^2} \leq 0$

Una vez que se tiene el volumen del arbolado, el valor X^* se evalúa en la función $y^* = f(x^*)$ para obtener la máxima productividad en m^3 por hora. Finalmente para cada categoría con TI y sin TI se elabora la gráfica de costo-utilidad-precio respecto al tamaño del árbol.

8.5.5. Análisis de costos

Para el análisis de costos se consideró información sólo de la actividad productiva, considerando información de costos de la máquina, costos de propiedad, costos de operación, costos totales y evaluación económica, de acuerdo a la metodología propuesta por Brinker *et al.*, (2002) y las experiencias de Jiroušek *et al.* (2007), y apoyo de la hoja de cálculo Microsoft Excel® versión 2007.

Para cada categoría se obtiene la utilidad máxima en \$ por m^3 , primero se determina el costo mínimo por metro cúbico con la fórmula siguiente:

$$\text{Costo mínimo}/m^3 = \frac{\text{costo total de la maquina en \$/PMH}}{\text{Productividad máxima en } m^3}$$

Una vez que se tiene el costo mínimo se determina la utilidad restando el costo mínimo a \$77.40, que es el precio al que se pagaba el m^3 procesado.

9. RESULTADOS

9.1. Tiempos y movimientos de producción

9.1.1. Tiempos por turno

Los nueve días muestreados suman en total 101.6 horas que incluyen la cosecha y las actividades complementarias. Cada día en promedio fue de 11.2 horas laborales con una desviación estándar de 41 minutos. La Figura 9.1 muestra el porcentaje que representa cada actividad de la jornada en porcentaje donde el 53.8 % del tiempo total representa la cosecha; en promedio la cosecha por día fue de seis horas con una desviación estándar de 2.1 horas, con un máximo de 8.7 horas y un mínimo de 1.95 horas por día (Cuadro 9.1). El transporte de personal y las necesidades representan el 7 y el 5.7 % del tiempo total. El abastecimiento de combustible representa el 1.8 % (Figura 9.2) y el resto de las actividades son menores al 3 %.

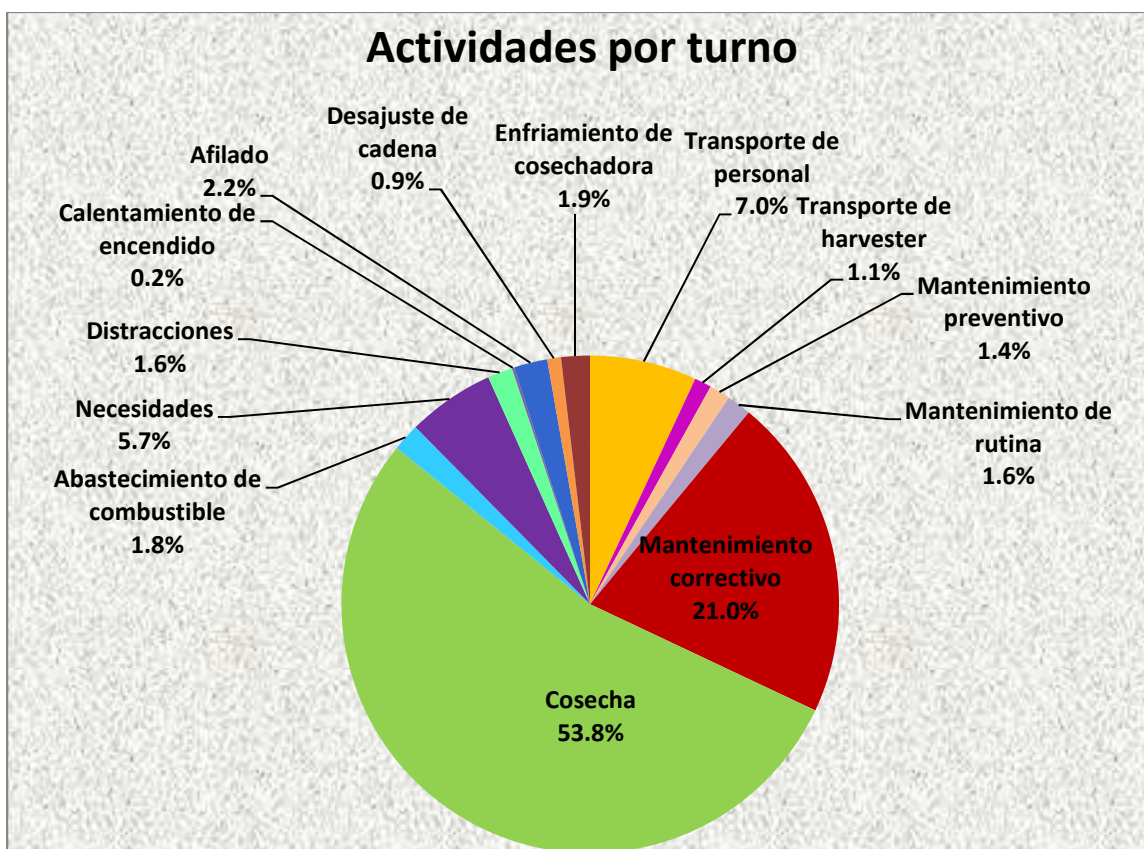


Figura 9.1. Porcentaje que comprende cada actividad del turno de producción



Figura 9.2. Abastecimiento de combustible

Cuadro 9.1. Tiempo de las actividades productivas e improductivas por jornada laboral

Actividad	Promedio (min)	Desviación estándar (min)	Máximo (min)	Mínimo (min)
Transporte de personal	47.11	36.15	104.00	15.00
Transporte de cosechadora	7.33	7.23	22.00	0.00
Mantenimiento de rutina	9.33	4.18	18.00	5.00
Mantenimiento preventivo	10.67	5.24	17.00	0.00
Mantenimiento correctivo	142.44	120.52	337.00	0.00
Cosecha	364.44	126.80	522.00	117.00
Abastecimiento de combustible	12.22	6.80	20.00	0.00
Necesidades	38.33	29.25	79.00	0.00
Distracciones	11.00	19.66	56.00	0.00
Calentamiento de encendido	1.11	2.26	6.00	0.00
Afilado	14.67	11.12	26.00	0.00
Desajuste de cadena	6.11	8.71	22.00	0.00
Enfriamiento de máquina	12.67	21.17	58.00	0.00
Duración del turno de trabajo	677.44	41.62	767.00	636.00

Fuente: Elaboración propia

No había horario fijo de inicio de labores, era variable de 6:00-8:00 a.m., considerando el inicio desde la partida de la base o campamento a la plantación. El tiempo de transportación del personal variaba en función del lugar de salida, ya que en ocasiones fue desde las Choapas, Veracruz (lugar de origen del personal) y otras de una localidad cercana a la plantación. Razón por la cual existió variación en el tiempo de esta actividad de 15 minutos a 1.7 horas. El final de la jornada variaba de 5:30-6:30 p.m.

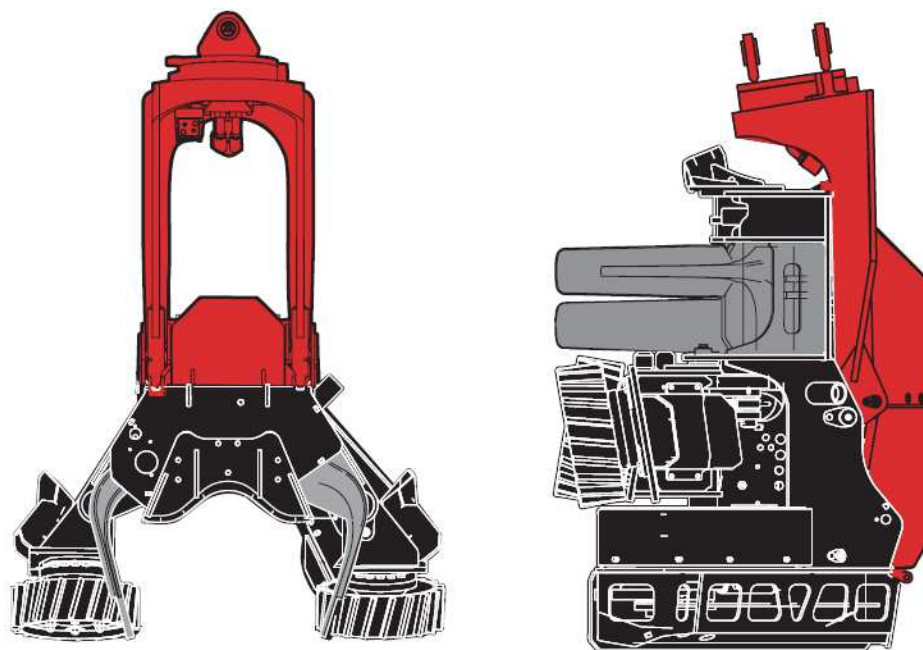
El mantenimiento correctivo es una actividad que representa en la Figura 9.1 el 21 % del total de la producción, con una media por día de 2.6 horas y una desviación estándar de 1.9 horas, con un máximo de 5.6 horas y un mínimo de 5 minutos.

La razón de que la máquina cosechadora trabajara el 53.8 % del tiempo total del turno laboral se debe al mantenimiento correctivo que se llevaba a cabo diariamente, principalmente por rompimiento de mangueras donde circula el aceite hidráulico. Los lapsos de sustitución de dichas mangueras o tiempo de mantenimiento correctivo eran largos debido a la falta de refacciones, falta de herramienta para retirar las piezas rotas, e incorrecta coordinación del personal a cargo, variaba de 15 minutos, si se contaba con la refacción, a 5.6 horas. Las mangueras del aceite hidráulico se rompían cuando hacían sobreesfuerzos, era más común al procesar árboles mayores a 40 cm de diámetro normal. También se puede atribuir a que el cabezal de la cosechadora de este estudio está diseñado para procesar coníferas, por lo tanto su resistencia es menor con la madera de eucalipto, ya que la madera es de mayor densidad en comparación con las coníferas. En el mercado sólo existen dos cabezales diseñados especialmente para eucalipto que son el cabezal SP 591LX y el cabezal Valmet 378 (Figura 9.3), la diferencia que hay con los rodillos de otras marcas es que estos son más angostos y se encuentran alineados para dar rotación al árbol y sea descortezado con mayor eficiencia (SP Maskiner, 2008a y VALMET, 2007). El resto de las marcas hacen adaptaciones para cosecha de madera de eucalipto.

Otra de las causas probables del rompimiento de las mangueras se puede deber a la incorrecta manipulación del operador, ya que no fue capacitado para la operación de este tipo de maquinaria.

Sin embargo, considerando las ocho horas efectivas de trabajo programadas para una cosechadora forestal, con los datos obtenidos, este cabezal trabajaba al 75.9 % de su capacidad. Lo que indica que se encuentra dentro del rango productivo aceptable (Brinker

et al., 2002). Pero para que una cosechadora forestal sea rentable debe de trabajar mínimo dos turnos de ocho horas productivas.



**Figura 9.3. Cabezal VALMET 378 para cosecha de plantaciones de eucalipto
(Valmet, 2007)**

En general la cosechadora no contaba con un programa de mantenimiento preventivo. El mantenimiento preventivo en promedio es de 12 min/día, sólo se hacían actividades básicas como, aplicación de aceite a la cadena y a la bomba de la sierra, limpieza de barra de la sierra, ajuste de mangueras y engrasado de rodillos.

El mantenimiento de rutina es mínimo representa el 1.6 % del total de las actividades, antes del inicio de la cosecha en cada turno laboral se checaba el nivel de hidráulico y se purgaba para que mandara presión al momento de la operación.

El desajuste de cadena fue de 13.7 segundos en promedio por día, representa el 0.9 %, esto se puede atribuir a una cadena agrandada por sobrecalentamiento, también a una barra deforme.

Los periodos de enfriamiento de la cosechadora empezaron a hacerse en el periodo caluroso, ya que el aceite hidráulico se sobrecalentaba a niveles más elevados.

La excavadora usada en esta empresa para cosecha está diseñada para construcción, donde el flujo de hidráulico es mínimo a diferencia de la cosecha en plantaciones, en monte se encuentra en constante movimiento y la rotación de aceite hidráulico es más continua, por esta razón se generaba sobrecalentamiento que fue más notorio con las altas temperaturas del medio ambiente.

Además, esta excavadora 320 por el fin de uso para el que fue creada sólo cuenta con un radiador que se encarga de enfriar los niveles de hidráulico, en cambio, las excavadoras forestales tienen un sistema de enfriamiento más eficiente contando con doble radiador.

Por lo anterior se puede atribuir el sobrecalentamiento de hidráulico por la falta de otro radiador, pero también puede ser por falta de limpieza del sistema de ventilación, que se puede realizar con agua a presión¹.

El afilado representa el 2.2 % del tiempo total laboral de los nueve días analizados, en promedio por día el afilado es de 22 minutos, con una desviación estándar de 2.1 minutos, el afilado se hacía manualmente (Figura 9.4). En mediciones previas que se realizaron para definir la metodología de toma de datos en campo, se encontró que el afilado fue de dos a cuatro veces por turno laboral, lo que implicaba aproximadamente una hora de afilado.

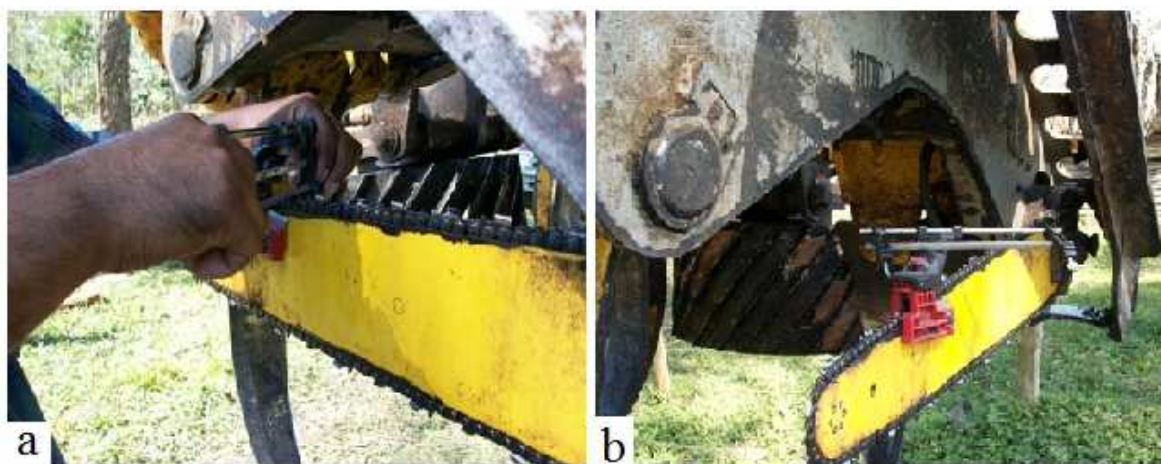


Figura 9.4. a) Afilado manual de la sierra de la cosechadora y b) Lima y guía de afilado.

¹ Consulta personal con Jorge Brizzio, contratista de cosecha forestal en Uruguay, empresa RITROK, 2009.

Generalmente la máquina cosechadora no caminaba largas distancias sólo realizaba movimientos básicos durante la cosecha y transporte del patio de maquinaria a la zona de cosecha.

9.2. Tiempos del ciclo de cosecha

De los nueve días muestreados se obtuvieron 47 horas de cosecha de la máquina, que equivalen a la cosecha de 2554 árboles, que comprende movimiento, limpieza, posición, derribo, manipulación, descortezado-desrame y troceo.

En promedio el equipo cosecha 21 m^3 por hora, con un máximo de 28.7 m^3 y un mínimo de 14.4 m^3 . Aproximadamente son procesados 69 árboles en promedio por hora, con un máximo de 87 y mínima de 42 árboles por hora.

Se troceaba a 2.50 metros, tales trozas presentaban un diámetro de 25.3 cm en promedio, con una desviación estándar de 6.7 cm. El volumen de cada troza fue de 0.30 m^3 , con una desviación estándar de 0.23 m^3 . Aproximadamente un árbol tuvo de dos a diez trozas.

En promedio un ciclo de cosecha tuvo una duración de 49 segundos, con una desviación estándar de 21.7 segundos. La cual es muy variable ya que está en función de los siguientes factores:

Tamaño del arbolado (Volumen), bifurcaciones, árboles torcidos, árboles secos y espaciamiento mayor a tres metros entre un árbol y otro.

En el Cuadro 9.2, se señala el promedio de cada actividad del ciclo de cosecha, la actividad que emplea mayor tiempo es el troceo en promedio es de 16.7 segundos con una desviación estándar de 8.3 segundos, el descortezado-desrame es de 13.10 segundos con una desviación estándar de 7.01 segundos. La actividad que consume menor tiempo es la manipulación con 2.99 segundos en promedio, con una desviación estándar de 3.48 segundos. Todas las actividades en cada ciclo se repiten, excepto la limpieza, debido a que esta es intermitente solo se presentaba cuando había obstrucción por lianas, arbustos y árboles secos. A pesar de eso los tiempos aun son elevados con respecto a lo reportado por Hartsoguh & Cooper (1999), como se observa en el Cuadro 9.3.

Cuadro 9.2. Promedio de tiempo de cada actividad que compone el ciclo de cosecha

Actividad	Promedio (s)	Desviación estándar (s)
Movimiento	8.48	10.49
Limpieza	9.13	6.48
Posicionamiento	3.32	1.76
Derribo	4.52	3.04
Manipulación	2.99	3.48
Descortezado y desrame	13.10	7.01
Troceo	16.79	8.31
Ciclo de cosecha*	49.00	21.71

Fuente: Elaboración propia.

* En pocos ciclos se presenta la limpieza, por tanto el promedio menor.

Cuadro 9.3. Comparación del procesamiento de eucalipto de la cosechadora

Actividad	Tiempo en ele estudio (s)	Tiempo reportado por Hartsoguh & Cooper, 1999 (s)	Diferencia (s) (% respecto al estudio)
Limpieza	9.13	5.52	- 3.61 (-40%)
Posicionamiento y Derribo	7.84	8.16	0.32 (4%)
Procesamiento	32.88	23.04	- 9.84 (-30%)

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 9.5 se observa que el troceo y el descortezado-desrame emplean el mayor porcentaje de tiempo del ciclo de producción, troceo con 29 % y descortezado-desrame con 22 %. El tiempo de posición, derribo y manipulación es mínimo.

Aunque el movimiento de la cosechadora represente solo el 14 % del tiempo total del ciclo, el operador no hacía el derribo de árboles uniformemente, ya que no se guiaba por las líneas de árboles, la cosecha se hacía de forma desordenada, lo que implicaba mayor movimiento para ir de un árbol a otro y repercutía posteriormente en la extracción ya que no había zona de circulación abierta para los tractores.

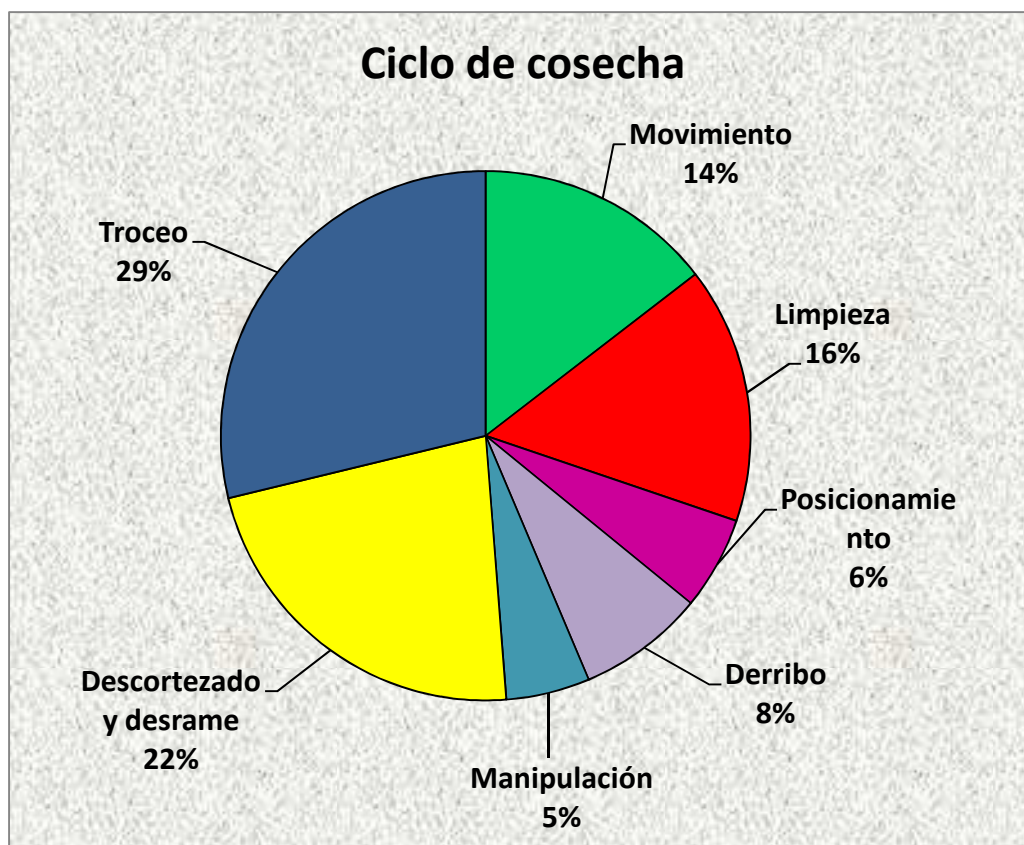


Figura 9.5. Porcentaje promedio de tiempo empleado por la cosechadora por cada actividad del ciclo de cosecha

A pesar de que en la plantación no estén bien definidas las hileras del arbolado el operador debe trabajar en una sola dirección en calles, generalmente de 14 a 18 metros, dos veces el alcance de la grúa, debe ir disponiendo de los residuos de corta en la calle para que sirva de colchón a su paso y al de la máquina que hará la extracción (Figura 9.6).

La limpieza era muy variable no se presentaba en todos los ciclos de cosecha, algunas zonas de los predios se encontraban libres de obstáculos y otras tenían malezas, árboles caídos y arbustos.

El posicionamiento representa el 6 % del tiempo total, esta actividad se realizó en 3.32 segundos en promedio.

En el descortezado y desrame no se eliminaba completamente la corteza, se puede deber a que el tipo de cabezal está diseñado para coníferas, como ya se había mencionado en

párrafos anteriores. El descortezado-desrame representa el 22 % del total del ciclo y el troceo representa el 29 %.

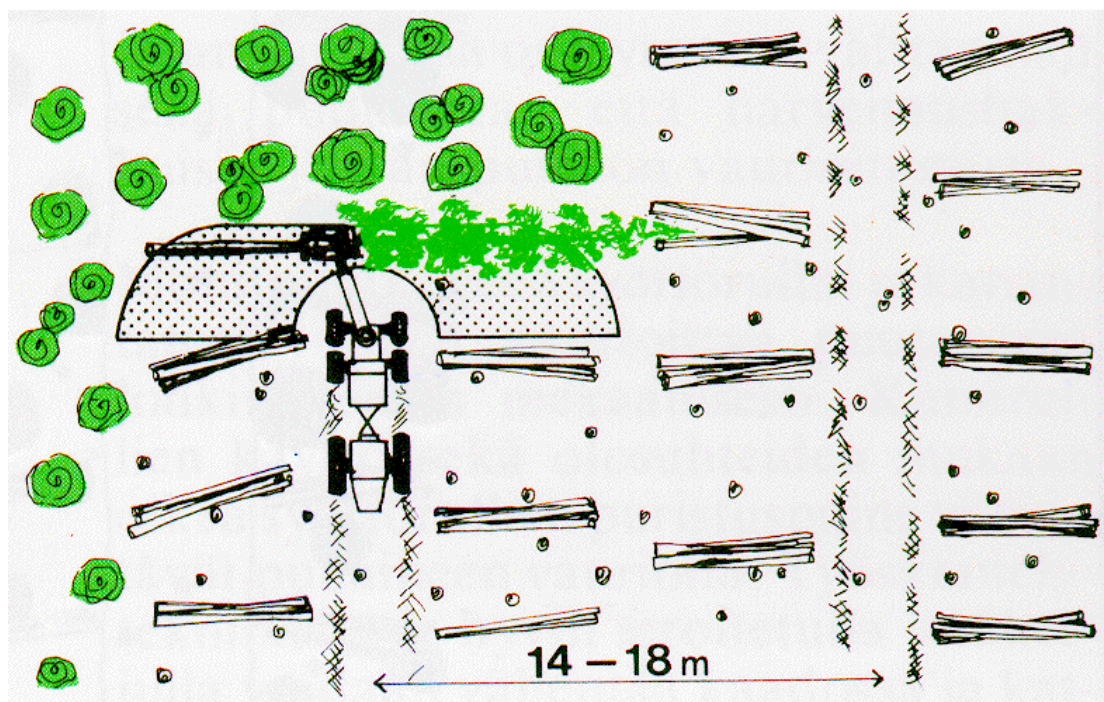


Figura 9.6. Corta mecanizada mediante cosechadora forestal (Pulkki, s/f).

9.3. Tiempos improductivos

La probabilidad de que ocurra cada tiempo improductivo se muestra en el Cuadro 9.4. El TI4 (la sierra no corta al troceo) presenta la probabilidad más elevada de que ocurra durante la cosecha, es de 26.19 % La actividad que le sigue es TI5 (la sierra no corta al derribo) con una probabilidad de que ocurra de 6.62%. El resto de las actividades tienen una probabilidad de ocurrencia menor a 3 %.

El tiempo improductivo TI1 (descortezado de desechos) es causado por incorrecta manipulación del operario, ya que depende del criterio del operador del tipo de trozas que descortez, en esta actividad descortez madera muy delgada que no cumple con la longitud comercial requerida.

El TI2 (soltar árbol derribado), se presentaba de forma inevitable cuando había árboles bifurcados ya que se tenía que dividir el tronco en dos piezas para ser procesado. También el cabezal soltaba los árboles de manera injustificada, lo que se puede deber a

una aplicación elevada de presión por parte del operador hacia los rodillos y cuchillas de descortezado-desrame, que son los aditamentos que sostienen el árbol, y por precaución los seguros hidráulicos son soltados de manera automática, este es un mecanismo que presentan todos los cabezales cosechadores.

El TI3 (corte de base astillada del árbol) ocurría por falta de filo en la sierra, durante el derribo no cortaba completamente el árbol, por el propio peso de este se rompía la franja que faltaba de aserrar.

El TI4 (la sierra no corta al troceo) y TI5 (la sierra no corta al derribo) estas acciones se presentaban frecuentemente en los ciclos por falta de filo en la sierra.

El TI7 (dificultad al posicionar el cabezal para el derribo) esta acción se presenta por mal entrenamiento del operador.

Cuadro 9.4. Probabilidad de que ocurran las actividades improductivas en función de cada 100 árboles derribados

Tiempo improductivo	Probabilidad
	(%)
TI1	1.17
TI2	1.76
TI3	2.43
TI4	26.19
TI5	6.62
TI6	1.61
TI7	0.27
TI8	2.70

En el Cuadro 9.5 se presenta el promedio de las actividades improductivas del ciclo de cosecha el TI7 (no puede acomodar el cabezal) es la actividad que absorbe mayor tiempo con una desviación estándar mayor. En promedio por día en la cosecha se consumían 14.89 minutos en estas actividades, con una desviación estándar de 6.67 minutos.

Cuadro 9.5. Actividades improductivas del ciclo de cosecha con el tiempo promedio de los días muestreados en segundos y la desviación estándar.

Tiempo improductivo	Promedio (s)	Desviación estándar (s)
TI1	4.89	3.88
TI2	10.39	5.65
TI3	4.52	2.92
TI4	5.64	12.10
TI5	7.98	7.17
TI6	14.60	14.49
TI7	29.16	53.24
TI8	12.38	9.36

En los ciclos de producción de las 47 horas muestreadas se obtuvo un total de 1092 repeticiones de las actividades improductivas, de las cuales se muestra el porcentaje de repetición en relación al total en la Figura 9.7. Donde TI4 y TI5 son las actividades que corresponden a desafilado de la sierra, tienen el índice más alto de repetición durante los ciclos de cosecha y TI7 (dificultad al posicionar el cabezal para el derribo) es la actividad que menos se repite.

De las 47 horas que se muestrearon del ciclo de producción en total 1 h 7 min 53 s son de tiempo improductivo. En la Figura 9.8 se muestra el porcentaje de tiempo de cada actividad en relación al tiempo total improductivo, se observa que TI4 absorbe el 49.2 % que es aproximadamente una hora y TI5 representa el 17.6 %. Pero ya en tiempo real de trabajo TI4 representa por jornada laboral en promedio 6.9 minutos con una desviación estándar de 3.8 minutos y TI5 representa en promedio por día 2.4 minutos con una desviación estándar de un minuto. Sin embargo, estas actividades son las que más repercuten en el proceso como se ha venido observado en los cuadros y figuras, por lo tanto el incorrecto afilado del operador y el trabajar con la sierra desafilada es un punto al que se le debe poner más atención.

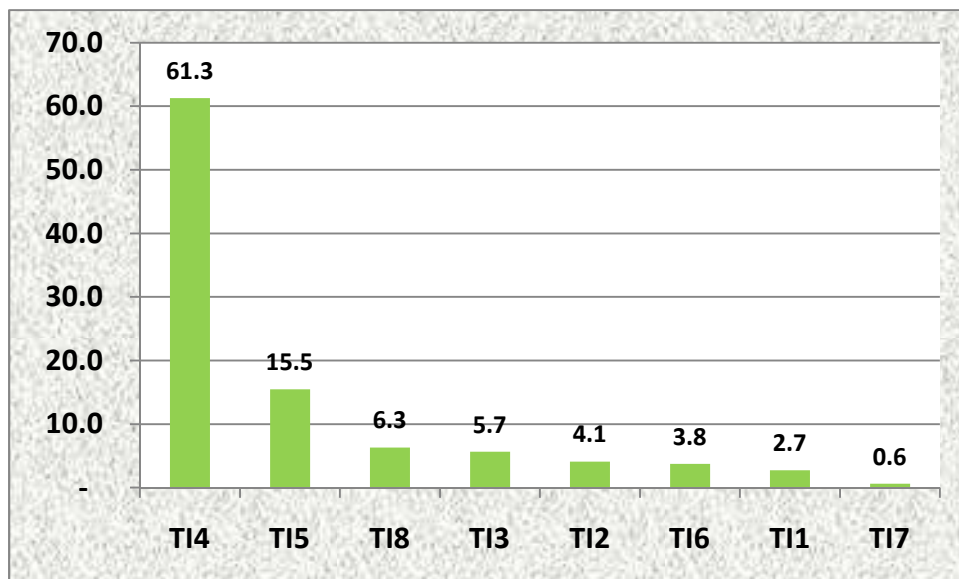


Figura 9.7. Porcentaje de repeticiones de cada actividad improductiva de las 47 horas muestreadas del ciclo de cosecha.

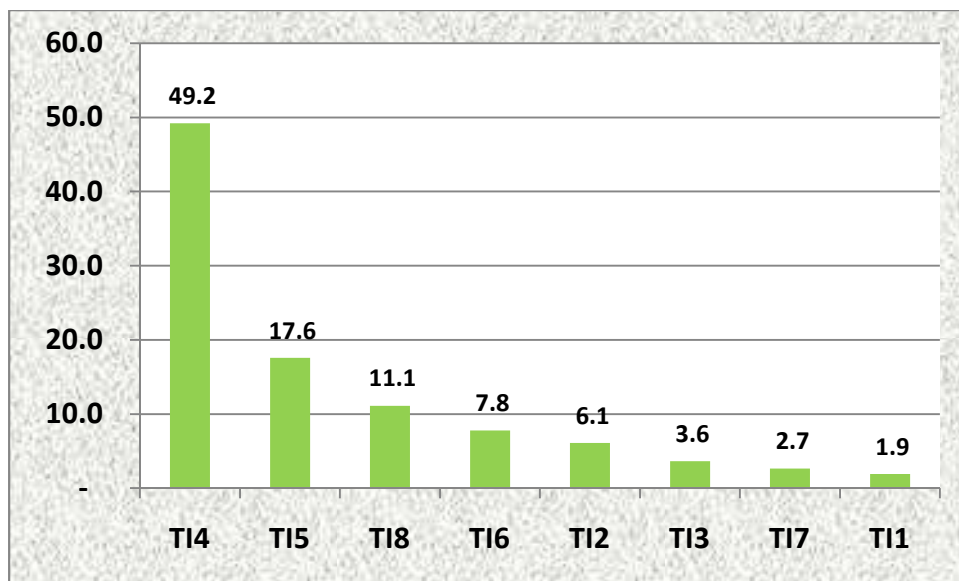


Figura 9.8. Porcentaje del tiempo total de cada actividad improductiva de las 47 horas muestreadas.

9.4. Análisis de productividad

En los Cuadros 9.6 y 9.7 la relación de productividad es mayor con el tamaño del árbol en m^3 que con el diámetro de la base en cm, ya que las r^2 son más elevadas para el primer caso. Aunque el tiempo improductivo por jordana laboral fue mínima, cuando la información se analiza sin considerar tales tiempos la r^2 es más elevada y al incluir los TI la r^2 de los modelos disminuye.

Por lo tanto se aceptó el modelo de regresión de la forma $y=a + bx+cx^2$, para ambos casos con los TI (Figura 9.9) y sin los TI (Figura 9.10), donde la r^2 es mayor y donde x equivale al tamaño del árbol en m^3 , los otros tres modelos tienen un valor de r^2 bajo y no tienen una tasa decreciente en el tiempo. En los Anexos del 5 al 8 se presenta los resultados del análisis de XLSTAT, del modelo aceptado, donde se usan los datos con TI y sin TI, considerando diámetro de la base y volumen por árbol.

En las gráficas de las Figuras 9.11 y 9.12 se distingue que la productividad en m^3 es mayor a medida que aumenta el volumen del árbol, pero llega a un punto donde la hay un declive porque existe el limitante tecnológico, ya que a un determinado diámetro, el cabezal por el tamaño pequeño que presenta en comparación con el árbol, no tiene la capacidad de derribarlo y procesarlo, o el proceso es más lento.

Cuadro 9.6. Análisis de los modelos de regresión considerando los tiempos improductivos

Modelos de regresión con los tiempos improductivos.	
Modelo X = volumen del árbol en m^3	r^2
$Y= 27.14 x + 12.239$	0.686
$Y= -69.805 x^2+ 77.26 x + 4.0369$	0.7584
$Y= 35.372 x^{0.4533}$	0.7416
$Y= 9.3713 \ln(x) + 32.029$	0.7438
Modelo X = diámetro de la base del árbol en cm	r^2
$Y= 0.7813 x + 0.6471$	0.5704
$Y= 0.0689 x^2 + 4.5475 x - 50.028$	0.647
$Y= 0.7243 x^{1.0314}$	0.5844
$Y= 21.538 \ln(x) - 49.059$	0.5979

Cuadro 9.7. Análisis de los modelos de regresión sin incluir los tiempos improductivos

Modelos de regresión sin tiempos improductivos.	
Modelo X = volumen del árbol en m³	r²
Y= 32.03 x + 12.069	0.7366
Y= -77.276 x ² +87.513x+2.9896	0.805
Y= 39.8x ^{0.4998}	0.7877
Y= 11.03 ln(x)+35.389	0.7943
Modelo X = diámetro de la base del árbol en cm	r²
Y= 0.9113x-1.3326	0.5982
Y= -0.086x ² +5.6125x-64.588	0.6903
Y= 0.563x ^{1.1283}	0.611
Y= 25.167 ln(x)-59.457	0.6293

La razón por la que se haya aceptado el modelo que no incluye los TI, se debe a que son actividades improductivas intrascendentes que se pueden corregir sin dificultad.

En el punto de equilibrio se tiene una utilidad cero, o lo que es igual el costo es igual al ingreso, y evaluando con el precio que se paga por elaboración que es de \$77.40 / m³, el valor en el que se encuentra dicho punto es de 17.8556 m³ / h, lo que significa que cuando se tenga una productividad igual, la utilidad será cero, y si es mayor se tendrá una utilidad, mientras que si es menor se tendrán pérdidas en la operación del equipo.

Partiendo del modelo de regresión lineal obtenido para la productividad en relación al tamaño del árbol que considera los tiempos improductivos, el objetivo es encontrar el tamaño del árbol (x), al cual se obtiene la productividad de 17.8556 m³/h (Y).

$$y = -69.805 x^2 + 77.26x + 4.0369$$

$$\text{Donde } y = 17.8556$$

$$17.8556 = -69.805x^2 + 77.26x + 4.0369$$

$$-69.805x^2 + 77.26x = 17.8556 - 4.0369$$

$$-69.805x^2 + 77.26x - 13.8187 = 0$$

$$x = \frac{-77.26 \pm \sqrt{77.26^2 - 4(-69.805)(-13.8187)}}{2(-69.805)}$$

$$x_1 = 0.2243$$

$$x_2 = 0.8825$$

Para este caso los valores de x_1 y x_2 representan el punto mínimo y punto máximo (0.2243 m³ y 0.8825 m³) de volumen en m³ que deben tener los árboles para que la utilidad sea igual a cero.

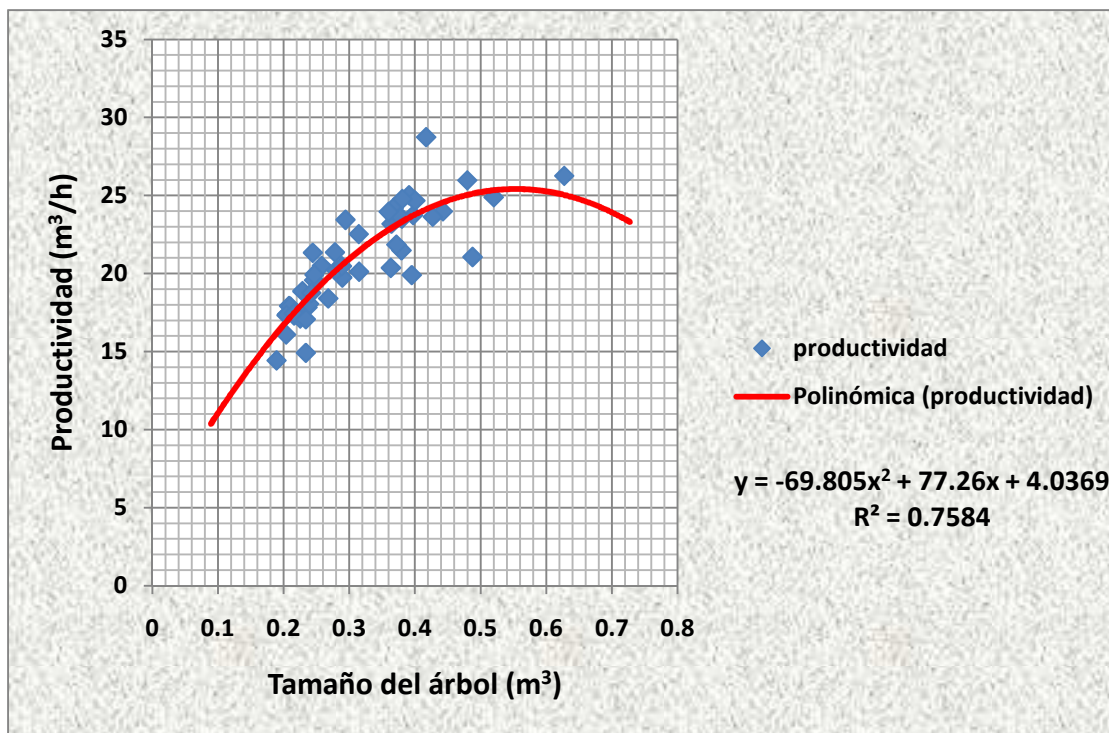


Figura 9.9. Modelo aceptado de productividad de la forma $y=a+bx+cx^2$, que incluye los TI.

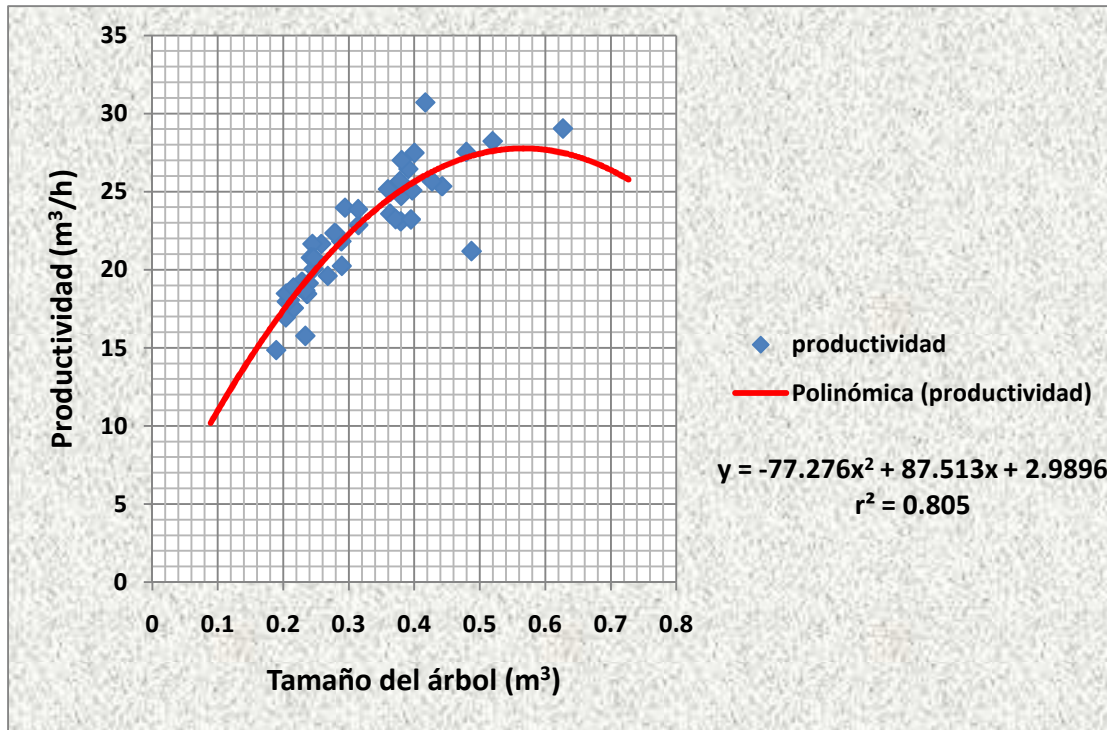


Figura 9.10. Modelo aceptado de productividad de la forma $y=a+bx+cx^2$, que no considera los TI, nótese que presenta una r^2 más elevada.

Modelo de regresión elaborado sin incluir los tiempos improductivos:

$$y = -77.276x^2 + 87.513x + 2.9896$$

$$\text{Donde } y = 17.8556$$

$$17.8556 = -77.276x^2 + 87.513x + 2.9896$$

$$-77.276x^2 + 87.513x - 14.8660 = 0$$

$$x = \frac{-87.513 \pm \sqrt{87.513^2 - 4(-77.276)(-14.8660)}}{2(-77.276)}$$

$$x_1 = 0.2081$$

$$x_2 = 0.9244$$

Para esta ecuación la envergadura entre el punto máximo y el mínimo de volumen del árbol, para que la utilidad sea igual a cero, es mayor, esto se le atribuye a que no se consideran los tiempos improductivos.

Para conocer el máximo de volumen de arbolado donde se obtendrá la mayor productividad, se evalúan las condiciones de primer y segundo orden:

Condición de primer orden:

$$y' = \frac{dy}{dx} = 0$$

Condición de segundo orden:

$$y'' = \frac{d^2y}{dx} < 0$$

Condición de primer y segundo orden del modelo con tiempos TI:

$$\frac{dy}{dx} = -139.61 x + 77.26 = 0$$

$$x^* = \frac{77.26}{139.61} = 0.5534 \quad y'' = -139.61 < 0$$

Para este caso el tamaño del arbolado en volumen donde se obtiene la mayor productividad es de 0.5534 m³.

Condición de primer y según orden del modelo sin tiempos TI:

$$\frac{dy}{dx} = -154.552 x + 87.513 = 0$$

$$x^* = \frac{87.513}{154.552} = 0.56627 \quad y'' = -154.552 < 0$$

El promedio del tamaño del arbolado para obtener la mayor productividad es de 0.56627 m³

Con el volumen del arbolado para ambas situaciones de producción se obtuvo el volumen máximo de elaboración en metros cúbicos por hora con base en los volúmenes óptimos del arbolado obtenidos anteriormente.

Donde:

$$y = \text{productividad (m}^3/\text{hora)}$$

$$x = \text{tamaño del árbol (m}^3\text{)}$$

Para determinar la productividad máxima se sustituye x^* en la función Y, considerando tiempos productivos e improductivos.

$$y^* = f(x^*)$$

Para la primera ecuación, que incluye TI: $y_1^* = 25.4147$

Para la segunda ecuación, que no considera TI: $y_2^* = 27.7661$.

Este contexto se resume en las Figuras 9.11 y 9.12, donde el precio por metro cúbico se mantiene estable y lo representa la línea recta, cuando se tiene una utilidad elevada el costo tiende a bajar, cuando la utilidad es baja el costo por metro cúbico aumenta.

En la Figura 9.8 se considera el precio de la madera de \$77.40/m³, la utilidad máxima se obtiene cuando hay árboles de 0.5534 m³, con una productividad de 25.4147 m³/hora. En la curva de utilidad se aprecia el volumen máximo y el volumen mínimo donde la utilidad es igual a cero.

En la Figura 9.9 la utilidad máxima se obtiene cuando hay árboles con un volumen promedio de 0.56627 m³, con una productividad de 27.7661 m³/hora.

En resumen en las Figuras 9.11 y 9.12 se señala que al inicio de la curva de utilidad y la curva de costo, la utilidad disminuye y el costo aumenta porque se requieren un mayor número de árboles para obtener un cierto volumen por hora, aumentando el número de operaciones y labores necesarias en el proceso.

Al final de la curva de utilidad y la curva de costo, la utilidad disminuye y el costo aumenta, ya que la cosecha es más lenta y la máquina hace sobreesfuerzos al procesar árboles grandes que sobrepasan su capacidad de manipulación.

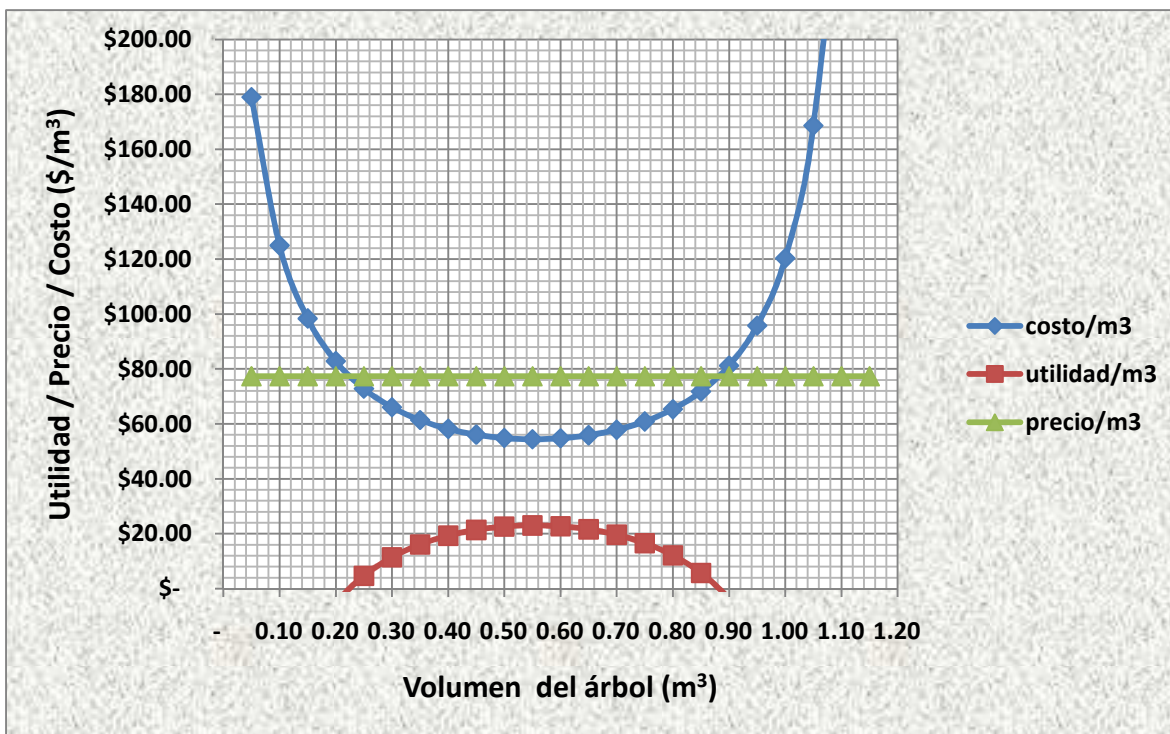


Figura 9.11. Gráfica de comportamiento del costo en relación a la productividad, para el caso de cosecha considerando tiempos improductivos (TI).

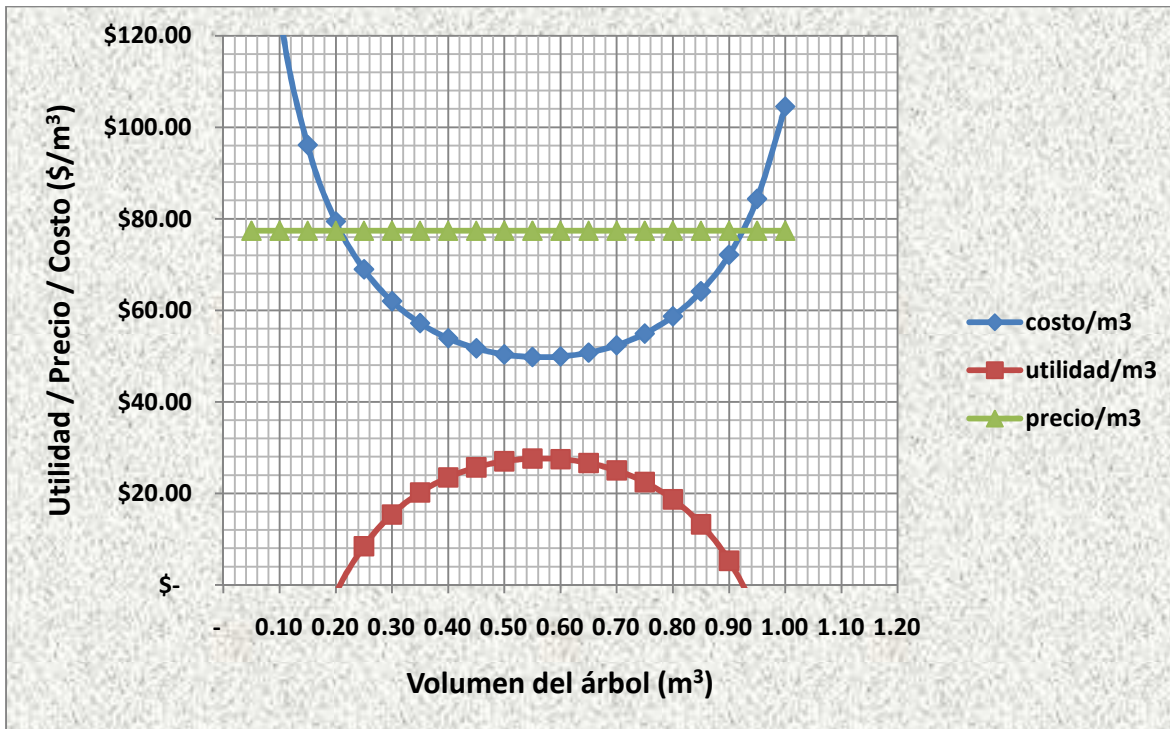


Figura 9.12. Gráfico de comportamiento del costo en relación a la productividad, para el caso de cosecha sin incluir los tiempos improductivos (TI).

9.5. Análisis de costos

Para el análisis de costos se consideraron los factores mostrados en el Cuadro 9.8, se le asignó una vida útil a la cosechadora de cinco años, ya que debe ser de 10 000 horas de trabajo. El valor de rescate del precio de compra es del 20 % y el ritmo de utilización de acuerdo a la información obtenida en tiempos y movimientos es de 75.9 %.

En el Cuadro 9.8, se muestra la información de costeo usada para el cálculo del costo producción por metro cúbico.

Cuadro 9.8. Factores de costeo considerados para el análisis de la cosechadora

Factor de costeo	Kesla
Información de costo de la máquina	
Precio de compra (P), \$	4,140,000.00
Poder de salida de la máquina, Kw	120.00
Vida de la máquina (n), años	5.00
Valor de rescate (sv), % del precio de compra	20.00
Ritmo de utilización de las máquinas (ut), %SMH	75.90
Costo de reparación y mantenimiento (rm), % de capital sobre la vida	110.00
Tasa de interés (in), % de la media anual de inversión (Y)	8.00
Tasa de impuestos y seguros (it), % de la inversión media anual (Y)	7.00
Tasa de consumo de combustible (fcr), l/h	22.00
Costo de combustible (fc), \$/l	8.24
Tasa de consumo de lubricantes y aceites (ocr), l/h	1.22
Costo de lubricante y aceites (lo), \$/l	32.96
Salario del operador (w), \$/SMH	41.74
Horas máquina programadas (SMH), h/año	2,300.00
Valor de rescate (S), \$	828,000.00
Depreciación anual (D) en \$/año, $D = [(P - S)/n]$	662,400.00
Inversión media anual (Y) en \$/año, $Y = [(((P - S) \times (n + 1))/2n) + S]$	2,649,600.00
Horas máquina productivas (PMH) en h/año, $PMH = (SMH \times u)$	1,745.70
Costos de propiedad	
Interés sobre el capital (I) en \$/año, $I = (in \times Y)$	211,968.00

Costos de impuestos y seguros (IT) en \$/año, $IT = (it \times Y)$	185,472.00
Costos anuales de propiedad (F) en \$/año, $F = (D + I + IT)$	1,059,840.00
Costos de propiedad por SMH (Os) en \$, $Os = (F/SMH)$	460.80
Costos de propiedad por PMH (Op) en \$, $Op = (F/PMH)$	607.11
Costos de operación	
Costos de combustible (Fu) en \$/PMH, $Fu = (fcr \times fc)$	181.28
Costos de lubricante (L) en \$/PMH, $L = (ocr \times lo)$	40.21
Costos de reparación y mantenimiento (RM) en \$/PMH, $RM = [rm \times P/(PMH \times n)]$	521.74
Costos del operador (Opc) en \$/PMH, $Opc = (W/u)$	31.68
Costos de operación de la máquina por PMH (Vp) en \$/PMH, $Vp = (Fu + L + RM + Opc)$	774.91
Costos de operación de la máquina por SMH (Vs) en \$/SMH, $Vs = (Vp \times ut)$	588.16
Costos totales	
Costo total de la máquina por SMH en \$/SMH, $TCS = (Os + Vs)$	1,048.96
Costo total de la máquina por PMH en \$/PMH, $TCP = (Op + Vp)$	1,382.02
Evaluación Económica	
Precio (Pr) en \$	77.40
Punto de equilibrio de PMH (PEPMH) en m ³ , $PEPMH = (TCP / Pr)$	17.8556
Punto de equilibrio de SMH (PESMH) en m ³ , $PESMH = (TCS / Pr)$	13.5524

Fuente: Elaboración propia

Costo mínimo real con tiempos improductivos (TI)

De acuerdo a los datos de análisis de productividad para obtener el costo mínimo se divide el costo total de la máquina por horas máquina programadas entre la máxima productividad.

$$Costo\ mínimo/m^3 = \frac{1382.02}{25.4147} = \$54.378$$

$$utilidad = \$77.40 - \$54.378 = \$23.022$$

Por lo tanto el costo de producción por metro cúbico es de \$54.378 y si el precio que se paga por procesado es de 77.40/m³, se obtiene una utilidad por metro cúbico de \$23.022.

Costo mínimo potencial, sin tiempos improductivos (TI)

Para este caso el costo mínimo es el siguiente:

$$Costo = \frac{\text{mínimo}}{m^3} = \frac{1382.02}{27.7661} = \$49.773$$

Por lo tanto el costo de producción por metro cúbico es de \$49.773 y considerando el precio que se paga por procesado de cada metro cúbico, la utilidad por metro es de \$27.627.

Al determinar el costo sin lo tiempos TI, la utilidad aumenta 20 %.

La diferencia que existe entre la utilidad con TI y la utilidad sin TI es de \$4.605 por metro cúbico, considerando que en promedio se cosechan 21 m³ por hora y considerando las ocho horas programadas de cosecha, existe una perdida por turno de \$773.64.

Comparación de la cosecha de eucalipto entre con cosechadora y motosierra

El estudio de tiempos y movimientos de cosecha con motosierra se obtuvo de un trabajo que se realizó en plantaciones de eucalipto de REXCEL en el municipio de las Choapas, Veracruz y en Huimanguillo, Tabasco en 1999, con tres modelos de motosierra Husqvarna, Jonsered 2065 y Jonsered 2054 (Martínez y Ferreira, 1999).

Para la cosecha con motosierra se necesita una brigada de dos personas, el motosierrista y su ayudante, este último se encarga de eliminar la maleza existente y auxiliar al motosierrista durante el derribo con la cuña y el marro.

Considerando derribo, troceo, desrame y desplazamiento el tiempo promedio de estas actividades se presentan en el Cuadro 9.9.

Cuadro 9.9. Tiempo en segundos para el proceso de cosecha

Motosierra	Total	Derribo	Troceo	Desrame	Desplazamiento
Husqvarna	232.9	16.1	38.9	134.5	43.3
Jonsered 2065	168.4	24.4	27.7	86.6	29.7
Jonsered 2054	213.2	30.2	39.6	101.5	41.9

Fuente: Martínez y Ferreira, 1999.

En cuanto al descortezado este se realiza una vez que la trocería se encuentra en el patio de almacenamiento, el tiempo promedio de descortezado es de 448 segundos/troza, las trozas descortezadas tuvieron un volumen promedio de 0.0226 m³. Por lo tanto para descortezar 1 m³ de madera se requieren 5.5 horas.

Considerando los tiempos expuestos en el Cuadro 9.9, la producción diaria por modelo de motosierra se presentan en el Cuadro 9.10.

Cuadro 9.10. Productividad por modelo de motosierra y del descortezado manual y requerimientos de personal para igualar la productividad de la cosechadora forestal

Modelo de motosierra o actividad	Productividad en m ³ /turno de 8 horas	Requisitos de personal para igualar la productividad de la cosechadora forestal
J-2054	11.9624	16.3
J-2065	16.5442	11.8
Husqvarna	13.0677	14.9
Descortezado	1.4529	67.0

Considerando el promedio del tamaño del arbolado del estudio de Martínez y Ferreira (1999), que es de 0.0967 m³, se tiene que la producción en un turno de ocho horas de la cosechadora es 97.3127 m³, lo que significa que se requieren en promedio 81 personas en un turno para poder igualar la capacidad productiva de la cosechadora.

10. CONCLUSIONES

En general la productividad con el sistema de cosechadora forestal, depende del sitio y los factores operativos tales como condiciones del terreno, la motivación y habilidad del operador, el tamaño de las ramas, el diseño operativo, el tamaño del árbol, la forma del árbol, el número de árboles comerciales y no comerciales por unidad de área, la distancia de traslado, la densidad de la maleza y el diseño de la máquina.

Considerando las ocho horas programadas de cosecha, la cosechadora forestal trabaja al 75.9% de su capacidad. Del total de actividades que se realizan durante el turno laboral el 53.8% pertenece a la cosecha, el 21 % corresponde al mantenimiento correctivo, principalmente por roturas de mangueras de aceite hidráulico, el tiempo de sustitución de las mangueras es considerable ya que no se cuenta con refacciones y la logística para conseguir este material es desorganizada.

En el proceso de cosecha se identificaron ocho tiempos improductivos ocasionados por técnica incorrecta de cosecha del operador, se le puede atribuir a que no fue capacitado para esta actividad.

El operador de la cosechadora no realiza el corte del arbolado en calles, se hace de manera desordenada, lo que origina retrasos al realizar mayor movimiento al ir de un árbol a otro.

La última etapa del ciclo de procesamiento de cada árbol es el apilado, el cual no se hace, las trozas se van dejando de forma desordenada, lo que dificulta la extracción y el cargado de las trozas hacia las carretas.

Se obtiene una utilidad mayor cuando no se consideran los tiempos improductivos, 20 % más que con los TI.

La productividad con la cosechadora por hora hombre es 80 veces mayor para el procesamiento de madera de eucalipto descortezada, el descortezado manual hace que se eleve el requerimiento de personal, debido a la baja productividad.

Haciendo una comparación entre lo que reportado por Hartsough & Cooper (1999) respecto al procesamiento con cosechador forestal de eucalipto en Nueva Zelanda, se tiene que en la operación de Posicionamiento y Derribo es similar en la operación evaluada, ya que se tiene una variación mínima, mientras que la Limpieza y el

Procesamiento se tiene una gran diferencia negativa, ya que resulta menos efectivo, tal como se muestra en el Cuadro 9.3.

11. RECOMENDACIONES

Se debe capacitar al operador en técnicas del trabajo en cosecha, para que no dificulte el proceso de extracción, evite los tiempos improductivos (TI) y se obtenga una mayor utilidad.

Es preciso que el afilado sea mecanizado, ya que para cosecha mecanizada la sierra tiene un ángulo específico de corte y revoluciona mucho más rápido que una motosierra común, como el operador realiza el afilado manualmente puede ser que no lo realice correctamente y la sierra se desgaste más rápido. De ahí se derivan los tiempos improductivos TI4 y TI5 que corresponden al desafilado de sierra.

El inventario de refacciones es prioritario principalmente mangueras, para evitar retrasar la cosecha.

También si el sobrecalentamiento de la máquina se debe a que el radiador no cumple totalmente su función, se recomienda la instalación de otro. Ya que un solo radiador no transmite la energía suficiente para enfriar el aceite hidráulico, el flujo de hidráulico en una excavadora de uso tradicional en construcción es menor que en una cosechadora forestal ya que es más constante en esta última.

Para este caso el contratista también se encargaba de la extracción de la madera, para esta operación se recomienda el uso de un Forwarder de 20 toneladas de capacidad, para que los servicios del contratista le resulten rentables.

12. BIBLIOGRAFÍA CITADA

- Akay, A. E. y J. Sessions. 2004. Identifying the Factors Influencing the Cost of Mechanized Harvesting Equipment. *Journal of Science and Engineering* 7 (2): 65-72.
- Aracena, P., D. Aedo y R. Landeros. 2007. Balanceo de un sistema de cosecha mecanizado utilizando simulación de eventos discretos. *Ciência florestal* 17 (4): 389-398.
- Bigot, Maryse y E. Cuchet. s/f. Mechanized harvesting system for hardwoods. International Union of Forest Research Organizations. 10 p. Disponible: <http://www.google.com.mx/url?sa=t&source=web&cd=1&ved=0CBkQFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.iufro.org%2Fdownload%2Ffile%2F1465%2F1605%2F01-harvesting-system-conf.pdf%2F&rct=j&q=Mechanized+harvesting+system+for+hardwoods&ei=y28STJOgJpDcNaTw1OML&usg=AFQjCNGZN5OLCD4Js4xuZm8ilHdWxbReA> (12 de Ferbero de 2010)
- Brinker, R. W., J. Kinard, B. Rummer y B. Lanford. 2002. Machine Rates for Selected Forest Machines. Alabama: Auburn University. U.S.A. 32 p.
- Brizzio, J. 2009. Heavy metal rocks Uruguay. *Revista International Forest Industries* (10): 12-15.
- Caterpillar. 2009. Caterpillar 320 FM Máquina Forestal. Caterpillar. EE.UU. 20 p.
- Caterpillar. 2005. Caterpillar 320 D / 320 D L Hydraulic Excavator. Caterpillar. U.S.A. 24 p.
- Chiang, A. C. y K. Wainwright. 2006. Métodos fundamentales de economía matemática. McGrawHill. México. 688 p.
- Cochran, W. G. 1971. Técnicas de Muestreo. CECSA. México. 507 p.
- CONAFOR. 2001. Programa Estratégico Forestal para México. Comisión Nacional Forestal. México. 191 p. Disponible: http://www.conafor.gob.mx/portal/docs/subsecciones/normateca/PEF_2025.pdf. (12 de Febrero de 2010).

- Cordero, R., O. Mardones y M. Marticorena. 2006. Evaluation of Forestry Machinery Performance in Harvesting Operations Using GPS Technology. Department of Forest and Wood Science at Stellenbosch University. Disponible: <http://academic.sun.ac.za/forestry/precision/papers/16.pdf> (06 de Marzo de 2010)
- Diario Oficial de la Federación (DOF). 2008. Acuerdo por el que se establecen las Reglas de Operación del Programa ProArbol 2009. SEMARNAT. México. 31 de diciembre de 2008. Disponible: <http://www.sma.df.gob.mx/corena/descargas/proarbol/reglas2009.pdf>. (12 de Febrero de 2010)
- González, R. A. s/f. Primeras Jornadas del Mes Forestal Entre Rios - Aprovechamiento de las Reforestaciones. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Disponible: <http://www.inta.gov.ar/concordia/info/Forestales/contenido/pdf/1986/04-1986-04.pdf> (6 de Marzo de 2010)
- Hartsough, B. R. y D. J. Cooper. 1999. Cut-to-length harvesting of short rotation eucalyptus. Forest Products Journal 49 (10): 69-75.
- Heikkilä, T. A. s/f. El curso de tractorista, tractor agrícola en uso forestal. http://www.rainfor.com/FOREST%20CONSULTANT_files/tractorcurso.pdf. (7 de Marzo de 2010).
- Holtzcher, M. L. y B. L. Lanford. 1997. Tree diameter effects on cost and productivity of cut-to-length systems. Forest Products Journal 47 (3): 25-30.
- Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía (IDAE). 2007. Biomasa - Maquinaria Agrícola y Forestal. IDAE. España. 36 p.
- Jiroušek, R., R. Klvač y A. Skoupý. 2007. Productivity and costs of the mechanized cut-to-length wood harvesting system in clear-felling operations. Journal of Forest Science 53 (10): 476-482.
- Kesla. 2008. KESLA Harvester Heads. KESLA. Finland. 12 p.
- Lileng, J. 2007. Harvester and forwarder in steep terrain. Skog og landskap. Disponible: http://www.skogoglandskap.no/filearchive/2007_3rdfec_jornlileng.pdf (8 de Marzo de 2010))

- Martínez S., G. y F. Ferreira D. 1999. Estudio de tiempos y movimientos en operaciones de cosecha en plantaciones de *eucalyptus grandis* de 4.7 años de edad en las Choapas, Veracruz, México. Planfosur S de R L de C V. México. 12 p.
- McCormack, B., B. Kerruish, J. Reid, E. Antilla y M. Stewart. 2000. Harvesting Tree on Farms. Forest Technology Program - CSIRO & University of Melbourne. U.S.A. 65 p.
- Monreal R., S. 2008. Nuevas tecnologías aplicables a la cosecha de plantaciones forestales comerciales. Revista Forestal XXI. 11 (4): 24-25.
- FAO. 2007. Tendencias y perspectivas del sector forestal en América Latina y el Caribe. Estudios FAO Montes 148. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Organización. Roma. 178 p.
- FAO y SEMARNAT. 2004. Estudio de tendencias y perspectivas del sector forestal en América Latina al año 2020: Informe Nacional México. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Organización y Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales de México. Roma. 86 p.
- Parker, R. y S. Bowers. 2006. The Woodland Workbook EC1582 - Timber harvesting options for woodland owners. Oregon State University - Extension Service. U.S.A. 7 p. Disponible: <http://extension.oregonstate.edu/catalog/pdf/ec/ec1582.pdf>. (7 de Marzo de 2010).
- Ponsse. 2008. Video: The World of PONSSE. PONSSE. Finland.
- Ponsse, 2009. Linea de productos. PONSSE. Finland. 36p.
- Pulkki, R. s/f. Harvester in final fellings. Lakehead University, Ontario, Canadá. Disponible: <http://flash.lakeheadu.ca/~repulkki/for3234/Harvesters.pdf> (12 de Diciembre de 2008)
- Russell, F. y D. Mortimer. 2005. A review of small-scale harvesting systems in use worldwide and their potential application in Irish forest. COFORD, National Council for Forest Research and Development. Disponible: http://www.woodenergy.ie/iopen24/pub/59_smallscaleharvesting.pdf (7 de Marzo de 2010)

- Sánchez V., A., A. Palma T. y V. Sánchez F. 2005. La situación del subsector forestal en México ante el TLCAN; retos u oportunidades 10 años después. Reporte de Investigación 76. Universidad Autónoma Chapingo – Centro de Investigaciones Económicas, Sociales y Tecnológicas de la Agroindustria y la Agricultura Mundial (CIESTAAM). México. 59 p.
- Sánchez V., A. y R. M. García N. 2008. La situación del subsector forestal en México ante el TLCAN; retos u oportunidades 10 años después. *In*: Ávila D., J. A., A. Puyana y J. Romero (Editores): Presente y futuro de los sectores ganadero, forestal y de la pesca mexicanos en el contexto del TLCAN. El Colegio de México y Universidad Autónoma Chapingo. México. pp. 303-367.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). 2009. Anuario Estadístico de la Producción Forestal 2005. SEMARNAT. México. 234 p. Disponible:
<http://www.semarnat.gob.mx/gestionambiental/forestalysuelos/Anuarios/Anuario%202005%20FINAL%2031-julio-2009.pdf>. (12 de Febrero de 2010).
- SP Maskiner. 2008. SP 451 LF a big little harvester head. SP Maskiner. Sweden. 10 p.
- SP Maskiner. 2008a. SP 591 LX Central de potencia de alta velocidad para trabajos extremos. SP Maskiner. Suecia. 10 p.
- SP Maskiner. 2008b. SP 761 LF raw power and IQ Combined. SP Maskiner. Sweden. 10 p.
- Thor, M. 2008. Productivity just continues to rise. News From Skogforsk. (1): 3.
- Tigercat. 2008. Tigercat Pocket Product Guide. TIGERCAT. Canadá. 110 p.
- Tolosana, E., V. González, y S. Vignote. 2004. El aprovechamiento maderero. Fundación Donde del Valle de Sañazar y Mundi-Prensa. España. 628 p.
- Väätäinen, K., H. Liiri y D. Röser. 2006. Cost-competitiveness of harwarders in CTL-logging conditions in Finland - a discrete-event simulation study. The Department of Forest and Wood Science at Stellenbosch University. Disponible:
<http://academic.sun.ac.za/forestry/precision/papers/41.pdf> (7 de Marzo de 2010).
- Valmet. 2007. Guia de productos. Komatsu. U.S.A. 36 p.

- Visser R., R. Spinelli, J. Saathof y S. Fairbrother. 2009. Finding the 'Sweet-Spot' of Mechanized Felling Machines. University of Canterbury. Disponible: http://ir.canterbury.ac.nz/bitstream/10092/2620/1/12617461_COFE%20Final%20Harvesting%20Sweet%20Spot%20Visser.pdf (7 de Marzo de 2010)
- Visser, R. y K. Stampfer. 2003. Tree-Length System Evaluation of Second Thinning in a Loblolly Pine Plantation. International Union of Forest Research Organizations. Disponible: www.iufro.org/download/file/1469/1605/04-visser-stampfer.pdf (6 de Marzo de 2010)
- Zuñiga, I. 2009. Balanza Forestal Comercial 2008. Nota Informativa Número 22. Red de Monitoreo de Políticas Públicas – Consejo Civil Mexicano para la Silvicultura Sostenible A.C. México. 4 p. Disponible: http://www.ccmss.org.mx/documentos/nota_22_balanza_forestal_2008.pdf. (12 de Febrero de 2010).

13. ANEXOS

Anexo 1. Alternativas de cosecha y sus características.

Categorías óptimas	Sistema de extracción de madera a patio								
	Caballos	Tractor agrícola	Tractores de oruga	Arrastrador con ruedas	Excavadoras	Sistemas mecanizados	Sistemas de cable cortos	Sistemas de cable largos	Helicóptero
Tamaño de la madera	Madera corta: generalmente menos de 16 pulgadas, Dn	Madera corta y mediano tamaño: por lo general menos de 20 pulgadas Dn	Los diseños son capaz de manejar todos los tamaños.	Los diseños son capaz de manejar todos los tamaños	Madera larga y corta dependiendo del diseño de la máquina	Madera de tamaño corto y mediano, menor a 30 pulgadas, Dn.	Madera de tamaño corto y mediano, dependiendo del diseño de la máquina	Madera corta y larga dependiendo del diseño de la máquina.	Capaz de manejar todos los diámetros, pero limitado por el peso de la madera.
Topografía	Pendiente del patio suave menor al 5 %	Pendiente del patio suave menor al 5 %	45-55 % de pendiente.	35-45 % de pendiente	35-45 % de pendiente	Hasta 45 % de pendiente.	Inclinación necesaria. Pero adaptados a los terrenos empinados.	Inclinación necesaria. Pero adaptados a los terrenos empinados	No hay límite.
Producción potencial	baja	Baja	Baja a alta	Baja a alta	Media a muy alta	Mediana a alta	Baja a media	Media a alta	Muy alta, pero el clima limita la operación.
Costos de producción	La tarifa por día es bajo,	La tarifa por día es bajo,	bajo a medio en función de	bajo a medio en función de	bajo a medio en función de	bajo a medio en función de	bajo a alta en función de la	Medio a alta, en función de	Los costos por hora muy

	pero las tarifas por el costo por cada mil pies tabla es de tamaño mediano a grande.	pero las tarifas por el costo por cada mil pies tabla es de tamaño mediano a grande	la madera y las condiciones del sitio	la madera y las condiciones del sitio	la madera y las condiciones del sitio	la madera y las condiciones del sitio	madera y las condiciones del sitio	la madera y las condiciones del sitio	altos, pero por la tasa del costo por cada mil pies tabla son aceptables.
Requerimientos para el acceso a caminos	Distancia máxima para el arrastre de 300-500 pies	Distancia máxima para el arrastre de 300-500 pies	Posiblemente hasta 1000 pies; preferentemente menos de 700 pies.	Posiblemente hasta 1000 pies; preferentemente menos de 700 pies.	300-500 pies; posiblemente distancias más largas.	Posiblemente hasta 3000 pies; preferentemente menos de 1500 pies.	Hasta 1500 pies, dependiendo de los límites de diseño de la máquina.	De 1000 a 5000 pies. Dependiendo de los límites de diseño de la máquina.	Distancia limitada solo por los costos por cada mil pies tabla, según lo determinado por la tasa de producción.
Protección de los ríos	Por lo general excelente, con prácticas adecuadas.	Por lo general excelente, con prácticas adecuadas.	Puede ser muy bueno depende de la proximidad a las corrientes y de las prácticas	Puede ser muy bueno depende de la proximidad a las corrientes y de las prácticas	Puede ser muy bueno depende de la proximidad a las corrientes y de las prácticas	Bueno con prácticas adecuadas.	Excelente con prácticas adecuadas. Los cables pueden levantar los troncos a	Excelente con prácticas adecuadas. Los cables pueden levantar los troncos a	Excelente protección

			adecuadas.	adecuadas.	adecuadas.		través de los cuerpos de agua.	través de los cuerpos de agua.	
Sitios perturbado s	Alteración mínima pero puede ser necesario equipo adicional para el trabajo; desembarques pequeños (diámetros menores a 50 pies)	Alteración mínima pero puede ser necesario equipo adicional para el trabajo; desembarques pequeños (diámetros menores a 50 pies)	Perturbación media a alta, potente compactación al suelo; posiblemente daño a la masa residual; desembarques medios (aproximadame nte 75 pies de diámetro)	Perturbación media a alta, potente compactación al suelo; posiblemente daño a la masa residual; desembarques medios (aproximadame nte 75 pies de diámetro)	Perturbación baja a media con practicas correctas;	Perturbación media; pequeña a alta dependiendo del equipo y opciones del sistema; posible daño a la masa residual.	Perturbación mínima a media, con practicas adecuadas; en las cortas parciales se puede dañar la masa residual; desembarques pequeños y medianos.	Posible perturbación mínima a media con practicas correctas; posible desramado manual; puede dañar la masa residual en las cortas parciales. Patios pequeños a medianos.	Perturbación mínima; el desramado manual es un problema. Requiere superficies de 100 pies más 50 pies para el aterrizaje y área de mantenimiento .
Disponibili dad	Pocos, depende del área local.	Común	Comúnmente usado por la mayoría de los contratistas	Comúnmente usado por la mayoría de los contratistas.	Varios contratistas están disponibles.	Varios contratistas están disponibles.	Generalmente disponible, pero la planificación y	El uso es común en el noroeste de Oregón	Pocos contratistas disponibles.

			.				la programación pueden ser importantes para garantizar un contratista		
Capacidad es adicionales		Es de usos agrícolas tradicionales y tiene la capacidad de usos múltiples.	Tractores sobre orugas, también se utilizan para la construcción de carreteras y aterrizajes, la instalación de alcantarillas y desramado	También se pueden usar para el desramado	Se utilizan para construir carreteras y aterrizajes, para el proceso de corte y diversas opciones de excavación.	Generalmente máquinas altamente especializadas , solo aptos para terrenos pronunciados.	Generalmente máquinas altamente especializadas , solo aptos para terrenos pronunciados.	Generalmente máquinas altamente especializadas , solo aptos para terrenos pronunciados.	Los altos costos son un obstáculo para su uso más allá de la cosecha.

Fuente: Parker y Bowers, 2006

Anexo 2. Formato para el registro de tiempos por jornada laboral de la cosechadora forestal.

FECHA: _____ SITUACION ATMOSFERICA: _____

HORA DE INICIO _____ FINAL: _____

OPERADOR _____ OBSERVACIONES: _____

[illegible]

Anexo 3. Formato para el registro de diámetros de trocería por árbol.

Fecha: _____ Hora: _____

[illegible]

Anexo 4. Formato para el registro de los tiempos de procesamiento de cada árbol.

Fecha: _____ Hora: _____

No. árbol	Movimiento	Limpieza	Posiciona miento	Derribo	Manipulación	Descortezado y desrame	Troceo	Observaciones

Anexo 5. Regresión no lineal 1.

XLSTAT 2010.3.03 - Regresión no lineal - el 03/05/2010 a 12:10:42 a.m.
Y / Cuantitativas: Libro = Libro1 / Hoja = Hoja1 / Rango = Hoja1!\$B\$1:\$B\$48 / 47 filas y 1 columna
X / Cuantitativas: Libro = Libro1 / Hoja = Hoja1 / Rango = Hoja1!\$A\$1:\$A\$48 / 47 filas y 1 columna
Condiciones de paro: Iteraciones = 200 / Convergencia = 0.00001
Función: Y = pr1+pr2*X1+pr3*X1^2

Estadísticas descriptivas:

Variable	Observaciones	Obs. con datos perdidos	Obs. sin datos perdidos	Mínimo	Máximo	Media	Desviación típica
productividad	47	0	47	14.434	28.725	20.867	3.261
volumen	47	0	47	0.189	0.627	0.318	0.100

Regresión no lineal de la variable productiva:

Coeficientes de ajuste:	
Observaciones	47.000
GDL	44.000
R ²	0.758
SEC	118.154
MEC	2.685
RMEC	1.639

Parámetros del modelo:

Parámetro	Valor	Desviación típica
pr1	4.037	2.399
pr2	77.260	14.017
pr3	-69.805	19.227

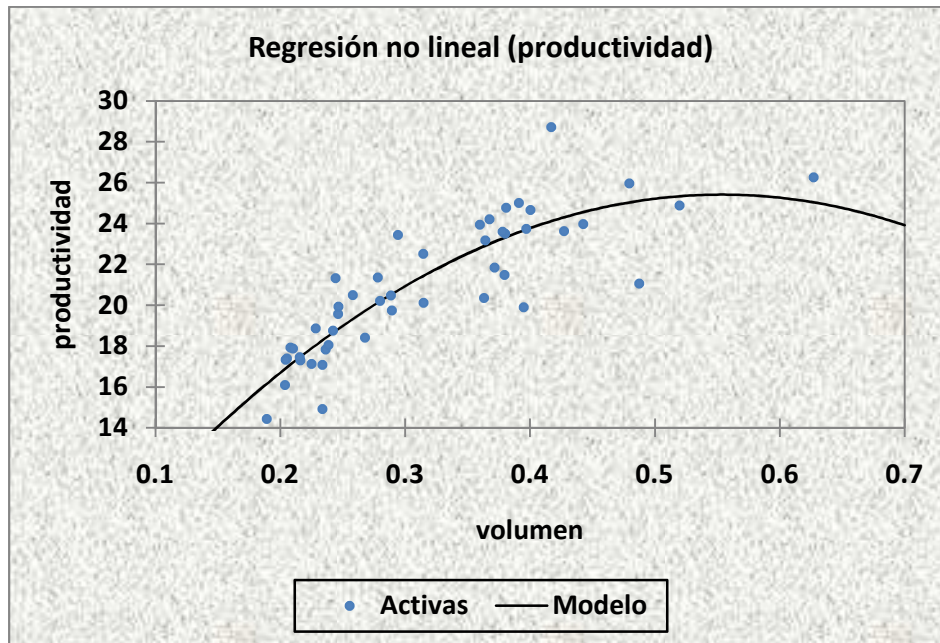
Ecuación del modelo:

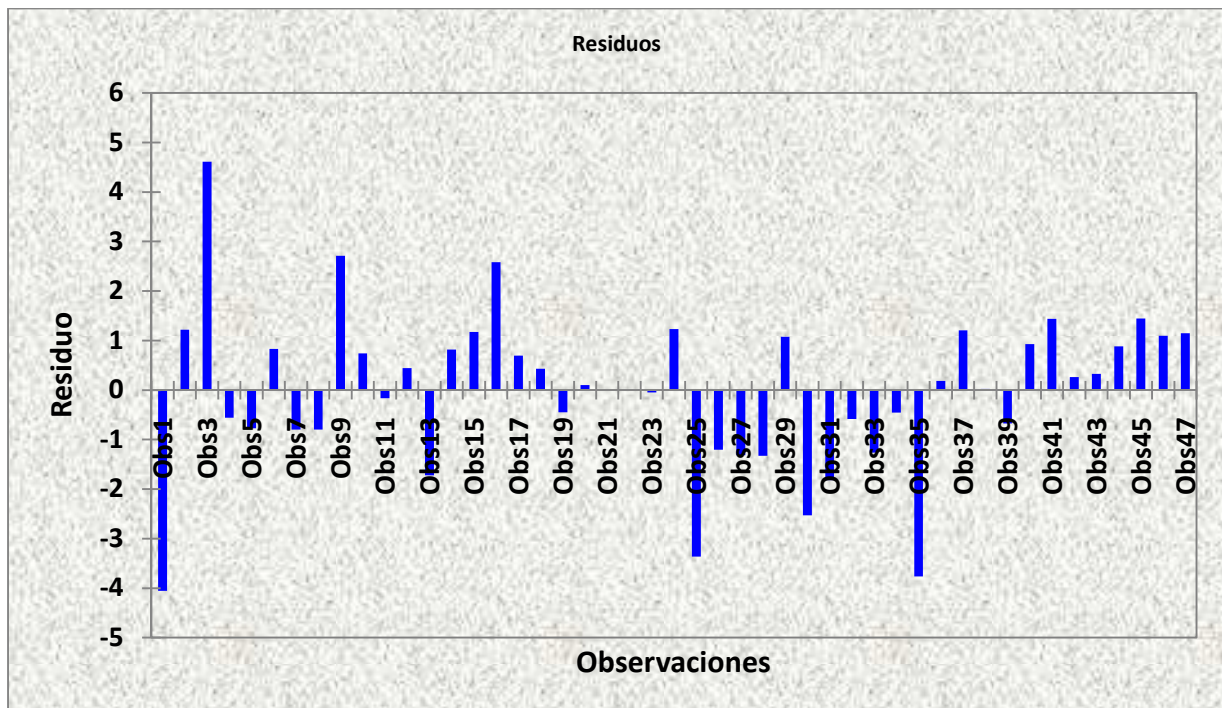
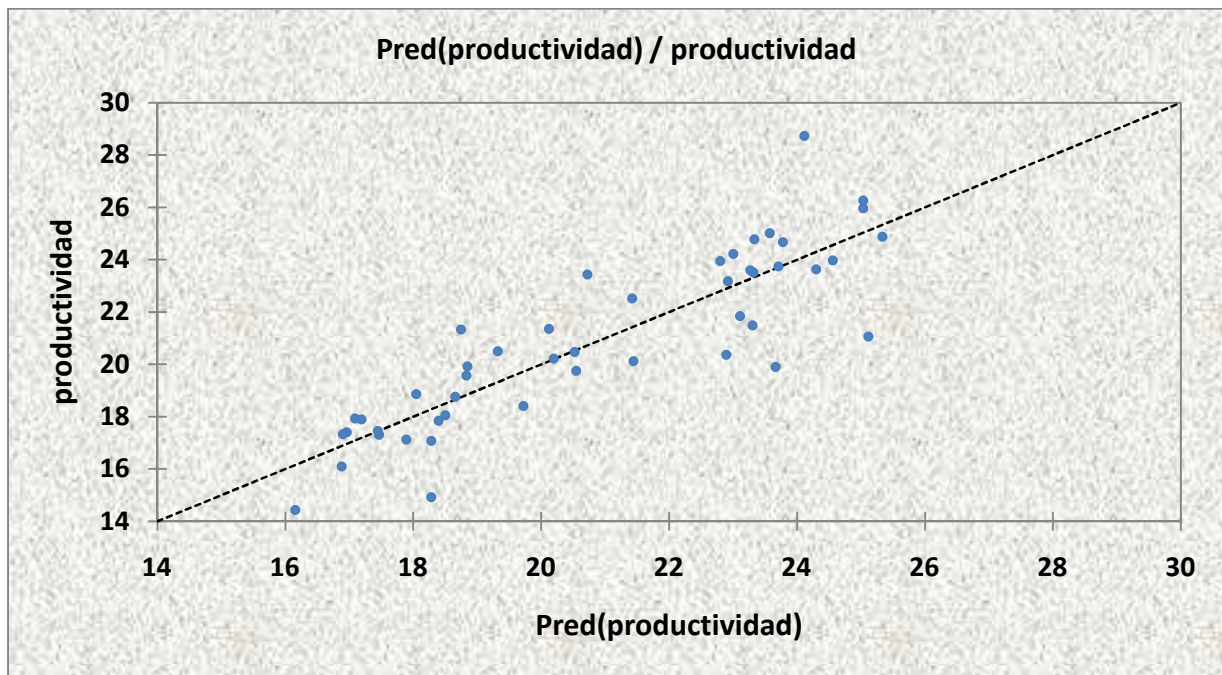
productividad = 4.03691381126291+77.2597438544707*volumen-69.8053976691589*volumen^2

Predicciones y residuos:

Predicciones y residuos:				
Observaciones	volumen	productividad	Pred(productividad)	Residuos
Obs1	0.488	21.055	25.112	-4.057
Obs2	0.627	26.253	25.035	1.218
Obs3	0.417	28.725	24.114	4.611
Obs4	0.236	17.838	18.397	-0.559
Obs5	0.225	17.121	17.891	-0.770
Obs6	0.208	17.923	17.092	0.831
Obs7	0.289	19.745	20.545	-0.800
Obs8	0.204	16.087	16.882	-0.795
Obs9	0.294	23.437	20.723	2.714
Obs10	0.246	19.572	18.832	0.740
Obs11	0.216	17.304	17.467	-0.163
Obs12	0.205	17.402	16.960	0.443
Obs13	0.189	14.434	16.157	-1.722
Obs14	0.228	18.864	18.045	0.819
Obs15	0.258	20.498	19.323	1.175
Obs16	0.244	21.328	18.746	2.582
Obs17	0.210	17.887	17.191	0.697
Obs18	0.204	17.331	16.900	0.431
Obs19	0.239	18.053	18.500	-0.447
Obs20	0.242	18.757	18.655	0.103
Obs21	0.216	17.453	17.446	0.007
Obs22	0.280	20.213	20.195	0.018
Obs23	0.289	20.476	20.523	-0.047
Obs24	0.278	21.355	20.122	1.232
Obs25	0.234	14.922	18.281	-3.359
Obs26	0.234	17.076	18.281	-1.205
Obs27	0.268	18.408	19.723	-1.315
Obs28	0.315	20.114	21.440	-1.327
Obs29	0.247	19.925	18.847	1.079
Obs30	0.363	20.362	22.891	-2.529
Obs31	0.379	21.482	23.303	-1.820
Obs32	0.443	23.973	24.557	-0.584
Obs33	0.372	21.845	23.109	-1.265
Obs34	0.520	24.882	25.336	-0.453
Obs35	0.395	19.899	23.663	-3.763
Obs36	0.380	23.502	23.317	0.184
Obs37	0.368	24.212	23.005	1.207

Obs38	0.397	23.733	23.708	0.025
Obs39	0.427	23.629	24.301	-0.671
Obs40	0.479	25.965	25.033	0.932
Obs41	0.391	25.011	23.573	1.438
Obs42	0.364	23.177	22.917	0.260
Obs43	0.378	23.596	23.266	0.330
Obs44	0.400	24.664	23.778	0.886
Obs45	0.381	24.778	23.333	1.445
Obs46	0.314	22.520	21.425	1.095
Obs47	0.360	23.949	22.798	1.151





Anexo 6. Regresión no lineal 2.

XLSTAT 2010.3.03 - Regresión no lineal - el 03/05/2010 a 12:06:36 a.m.

Y / Cuantitativas: Libro = Libro1 / Hoja = Hoja1 / Rango = Hoja1!\$B\$1:\$B\$48 / 47 filas y 1 columna

X / Cuantitativas: Libro = Libro1 / Hoja = Hoja1 / Rango = Hoja1!\$A\$1:\$A\$48 / 47 filas y 1 columna

Condiciones de paro: Iteraciones = 200 / Convergencia = 0.00001

Función: $Y = pr1 + pr2 * X1 + pr3 * X1^2$

Estadísticas descriptivas

Variable	Observaciones	Obs. con datos perdidos	Obs. sin datos perdidos	Mínimo	Máximo	Media	Desviación típica
productividad	47	0	47	14.434	28.725	20.867	3.261
diámetro	47	0	47	21.266	35.190	25.881	3.152

Regresión no lineal de la variable productividad:

Coeficientes de ajuste:	
Observaciones	47.000
GDL	44.000
R ²	0.647
SEC	172.645
MEC	3.924
RMEC	1.981

Parámetros del modelo:		
Parámetro	Valor	Desviación típica
pr1	-50.028	16.576
pr2	4.548	1.222
pr3	-0.069	0.022

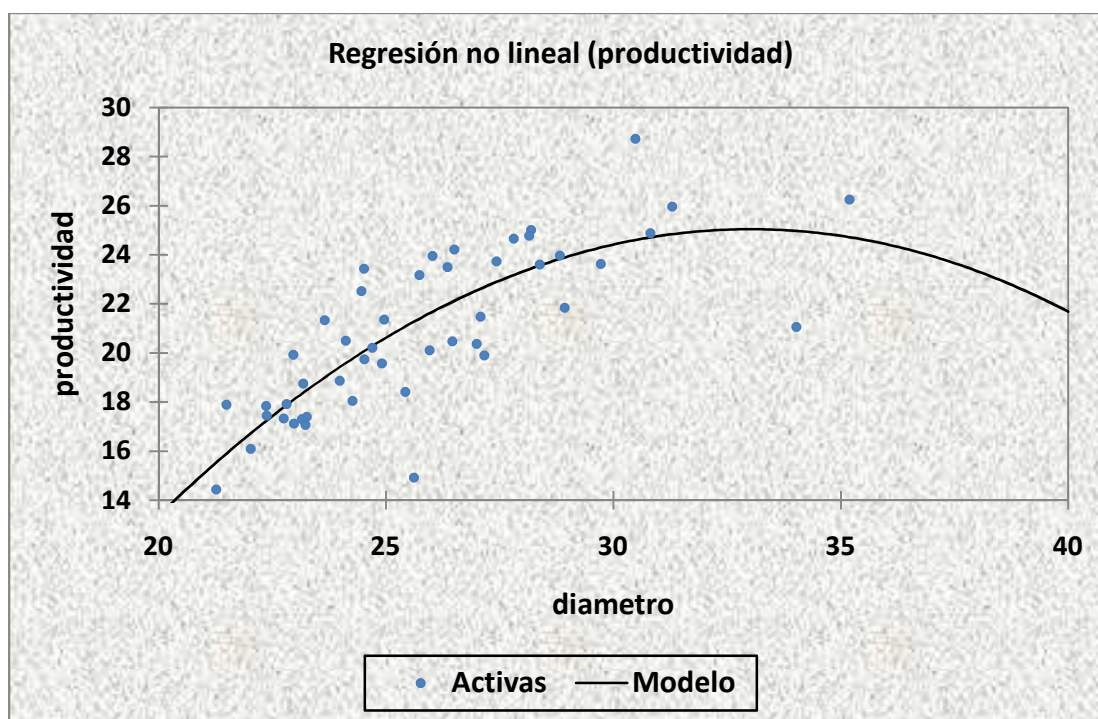
Ecuación del modelo:

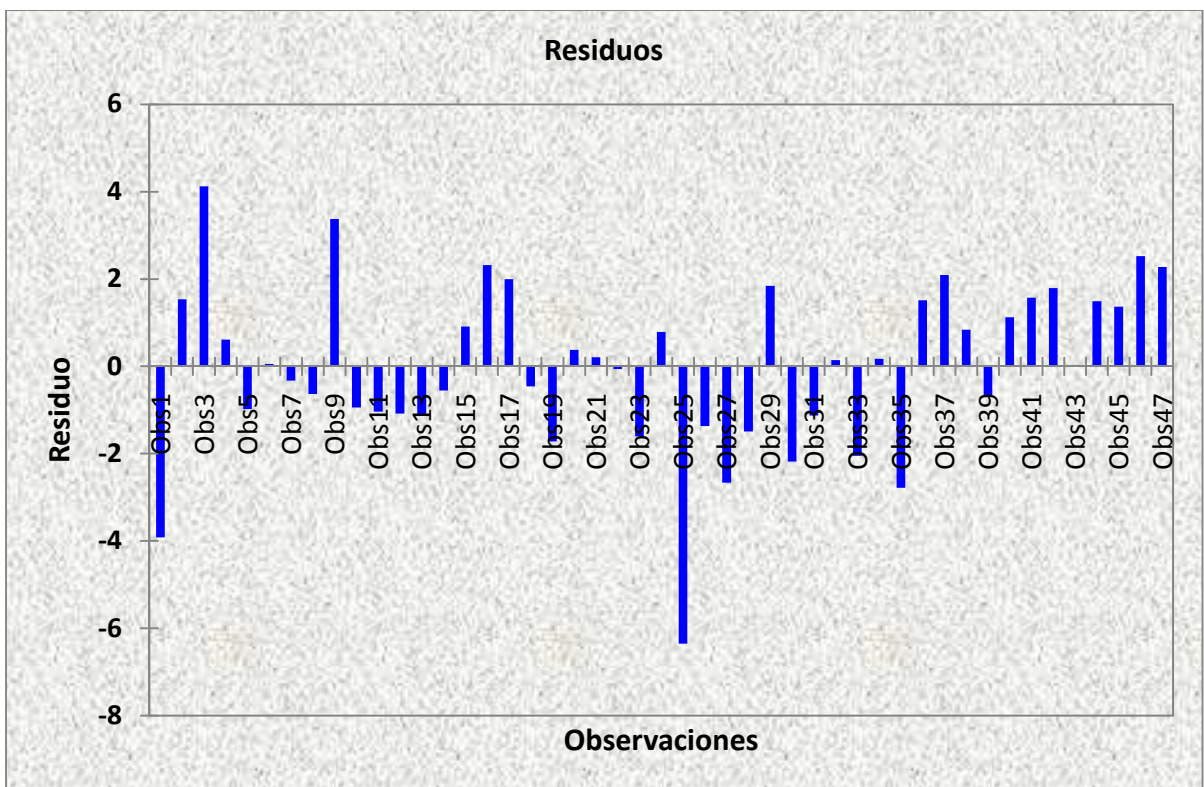
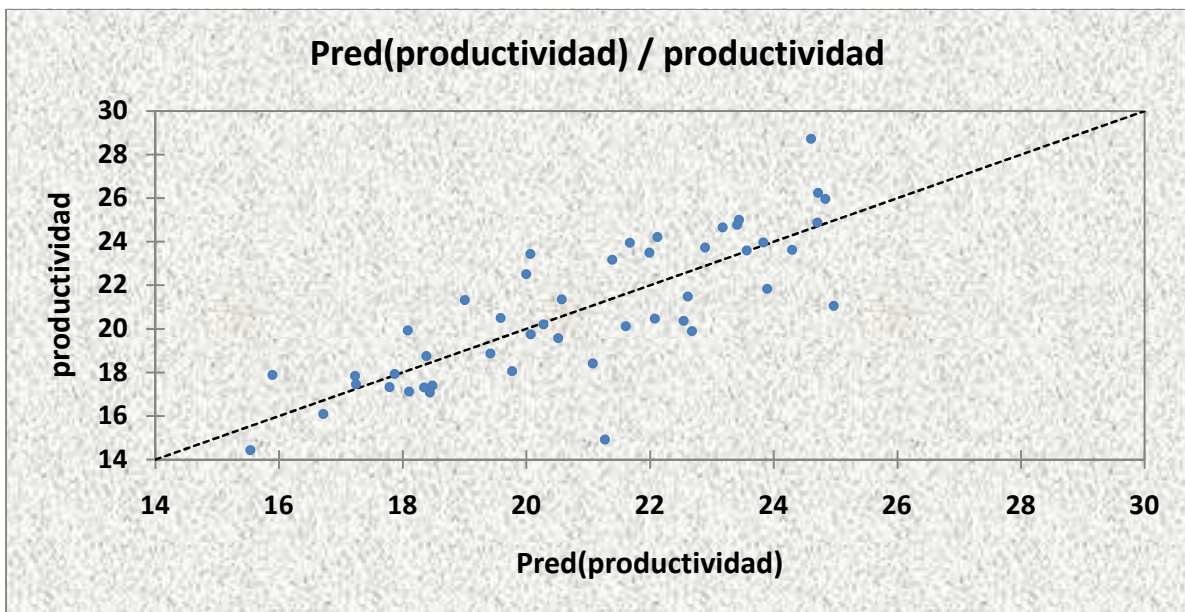
productividad = -50.0280417383785 + 4.5475448917842 * diametro - 6.88693650616391E-02 * diametro^2

Predicciones y residuos:

Observaciones	Diámetro	productividad	Pred(productividad)	Residuos
Obs1	34.024	21.055	24.972	-3.917
Obs2	35.190	26.253	24.717	1.537
Obs3	30.486	28.725	24.601	4.124
Obs4	22.365	17.838	17.229	0.608
Obs5	22.976	17.121	18.101	-0.980
Obs6	22.811	17.923	17.870	0.054
Obs7	24.520	19.745	20.071	-0.326
Obs8	22.022	16.087	16.718	-0.631
Obs9	24.513	23.437	20.063	3.374
Obs10	24.907	19.572	20.514	-0.942
Obs11	23.154	17.304	18.345	-1.041
Obs12	23.254	17.402	18.480	-1.078
Obs13	21.266	14.434	15.535	-1.100
Obs14	23.979	18.864	19.418	-0.554
Obs15	24.114	20.498	19.585	0.913
Obs16	23.653	21.328	19.005	2.322
Obs17	21.489	17.887	15.891	1.996
Obs18	22.753	17.331	17.788	-0.457
Obs19	24.266	18.053	19.769	-1.716
Obs20	23.182	18.757	18.383	0.375
Obs21	22.376	17.453	17.246	0.207
Obs22	24.697	20.213	20.276	-0.063
Obs23	26.455	20.476	22.077	-1.602
Obs24	24.957	21.355	20.570	0.785
Obs25	25.614	14.922	21.269	-6.348
Obs26	23.226	17.076	18.441	-1.365
Obs27	25.425	18.408	21.074	-2.666
Obs28	25.955	20.114	21.609	-1.495
Obs29	22.962	19.925	18.081	1.844
Obs30	26.994	20.362	22.545	-2.183
Obs31	27.074	21.482	22.611	-1.129
Obs32	28.821	23.973	23.831	0.142
Obs33	28.930	21.845	23.893	-2.048
Obs34	30.813	24.882	24.708	0.174
Obs35	27.158	19.899	22.679	-2.780
Obs36	26.355	23.502	21.987	1.515
Obs37	26.498	24.212	22.117	2.095
Obs38	27.427	23.733	22.891	0.842

Obs39	29.724	23.629	24.296	-0.666
Obs40	31.289	25.965	24.837	1.128
Obs41	28.190	25.011	23.438	1.573
Obs42	25.732	23.177	21.388	1.789
Obs43	28.380	23.596	23.562	0.033
Obs44	27.810	24.664	23.176	1.488
Obs45	28.146	24.778	23.409	1.369
Obs46	24.458	22.520	19.998	2.522
Obs47	26.020	23.949	21.672	2.277





Anexo 7. Regresión no lineal 3.

XLSTAT 2010.3.03 - Regresión no lineal - el 03/05/2010 a 12:12:10 a.m.

Y / Cuantitativas: Libro = Libro1 / Hoja = Hoja1 / Rango = Hoja1!\$B\$1:\$B\$48 / 47 filas y 1 columna

X / Cuantitativas: Libro = Libro1 / Hoja = Hoja1 / Rango = Hoja1!\$A\$1:\$A\$48 / 47 filas y 1 columna

Condiciones de paro: Iteraciones = 200 / Convergencia = 0.00001

Función: $Y = pr1 + pr2 * X1 + pr3 * X1^2$

Estadísticas descriptivas:

Variable	Observaciones	Obs. con datos perdidos	Obs. sin datos perdidos	Mínimo	Máximo	Media	Desviación típica
productividad	47	0	47	14.850	30.709	22.252	3.714
volumen	47	0	47	0.189	0.627	0.318	0.100

Regresión no lineal de la variable productividad:

Coeficientes de ajuste:	
Observaciones	47.000
GDL	44.000
R ²	0.805
SEC	123.725
MEC	2.812
RMEC	1.677

Parámetros del modelo:

Parámetro	Valor	Desviación típica
pr1	2.990	2.455
pr2	87.513	14.344
pr3	-77.276	19.675

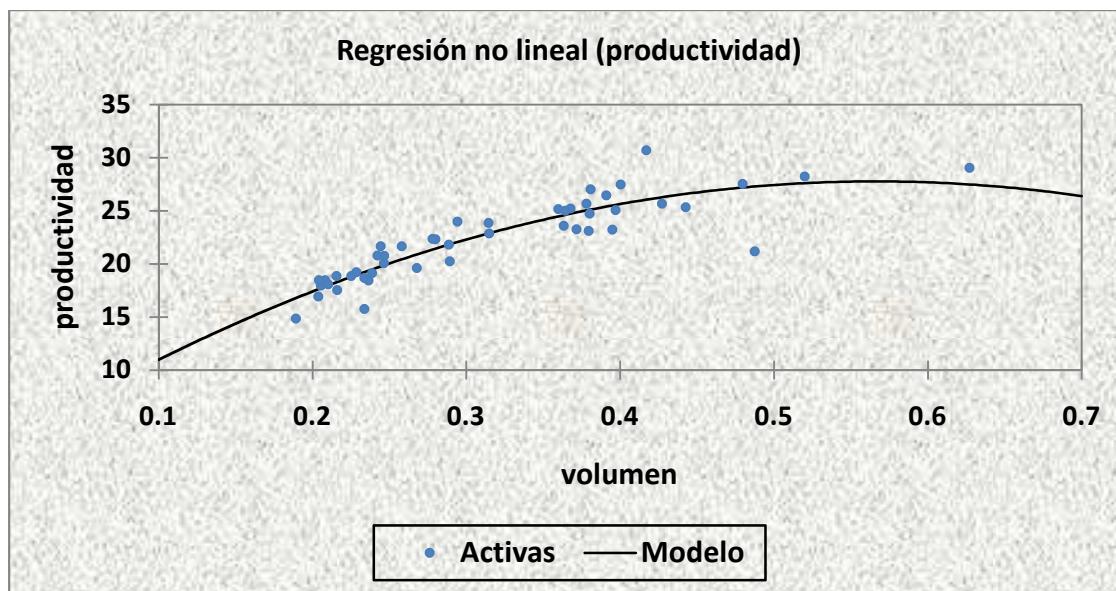
Ecuación del modelo:

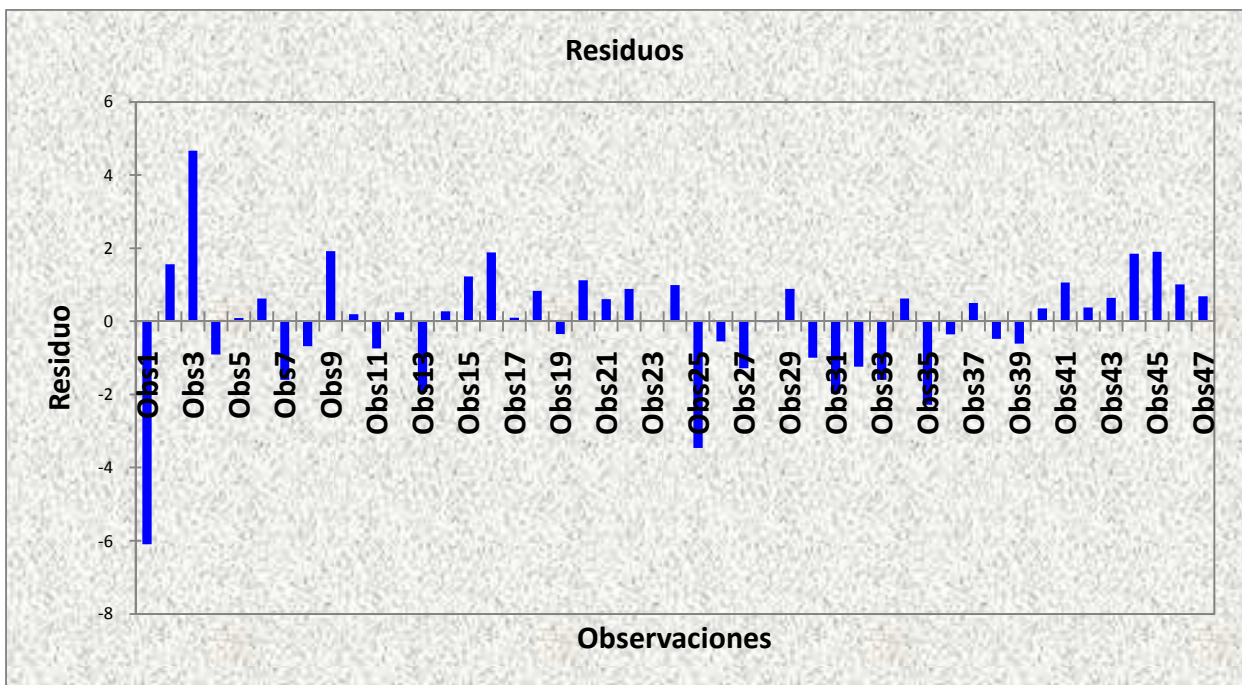
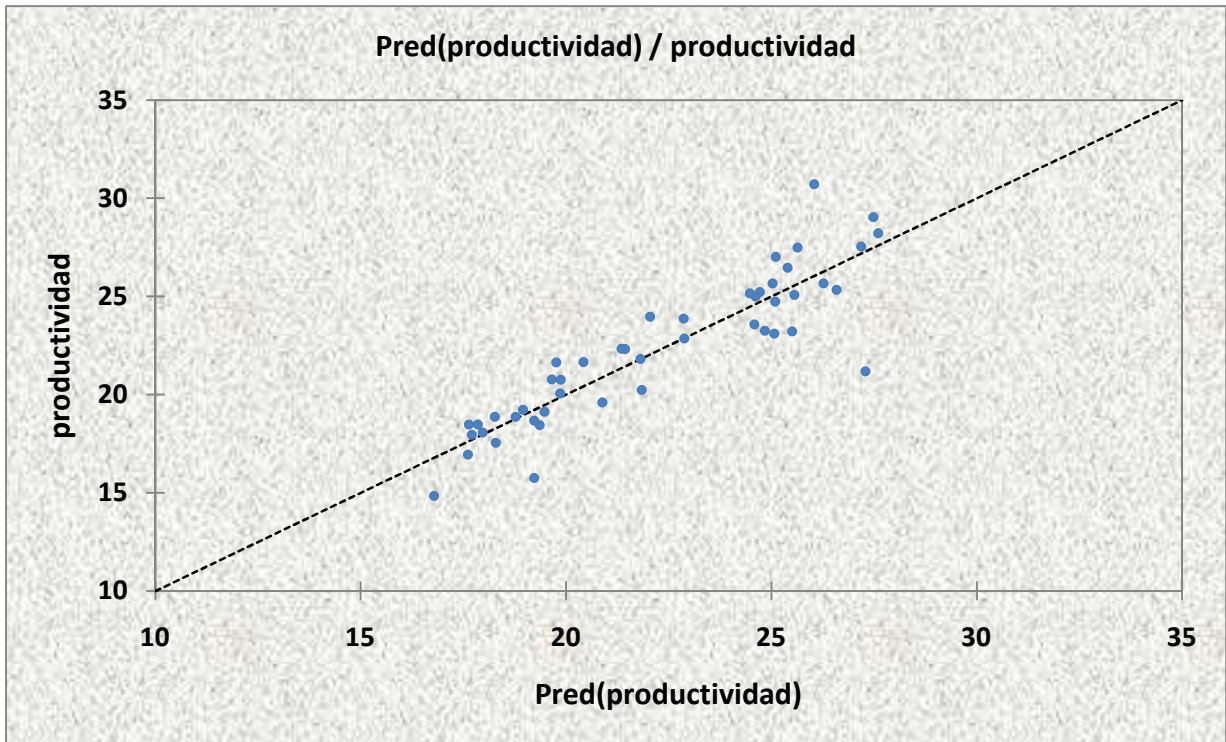
$productividad = 2.98956663032149 + 87.513018101628 * volumen - 77.2759690830412 * volumen^2$

Predicciones y residuos:

Observaciones	volumen	productividad	Pred(productividad)	Residuos
Obs1	0.488	21.187	27.287	-6.100
Obs2	0.627	29.043	27.480	1.564
Obs3	0.417	30.709	26.043	4.667
Obs4	0.236	18.449	19.355	-0.907
Obs5	0.225	18.861	18.774	0.088
Obs6	0.208	18.482	17.855	0.627
Obs7	0.289	20.244	21.838	-1.594
Obs8	0.204	16.938	17.614	-0.676
Obs9	0.294	23.967	22.045	1.922
Obs10	0.246	20.057	19.857	0.200
Obs11	0.216	17.544	18.285	-0.741
Obs12	0.205	17.950	17.703	0.247
Obs13	0.189	14.850	16.782	-1.933
Obs14	0.228	19.223	18.951	0.272
Obs15	0.258	21.653	20.424	1.229
Obs16	0.244	21.646	19.758	1.889
Obs17	0.210	18.067	17.968	0.099
Obs18	0.204	18.473	17.635	0.838
Obs19	0.239	19.129	19.474	-0.345
Obs20	0.242	20.777	19.653	1.124
Obs21	0.216	18.866	18.262	0.605
Obs22	0.280	22.324	21.433	0.891
Obs23	0.289	21.818	21.813	0.005
Obs24	0.278	22.340	21.348	0.992
Obs25	0.234	15.760	19.222	-3.462
Obs26	0.234	18.671	19.222	-0.552
Obs27	0.268	19.599	20.886	-1.287
Obs28	0.315	22.856	22.880	-0.024
Obs29	0.247	20.758	19.874	0.884
Obs30	0.363	23.584	24.582	-0.998
Obs31	0.379	23.097	25.070	-1.973
Obs32	0.443	25.346	26.584	-1.239
Obs33	0.372	23.244	24.841	-1.597
Obs34	0.520	28.226	27.600	0.626

Obs35	0.395	23.221	25.500	-2.279
Obs36	0.380	24.733	25.088	-0.354
Obs37	0.368	25.220	24.717	0.503
Obs38	0.397	25.072	25.554	-0.482
Obs39	0.427	25.660	26.270	-0.610
Obs40	0.479	27.540	27.185	0.356
Obs41	0.391	26.455	25.393	1.063
Obs42	0.364	24.991	24.613	0.378
Obs43	0.378	25.667	25.026	0.640
Obs44	0.400	27.484	25.638	1.846
Obs45	0.381	27.009	25.107	1.902
Obs46	0.314	23.873	22.862	1.011
Obs47	0.360	25.158	24.472	0.686





Anexo 8. Regresión no lineal 4.

XLSTAT 2010.3.03 - Regresión no lineal - el 03/05/2010 a 12:12:41 a.m.
Y / Cuantitativas: Libro = Libro1 / Hoja = Hoja1 / Rango = Hoja1!\$B\$1:\$B\$48 / 47 filas y 1 columna
X / Cuantitativas: Libro = Libro1 / Hoja = Hoja1 / Rango = Hoja1!\$A\$1:\$A\$48 / 47 filas y 1 columna
Condiciones de paro: Iteraciones = 200 / Convergencia = 0.00001
Función: $Y = pr1 + pr2 * X1 + pr3 * X1^2$

Estadísticas descriptivas:

Variable	Observaciones	Obs. con datos perdidos	Obs. sin datos perdidos	Mínimo	Máximo	Media	Desviación típica
productividad	47	0	47	14.850	30.709	22.252	3.714
diametro	47	0	47	21.266	35.190	25.881	3.152

Regresión no lineal de la variable productividad:

Coeficientes de ajuste:	
Observaciones	47.000
GDL	44.000
R ²	0.690
SEC	196.508
MEC	4.466
RMEC	2.113

Parámetros del modelo:		
Parámetro	Valor	Desviación típica
pr1	-64.588	17.684
pr2	5.613	1.304
pr3	-0.086	0.024

Ecuación del modelo:
productividad = -64.5881537431843+5.61254821122906*diametro-8.59666049417774E-02*diametro^2

Predicciones y residuos:

Observaciones	diametro	productividad	Pred(productividad)	Residuos
Obs1	34.024	21.187	26.855	-5.669
Obs2	35.190	29.043	26.462	2.582
Obs3	30.486	30.709	26.619	4.090
Obs4	22.365	18.449	17.936	0.513
Obs5	22.976	18.861	18.985	-0.123
Obs6	22.811	18.482	18.707	-0.226
Obs7	24.520	20.244	21.346	-1.102
Obs8	22.022	16.938	17.320	-0.382
Obs9	24.513	23.967	21.335	2.632
Obs10	24.907	20.057	21.874	-1.817
Obs11	23.154	17.544	19.278	-1.734
Obs12	23.254	17.950	19.440	-1.490
Obs13	21.266	14.850	15.891	-1.041
Obs14	23.979	19.223	20.565	-1.343
Obs15	24.114	21.653	20.765	0.888
Obs16	23.653	21.646	20.070	1.576
Obs17	21.489	18.067	16.322	1.746
Obs18	22.753	18.473	18.609	-0.135
Obs19	24.266	19.129	20.985	-1.856
Obs20	23.182	20.777	19.323	1.454
Obs21	22.376	18.866	17.956	0.911
Obs22	24.697	22.324	21.590	0.734
Obs23	26.455	21.818	23.726	-1.908
Obs24	24.957	22.340	21.940	0.400
Obs25	25.614	15.760	22.771	-7.011
Obs26	23.226	18.671	19.394	-0.723
Obs27	25.425	19.599	22.539	-2.940
Obs28	25.955	22.856	23.173	-0.317
Obs29	22.962	20.758	18.961	1.797
Obs30	26.994	23.584	24.275	-0.691
Obs31	27.074	23.097	24.352	-1.255
Obs32	28.821	25.346	25.763	-0.417
Obs33	28.930	23.244	25.834	-2.590
Obs34	30.813	28.226	26.731	1.495
Obs35	27.158	23.221	24.432	-1.212
Obs36	26.355	24.733	23.619	1.114
Obs37	26.498	25.220	23.773	1.448
Obs38	27.427	25.072	24.679	0.393

Obs39	29.724	25.660	26.286	-0.626
Obs40	31.289	27.540	26.861	0.679
Obs41	28.190	26.455	25.314	1.142
Obs42	25.732	24.991	22.912	2.079
Obs43	28.380	25.667	25.457	0.210
Obs44	27.810	27.484	25.010	2.474
Obs45	28.146	27.009	25.280	1.729
Obs46	24.458	23.873	21.259	2.614
Obs47	26.020	25.158	23.247	1.910

