



**UNIVERSIDAD DE TALCA
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES
ESCUELA DE INGENIERÍA FORESTAL**

**ANÁLISIS DEL MADEREO CON TRACTOR AGRÍCOLA EN FAENAS DE
RALEO DE BOSQUE NATIVO EN LA PROVINCIA DE CAUQUENES,
REGIÓN DEL MAULE**

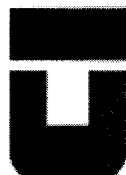
PEDRO DAVID OSSES ROMERO

**Tesis para optar al grado de:
INGENIERO FORESTAL**

PROFESOR GUÍA: DARÍO MARCELO AEDO ORTÍZ

TALCA – CHILE

2005



UNIVERSIDAD DE TALCA
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES.
ESCUELA DE INGENIERIA FORESTAL

El Sr. Pedro David Osses Romero, ha realizado la Memoria : "Análisis del Madereo con Tractor Agrícola en Faenas de Raleo de Bosque Nativo en la Provincia de Cauquenes, Región del Maule", como uno de los requisitos para optar al Título de Ingeniero Forestal. El Profesor Guía es el Ph.D. Dario Aedo Ortíz.

La comisión de Calificación constituída por los profesores Ph.D. Dario Aedo Ortiz y el Ph.D. Oscar Vallejos Barra, han evaluado con nota 6,8 (seis, ocho)

CRISTIAN LOPEZ MONTECINOS
DIRECTOR
ESCUELA DE INGENIERIA FORESTAL

Talca, Marzo de 2005.

*Memoria apoyada por el Programa de Financiamiento de Memorias
Gobierno Regional del Maule-Universidad de Talca*

AGRADECIMIENTOS

- A mi profesor guía, Darío Aedo Ortiz por su comprensión, sabiduría y humanidad.
- Al profesor Oscar Vallejos Barra, por su compromiso y oportunos consejos.
- A María Eliana Reyes, por su infinita paciencia y preocupación.
- A CONAF Cauquenes, por su cooperación y disposición.
- A Daniel Yañez y Daniel hijo, por su amabilidad y hospitalidad.
- A DIAT, por su apoyo financiero.

Dedicado y agradecido a la bondad de aquel que siempre ha estado...

Dedicado a mi familia: madre, padre, hermanos...

Dedicado a aquellos que caminaron junto a mí...

Dedicado a aquellos que considero mi otra familia...

Dedicado a quienes ya son parte de este nuevo amanecer...

ÍNDICE

	Página
I.- INTRODUCCIÓN	1
II.- OBJETIVOS	
2.1 Objetivo General	3
2.2 Objetivos Específicos	3
III.- ANTECEDENTES BIBLIOGRÁFICO	
3.1 Renovales de Roble-Hualo y PCMSBN	4
3.2 Aspectos Generales del Madereo	6
3.3 Estudios de Tiempo y Rendimiento en Bosque Nativo	7
3.4 Distribución de Probabilidad.....	10
3.5 Modelos de Regresión Lineal.....	11
3.5.1 Normalidad	12
3.5.2 Homocedasticidad	13
3.5.3 Multicolinealidad	14
3.5.4 Prueba de significancia de los coeficientes de regresión.....	15
3.5.5 Coeficiente de determinación.....	16
3.5.6 Valores atípicos	18
3.5.7 Variables cualitativas o indicadoras	19
IV.- METODOLOGÍA	
4.1 Materiales.....	20
4.2 Área de Estudio	20
4.3 Variables de Interés	21
4.4 Descripción del Madereo con Tractor Agrícola	21
4.5 Toma de Datos.....	22
4.6 Componentes del Ciclo de Madereo.....	23
4.7 Obtención de Funciones de Tiempo	26

4.8	Determinación de Rendimiento.....	27
4.9	Determinación de Costo.....	28
V.- PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS		
5.1	Obtención de los Modelos de Regresión Lineal.....	29
5.2	Análisis del Madereo con Carro desde el Bosque a la Cancha de Acopio	31
5.2.1	Modelo de tiempo de viaje vacío	31
5.2.2	Modelo de tiempo de acomodo de viaje vacío.....	34
5.2.3	Modelo de tiempo de carga.....	34
5.2.4	Modelo de tiempo de acomodo de carga	35
5.2.5	Modelo de tiempo de viaje cargado	35
5.2.6	Modelo de tiempo de acomodo de viaje cargado.....	37
5.2.7	Modelo de tiempo de descarga.....	37
5.2.8	Modelo de tiempo de acomodo de descarga	38
5.2.9	Rendimiento y tiempo total por ciclo de madereo con carro.....	38
5.3	Análisis del Madereo con Cadena en Bosque	43
5.3.1	Modelo de tiempo de viaje vacío	43
5.3.2	Modelo de tiempo de acomodo de viaje vacío.....	45
5.3.3	Modelo de tiempo de carga más acomodo de carga	46
5.3.4	Modelo de tiempo de viaje cargado	49
5.3.5	Modelo de tiempo de acomodo de viaje cargado.....	50
5.3.6	Modelo de tiempo de descarga.....	50
5.3.7	Modelo de tiempo de acomodo de descarga	53
5.3.8	Rendimiento y tiempo total por ciclo del madereo con cadena.....	53
5.4	Determinación de Costos del Madereo	64
5.5	Consideraciones Generales	65
VI.- CONCLUSIONES		68
VII.- BIBLIOGRAFÍA		70

VIII.- APÉNDICES

APÉNDICE N° 1. Matrices de correlación del madereo con carro	73
APÉNDICE N° 2. Gráficos de matrices XY del madereo con carro	75
APÉNDICE N° 3. Modelos ajustados de tiempo de viaje vacío del madereo con carro.....	77
APÉNDICE N° 4. Resumen estadístico del tiempo de acomodo de viaje vacío del madereo con carro	86
APÉNDICE N° 5. Resumen estadístico para los tiempos de carga y acomodo de carga del madereo con carro	87
APÉNDICE N° 6. Modelos ajustados de tiempo de viaje cargado del madereo con carro	90
APÉNDICE N° 7. Resumen estadístico de tiempos acomodo de viaje cargado del madereo con carro	93
APÉNDICE N° 8. Resumen estadístico para los tiempos de descarga y acomodo de descarga	94
APÉNDICE N° 9. Matrices de correlación del madereo con cadena en bosque	97
APÉNDICE N° 10. Gráficos de matrices XY del madereo con cadena.....	99
APÉNDICE N° 11. Modelos ajustados de tiempo de viaje vacío del madereo con cadena.....	101
APÉNDICE N° 12. Resumen estadístico del tiempo de acomodo de viaje vacío del madereo con cadena.....	104
APÉNDICE N° 13. Modelos ajustados de tiempo de carga más acomodo de carga del madereo con cadena	106
APÉNDICE N° 14. Modelos ajustados de tiempo de viaje cargado del madereo con cadena.....	114
APÉNDICE N° 15. Resumen estadístico del tiempo de acomodo de viaje cargado del madereo con cadena.....	117
APÉNDICE N° 16. Modelos ajustados de tiempo de descarga del madereo con cadena.....	119
APÉNDICE N° 17. Resumen estadístico del tiempo de acomodo de descarga del madereo con cadena.....	126

APÉNDICE N° 18. Cálculos del madereo con carro	128
APÉNDICE N° 19. Cálculos del madereo con cadena.....	130
APÉNDICE N° 20. Cálculos costos del madereo	137
APÉNDICE N° 21. Base de datos del madereo con tractor agrícola	139

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro N°	Página
1. Niveles de productividad en bosque nativo	8
2. Niveles de rendimientos en bosque nativo y plantación.....	9
3. Antecedentes generales del predio en estudio.....	20
4. Componentes principales del ciclo de maderero en bosque.....	24
5. Componentes principales del ciclo de maderero en cancha de acopio	24
6. Acomodos del ciclo de maderero en bosque	25
7. Acomodos del ciclo de maderero en cancha de acopio.....	25
8. Variables de interés por componente principal del ciclo de maderero	26
9. Resumen muestral para el maderero con carro.....	31
10. Valores promedios para las fdp de las variables temporales.....	39
11. Resumen muestral para el maderero con cadena	43
12. Valores promedios para las fdp de las variables temporales.....	54
13. Resumen de modelos de tiempo	65
14. Matriz de correlación de viaje vacío (carro).	73
15. Matriz de correlación de carga (carro).....	73
16. Matriz de correlación de viaje cargado (carro).....	74
17. Matriz de correlación de descarga (carro).....	74
18. Modelos ajustados de viaje vacío.	77
19. Modelos transformados de viaje vacío.....	78
20. Resumen estadístico de tiempo de acomodo de viaje vacío.....	86
21. Funciones de distribución de probabilidad de acomodo de viaje vacío.....	87
22. Resumen estadístico de carga y acomodo de carga.	88
23. Funciones de distribución de probabilidad para carga y acomodo de carga.....	89
24. Modelos ajustados de viaje cargado.	90
25. Resumen estadístico de tiempo de acomodo de viaje cargado.....	93
26. Funciones de distribución de probabilidad de acomodo de viaje cargado.....	94
27. Resumen estadístico de descarga y acomodo de descarga.....	95

28. Funciones de distribución de probabilidad para descarga y acomodo de descarga.	96
29. Matriz de correlación de viaje vacío (bosque).	97
30. Matriz de correlación de carga más acomodo de carga (bosque).	97
31. Matriz de correlación de viaje cargado (bosque).	98
32. Matriz de correlación de descarga (bosque).	98
33. Modelos ajustados de viaje vacío.	101
34. Resumen estadístico de tiempo de acomodo de viaje vacío.	104
35. Funciones de distribución de probabilidad para acomodo de viaje vacío.	105
36. Modelos ajustados de carga más acomodo de carga.	106
37. Modelos transformados de carga más acomodo de carga.	107
38. Modelos ajustados de viaje cargado.	114
39. Resumen estadístico de tiempo de acomodo de viaje cargado.	117
40. Funciones de distribución de probabilidad de acomodo de viaje cargado.	118
41. Modelos ajustados de descarga.	119
42. Modelos transformados de descarga.	119
43. Resumen estadístico de tiempo de acomodo de descarga.	126
44. Funciones de distribución de probabilidad de acomodo de descarga.	127
45. Valores estimados de tiempo de viaje vacío por tramos del madereo con carro.	128
46. Valores estimados de tiempo de viaje cargado por tramos del madereo con carro.	128
47. Valores estimados de tiempo de viaje vacío y cargado del madereo con carro.	129
48. Cálculo del rendimiento promedio para el total de distancia (591 metros) recorrida en el madereo con carro.	130
49. Valores estimados de tiempo de viaje vacío y cargado del madereo con cadena.	130
50. Valores estimados de tiempo de viaje vacío y cargado del madereo con cadena para los rangos observados de distancia y pendiente.	131
51. Valores estimados de tiempo de carga más acomodo y descarga del madereo con cadena.	134

52. Valores estimados de tiempo de carga más acomodo y descarga del madereo con cadena para los rangos observados del volumen Smalian.....	134
53. Valores estimados de rendimiento del madereo con cadena, asociados a los modelos de tiempo de viaje vacío.....	136
54. Valores operacionales del tractor agrícola.	138
55. Cálculo del costo horario del tractor agrícola.	138
56. Planilla de datos del viaje vacío y cargado del madereo con carro.	139
57. Planilla de datos de carga, acomodo de carga, descarga, acomodo descarga, acomodo viaje vacío y acomodo de viaje cargado, del madereo con carro.	141
58. Planilla de datos del viaje vacío y cargado del madereo con cadena.	142
59. Planilla de datos de carga, descarga y acomodos del madereo con cadena.	144

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N°	Página
1. Tiempo de viaje vacío [s] del maderero con carro.....	40
2. Tiempo de viaje cargado [s] del maderero con carro.....	41
3. Tiempo de viaje vacío [s], retrocediendo, del maderero con cadena	55
4. Tiempo de viaje vacío [s], normal en punta, del maderero con cadena	56
5. Tiempo de viaje vacío [s], ponderación observada, del maderero con cadena.....	57
6. Tiempo de carga más acomodo [s] del maderero con cadena	58
7. Tiempo de viaje cargado [s] del maderero con cadena	59
8. Tiempo de descarga [s] del maderero con cadena	60
9. Rendimiento [m ³ /HPM], retrocediendo, del maderero con cadena	61
10. Rendimiento [m ³ /HPM], normal en punta, del maderero con cadena	62
11. Rendimiento [m ³ /HPM], ponderación observada, del maderero con cadena	63
12. Gráficos de matriz XY de viaje vacío (carro).	75
13. Gráficos de matriz XY de carga (carro).	75
14. Gráficos de matriz XY de viaje cargado (carro).	76
15. Gráficos de matriz XY de descarga (carro).	76
16. Residuos estandarizados modelo (5) de tiempo de viaje vacío.	80
17. Probabilidad normal modelo (5) de tiempo de viaje vacío.	80
18. Residuos estandarizados modelo (5t) de tiempo de viaje vacío.	82
19. Probabilidad normal modelo (5t) de tiempo de viaje vacío.	83
20. Residuos estandarizados modelo (5ta) de tiempo de viaje vacío.	85
21. Probabilidad normal modelo (5ta) de tiempo de viaje vacío.	85
22. Histograma de tiempo de acomodo de viaje vacío (AcoVV).	86
23. Histograma de tiempo de carga (TpoCar).	88
24. Histograma de tiempo de acomodo de carga (AcoCar).	88
25. Residuos estandarizados modelo (13) de tiempo de viaje cargado.	92
26. Probabilidad normal modelo (13) de tiempo de viaje cargado.	92
27. Histograma de tiempo de acomodo de viaje cargado (AcoVC).	93

28. Histograma de tiempo de descarga (TpoDes).	95
29. Histograma de tiempo de acomodo de descarga (AcoDes).....	95
30. Gráficos de matriz XY de viaje vacío (bosque).	99
31. Gráficos de matriz XY de carga más acomodo de carga (bosque).....	99
32. Gráficos de matriz XY de viaje cargado (bosque).....	100
33. Gráficos de matriz XY de descarga (bosque).....	100
34. Residuos estandarizados modelo (19) de tiempo de viaje vacío.	103
35. Probabilidad normal modelo (19) de tiempo de viaje vacío.	103
36. Histograma de tiempo de acomodo de viaje vacío (AcoVV).....	104
37. Residuos estandarizados modelo (23) de tiempo de carga más acomodo de carga.	109
38. Probabilidad normal modelo (23) de tiempo de carga más acomodo de carga.	109
39. Residuos estandarizados modelo (23t) de tiempo de carga más acomodo.	111
40. Probabilidad normal modelo (23t) de tiempo de carga más acomodo.....	111
41. Residuos estandarizados modelo (23ta) de tiempo de carga más acomodo.....	113
42. Probabilidad normal del modelo (23ta) de tiempo de carga más acomodo.	113
43. Residuos estandarizados modelo (32) de tiempo viaje cargado.....	116
44. Probabilidad normal modelo (32) de tiempo viaje cargado.	116
45. Histograma de tiempo de acomodo de viaje cargado (AcoVC).....	117
46. Residuos estandarizados modelo (35) de tiempo de descarga.....	121
47. Probabilidad normal modelo (35) de tiempo de descarga.....	121
48. Residuos estandarizados modelo (35t) de tiempo de descarga.	123
49. Probabilidad normal modelo (35t) de tiempo de descarga.....	123
50. Residuos estandarizados modelo (35ta) de tiempo de descarga.....	125
51. Probabilidad normal modelo (35ta) de tiempo de descarga.	125
52. Histograma de tiempo de acomodo de descarga (AcoDes).....	126

RESUMEN

Este estudio se enfoca en el uso de un tractor agrícola en operaciones de cosecha forestal en bosque nativo en la Provincia de Cauquenes, Región del Maule.

El sistema es operado en forma única. El mismo tractor es usado durante el ciclo con dos accesorios alternativos de sujeción. Cuando el tractor agrícola opera en el bosque, el madereo se realiza usando una cadena que mueve la carga arrastrada en el suelo. Esta es una operación de pre-arumado que termina cuando se completa la carga a madrear por el camino forestal (fuera del bosque). Fuera del bosque el tractor agrícola es usado con un carro como accesorio el cual mueve la carga suspendida.

El rendimiento del sistema dentro y fuera del bosque depende de la distancia de madereo y la pendiente. El tiempo usado en carga y descarga son significativos. El madereo cuesta abajo produce mejores resultados de operación que el madereo cuesta arriba.

El conjunto de regresiones para los componentes del sistema tienen altos R^2_{aj} para los viajes vacío y cargado. La distribución Log-logistic es en varios casos la mejor distribución ajustada.

SUMMARY

This study focusses on the use of a farm tractor in native forest harvesting operations at the “Provincia de Cauquenes, Región del Maule”.

The system is operated in a unique form. The same tractor is used during the cycle with two alternative attachments. When the farm tractor operates in the forest, the skidding is uses a chain that moves the load on the ground. This is a prebunching operation that ends when a full load through the harvest road (out of the forest) is reached. Out of the forest the farm tractor is used with a wagon as attachment which carries the suspended logs.

The system yield in and out the forest depends on skidding distance and slope. The loading and unloading times are significant. Downhill skidding gives better operation results than uphill skidding.

The set of regressions for system components has high R^2_{aj} for empty and loaded travels. Log-logistic distribution is in several cases the best fitted distribution.

I.- INTRODUCCIÓN

Chile cuenta con más de trece millones de hectáreas de bosque nativo, formadas principalmente por 45% de bosque adulto, 27% de renovales potencialmente productivos y 22% de bosques achaparrados (UACH *et al.*, 1999). Así, cerca de 3,6 millones de hectáreas de bosque nativo están en condiciones de ser un importante recurso productivo, para pequeños y medianos propietarios, a través de un manejo sustentable en el tiempo (CONAF, 1997).

A pesar del importante potencial económico que ofrece el manejo del bosque nativo productivo, hoy en día se observa que aún persisten prácticas tradicionales realizadas por sus propietarios (pequeños o medianos), bajos niveles de mecanización y planificación, ausencia de información relevante para la toma de decisiones y un bajo desarrollo socio-económico en las comunidades rurales que se sustentan de sus productos. Estas razones justifican la necesidad de destinar recursos a la investigación del desarrollo forestal en pequeñas propiedades de bosque nativo, con los objetivos de incentivar el desarrollo económico bajo un concepto sustentable y contribuir con bases de datos que ayuden a la planificación y programación de faenas productivas del recurso.

En la planificación de la cosecha forestal, el madereo de las trozas constituye uno de los principales centros de costo de las faenas de aprovechamiento. Dependiendo del sistema de cosecha utilizado y de las características específicas del rodal (pendiente, distancia, densidad, entre otros), los tiempos asociados a cada componente del ciclo de producción influirá sobre los rendimientos esperados, la estimación de la duración de las faenas forestales y los costos implicados en el proceso. Así a nivel operacional, cobra utilidad el contar con estudios en terreno para estos sistemas de producción, basados en funciones de tiempo y rendimiento, con el fin de obtener modelos representativos que permitan estimar la productividad esperada del sistema.

Para la obtención de un modelo representativo de un sistema de operación forestal se debe considerar: obtener datos de terreno en función de los objetivos planteados; determinar las funciones de distribución representativas de los datos; y determinar las funciones lineales de asociación de las variables de importancia del sistema (Aedo, 1997). El desarrollo de estudios y la obtención de datos de terreno en faenas de producción de bosque nativo en la Región del Maule, se ve muchas veces limitado debido al carácter esporádico de las operaciones productivas realizadas. No obstante, la existencia del Proyecto Conservación y Manejo Sustentable del Bosque Nativo (PCMSBN), que cuenta con un número importante de pequeños y medianos propietarios, entrega una oportunidad real para el estudio de operaciones forestales productivas programadas de acuerdo a los planes de intervención propuestos.

Esta memoria estará enfocada a caracterizar el madereo con tractor agrícola, con el fin de obtener producciones esperadas para condiciones específicas de operación en faenas de bosque nativo de la Región del Maule.

II.- OBJETIVOS

2.1 Objetivo General

Analizar operaciones de madereo con tractor agrícola, en faenas de raleo de bosque nativo en la provincia de Cauquenes, Región del Maule.

2.2 Objetivos Específicos

- Construir funciones de tiempo y rendimiento para operaciones de madereo con tractor agrícola.
- Determinar la incidencia de variables del rodal sobre los tiempos operacionales y costos del madereo en faenas de raleo de bosque nativo.

III.- ANTECEDENTES BIBLIOGRÁFICOS

3.1 Renovales de Roble-Hualo y PCMSBN

Según UACH *et al.* (1999), la superficie total de bosques en Chile es 15.637.232 ha, de las cuales 2.119.004 ha corresponden a plantaciones (13,5%) y 13.430.602 ha a bosque nativo (85,9%). Las superficies de los principales tipos forestales se distribuyen en orden descendente de la siguiente forma: Siempreverde 30,9%, Lenga 25,3%, Coigue de Magallanes 13,4%, Roble-Raulí-Coigue 10,9%, Ciprés de las Guaitecas 7,2%, Coigue-Raulí-Tepa 4,2%, Esclerofilo 2,5%, Alerce 1,96%, Araucaria 1,9%, Roble-Hualo 1,4% y Ciprés de la Cordillera 0,34%.

La superficie de bosques en la Región del Maule corresponde a 413.231 ha de plantaciones (20% del total de plantaciones) y 370.329 ha de bosque nativo (2,8% del total de bosque nativo). Este último se subdivide en 13.764 ha de bosque adulto, 321.165 ha de renovales, 24.868 ha de bosque adulto renoval y 10.532 ha de bosque achaparrado. Los tipos forestales presentes son Roble-Raulí-Coigue con 158.916 ha, Roble-Hualo con 148.182 ha, Esclerofilo 55.341 ha, y Ciprés de la Cordillera con 7.890 ha.

El tipo forestal Roble-Hualo se distribuye desde el cerro La Campana hasta el río Itata, en los sectores de mayor altitud de la Cordillera de la Costa. En la Cordillera de los Andes, se encuentra desde Colchagua al río Ñuble, entre los 400 a 1000 msnm. Esta zona presenta un clima mediterráneo húmedo, con precipitaciones que fluctúan entre los 500 a 1000 mm en la costa y entre los 1000 a 2000 mm en los Andes (Donoso, 1981).

El tipo forestal Roble-Hualo se desarrolla en un marco fisiográfico caracterizado por las montañas. En el sector septentrional de la Cordillera de la Costa, crece en suelos desarrollados sobre rocas graníticas, generalmente residuales. En el sector meridional, crece sobre suelos formados sobre esquistos, generalmente poco profundos (50 a 60 cm) y

de textura generalmente franca. En el sector andino, este tipo forestal se encuentra sobre suelos generados de rocas graníticas, conglomerados volcánicos, que originan suelos trumaos (Donoso, 1981).

El tipo forestal Roble-Hualo está constituido de a lo menos un 50% de individuos de estas especies por hectárea, encontrándose junto al litre, boldo, quillay, peumo, ciprés de la cordillera, lingue, laurel y avellano. La mayor parte de este tipo forestal presenta algún grado de alteración provocada por: la introducción de ganado, la tala para hacer leña o carbón, roces e incendios, la habilitación de terrenos para la agricultura, y la sustitución por plantaciones (Carrasco *et al.*, 1999).

La adecuada planificación de las acciones a realizar en el bosque nativo, respecto al uso y aprovechamiento racional de éste, permitirá alcanzar un desarrollo sustentable en el tiempo, de esta manera se podría frenar el deterioro actual que sufre dicho recurso. En este mismo sentido, el Proyecto Conservación y Manejo sustentable del Bosque Nativo (PCMSBN), pretende conservar el bosque nativo chileno y contribuir a un desarrollo sustentable por parte de pequeños propietarios, principalmente en bosques de segundo crecimiento. Esta es una iniciativa conjunta entre los gobiernos de Chile y Alemania, a través de CONAF y de las entidades técnico-financieras DED, GTZ y KFW.

Según CONAF (1997), la primera fase del proyecto se remonta a los años 1997 al 2002, asesorando técnica y económicamente a campesinos propietarios de pequeñas extensiones de bosque nativo agrupados en áreas de desarrollo entre las regiones VII a XI. Con el propósito de legalizar sus actividades productivas, se les ayuda en la elaboración y control de planes de manejo, bajo un concepto sustentable. Posteriormente, en la segunda fase de los años 2003 al 2006, se inician labores estratégicas orientadas al desarrollo de la comercialización y la agregación de valor de los productos generados del bosque nativo.

3.2 Aspectos Generales del Madereo

La planificación es una proyección del rumbo de las acciones a seguir, la cual define la secuencia necesaria de las actividades, identifica las técnicas a ser aplicadas y determina los requerimientos de tiempo. La ausencia de un plan o la aplicación inadecuada de uno, tendrá como resultado pérdidas o baja utilización de recursos productivos y costos excesivos (Conway, 1982). Una adecuada planificación de la cosecha requiere una acertada identificación y cuantificación de las variables asociadas al rodal y el sitio, con el fin de obtener predicciones del rendimiento y costos de cada actividad del sistema (Alvarez y Kunz, 1988).

El madereo, saca o arrastre de trozas, consiste en transportar los árboles o trozas desde la zona de corta hasta una cancha de madereo o borde de un camino, constituyendo la primera etapa de transporte en el proceso de explotación. Además, dentro del sistema de cosecha, es la que genera los mayores costos en la producción física de los bosques (Neuenschwander, 2001).

La productividad de la fase de madereo estará determinada por el tiempo asociado a los componentes del ciclo de madereo, el método de trabajo, los equipos utilizados y la cantidad de producto obtenido en este tiempo (Rodríguez, 1984). Las variables operacionales más influyentes en la productividad de faenas de madereo son: la topografía, el volumen por troza y la distancia de madereo. Dichas variables pueden tener un efecto adverso sobre las operaciones de madereo, que puede ser minimizado, pero no eliminado totalmente. Por ejemplo, el aumento de las distancias de madereo se traduce en un aumento de costos y disminución de rendimientos (Conway, 1982).

El madereo en bosque nativo se realiza principalmente con bueyes y tractores agrícolas (a este último se incorpora un huinche, cadena, o carro), y en promedio su costo es mayor al de las fases de volteo y trozado, lo cual lleva a un imprescindible análisis de los factores que están determinando sus costos (Rodríguez, 1984).

3.3 Estudios de Tiempo y Rendimiento en Bosque Nativo

Alvarez y Kunz (1998) señalan que los estudios de tiempo se emplean para dividir una operación en sus etapas relevantes y determinar los tiempos parciales de cada etapa, para luego poder establecer los tiempos totales de cada operación y su producción por unidad de tiempo. Un estudio de tiempo es una técnica de medición que registra los tiempos y proporciones de un trabajo específico, llevado a cabo bajo condiciones determinadas. Para ello se usa el cronómetro para registrar el tiempo de los diferentes elementos que conforman el ciclo de trabajo (Valdés y Apud, 1988). Los tiempos obtenidos pueden ser empleados en la planificación, programación, y estimación de costos de una operación (Barnes, 1979).

El estudio de rendimientos permite determinar la productividad de cualquier elemento dentro de un ciclo productivo, y deriva de la relación entre la producción alcanzada en cada operación y el tiempo empleado en desarrollarla (Ramírez, 1997). En general, las funciones de tiempo y rendimiento tienen como variables independientes la distancia de madereo, la pendiente del terreno, el diámetro a la altura del pecho (dap), la altura y el volumen de los árboles, entre otras. Además, normalmente las funciones de rendimiento generan resultados expresados en volumen por hora productiva, luego éstos se transforman en rendimientos efectivos al ponderarlos por un cociente de tiempo de trabajo (hora productiva / hora efectiva), que explica las horas de trabajo efectivas realizadas durante el día (Alvarez y Kunz, 1988).

La pequeña y mediana empresa forestal del bosque nativo se encuentra dispersa geográficamente y frecuentemente aprovecha el recurso remanente de explotaciones selectivas anteriores. La organización e implementación técnica de sus faenas están relacionadas con el tamaño del recurso que gestiona, con las dificultades topográficas y el estado en que se encuentra el bosque (Hartwig, 1991). Generalmente, en la Región del Maule, las actividades forestales carecen de metodologías y técnicas que aseguren la

conservación y mejoramiento del bosque, ya que los ejecutores de estas faenas no logran un adecuado equilibrio entre producción y conservación del recurso (Carrasco, 1995).

Operaciones de cosecha forestal en bosque nativo presentan niveles tecnológicos de desarrollo muy por debajo a los encontrados en plantaciones. Una de las causas es la limitada posibilidad de gestión en bosque nativo, asociado al limitado capital de los pequeños y medianos propietarios de estos bosques (Gayoso, 1995). El mismo autor identifica distintos niveles de productividad en bosque nativo en la Región de Los Lagos, señalados en el Cuadro N° 1.

Cuadro N° 1. Niveles de productividad en bosque nativo.

Sistema de Madereo	Productividad [m³/h]	
	m³/h efectiva	% utilización
Yunta de bueyes (DPM de 41 metros y pendiente de 30%)	3,8	60,5
Tractor agrícola- huinche (DPM 70 metros y pendiente de 48%)	Entre 5,4 y 6,6	Entre 68 y 70
Skidder huinche (distancia de madereo entre 70 y 150 metros y pendientes entre 10 y 35%)	Entre 6,3 (temporada invierno) a más de 17,0 (condiciones secas)	

Fuente: Gayoso (1995).

Rodríguez (1984) indica que el uso de tractores agrícolas acondicionados para la extracción de trozas, permite alcanzar buenos niveles de producción y costos suficientemente bajos, como para permitir afrontar las necesidades del mercado rural y la de otros mercados. Este autor desarrolló estudios de madereo con bueyes en bosque nativo, en la Región de Los Lagos; y con tractor agrícola en bosques de pino radiata, en la Región de la Araucanía. Los rendimientos obtenidos se señalan en el Cuadro N° 2.

Cuadro N° 2. Niveles de rendimientos en bosque nativo y plantación.

Sistema de Madereo	m ³ /h productiva	% utilización
Yunta de bueyes en bosque nativo (distancia máxima 460 metros y pendientes entre 20 a 32%)	1,87	77,5
Tractor agrícola en plantación (distancia de 20 y 70 metros y pendiente promedio de 6%)	9,2 y 8,2	88,2

Fuente: Rodríguez (1984).

3.4 Distribución de Probabilidad

La inferencia estadística es un proceso que permite obtener conclusiones sobre una población a partir de una muestra de ella. La inferencia es relativa a un conjunto de parámetros que caracterizan la distribución de la población en base a la obtención de estadísticos muestrales. Los procedimientos desarrollados para la estimación de parámetros suponen una distribución hipotética para la población, existiendo métodos para verificar o contrastar una distribución de probabilidad de una población basándose en una muestra extraída de ella (Cid *et al.*, 1990).

Para determinar la distribución que mejor modele los datos se usan las pruebas de bondad de ajuste, que en términos generales evalúan la hipótesis nula (H_0): el conjunto de datos observados son una muestra independiente de una distribución específica (Law y Kelton, 1991 citados por Aedo, 1997). Aedo (1997) indica que dentro de las pruebas de bondad de ajuste la prueba Kolmogorov-Smirnov (K-S) es preferible sobre la Chi-cuadrado, debido a que la naturaleza de las variables consideradas en sistemas de producción forestal hace que su gran mayoría sean consideradas como variables aleatorias continuas, lo que hace innecesaria discretizarlas en clases, como lo requiere la prueba Chi-cuadrado. Además, Cid *et al.* (1990) indican que la prueba K-S está basada en un estadístico que mide la desviación de la frecuencia acumulada observada en relación a la

función de distribución supuesta. Por otra parte la prueba K-S es válida para todo tamaño de muestra, a diferencia de Chi-cuadrado que es sólo para muestras grandes.

Un alto valor de p , obtenido en una prueba de bondad de ajuste, indica que la diferencia entre los valores observados e hipotéticos es pequeña y no lo suficientemente fuerte para rechazar la hipótesis nula (Gujarati, 1997). Por esta razón, el estadístico de prueba de bondad de ajuste nos indica la calidad del ajuste por medio de la distribución de probabilidad hipotética de la variable aleatoria en análisis.

3.5 Modelos de Regresión Lineal

Una regresión lineal permite determinar la dependencia de una variable (variable dependiente) respecto de una o más variables explicativas (variables independientes). El objetivo es proveer de una herramienta que permita estimar o predecir el valor promedio poblacional de la variable dependiente en función de valores específicos de las variables explicativas (Gujarati, 1997). El análisis de regresión es simple si la dependencia es con una única variable explicativa, y múltiple si es con más de una variable explicativa.

Una primera hipótesis de trabajo, es que existe un modelo lineal entre la variable dependiente y las explicativas del tipo $Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \dots + \beta_i X_i$, donde los β_i son parámetros desconocidos, pero fijos, llamados coeficientes de regresión poblacional. El interés del análisis de regresión es encontrar los valores estimados (estimadores) de estos coeficientes, en base a las observaciones obtenidas (Gujarati, 1997).

El método comúnmente usado para obtener una regresión lineal es el método de los mínimos cuadrados (MCO). El método MCO hace que los coeficientes de regresión muestral se ajusten lo más posible a los verdaderos coeficientes de regresión poblacional. Este método minimiza la suma de los residuos observables al cuadrado (e_i^2), con el fin de ajustar la regresión muestral. Estos residuos corresponden a las diferencias entre los

valores observados y los valores estimados de la variable dependiente, y representan a todas las variables que no están incluidas en el modelo de regresión, que colectivamente pueden afectar a la variable dependiente (Gujarati, 1997).

La calidad de una regresión lineal está asociada al cumplimiento de los supuestos básicos que la definen, los que serán críticos para lograr una interpretación válida de los valores estimados de la regresión y estos son: normalidad, homocedasticidad y ausencia de multicolinealidad.

3.5.1 Normalidad

El supuesto de normalidad asume que las perturbaciones de la población (residuos muestrales) están distribuidos normalmente (Gujarati, 1997). La forma más simple de verificar este supuesto es a través de un análisis gráfico de los residuos, con el eje de las ordenadas en escala normal, si la curva de la función de distribución acumulada corresponde aproximadamente a una línea recta, el supuesto de normalidad se aceptaría. Por otra parte, pequeñas desviaciones respecto de la línea recta, no necesariamente significan falta de normalidad. Además, una forma cuantitativa para verificar este supuesto es a través del estadístico de prueba de bondad de ajuste de K-S (Cid *et al.*, 1990).

Una propiedad de la distribución normal es que cualquier función lineal de variables normales será también normal. Con este supuesto las distribuciones de probabilidad de los estimadores MCO pueden obtenerse fácilmente (Gujarati, 1997).

El cumplimiento del supuesto de normalidad permite aseverar que: los estimadores muestrales de β_i y σ^2 son insesgados, su valor promedio o esperado es igual al valor verdadero; son eficientes, tienen varianza mínima; y son consistentes, a medida que el tamaño de la muestra aumenta asintóticamente, los estimadores convergen hacia sus verdaderos valores poblacionales. Por consiguiente, se puede decir que los estimadores de

MCO son los mejores estimadores lineales insesgados (MELI) de los parámetros poblacionales (Gujarati, 1997).

3.5.2 Homocedasticidad

Según Gujarati (1997), el supuesto de homocedasticidad está asociado al cumplimiento de varianzas constantes para diferentes niveles de la variable explicativa, es decir, las perturbaciones tienen la misma varianza. Si esto no se cumple existe heterocedasticidad, lo cual indica que los estimadores siguen siendo insesgados y consistentes, pero no poseen varianza mínima, dejando de ser eficientes para cualquier tamaño de muestra; por ende, los estimadores dejan de ser MELI. La heterocedasticidad provoca intervalos de confianza amplios y pruebas de hipótesis menos poderosas, donde las pruebas t y F , de significancia de variables, posiblemente producirán resultados inexactos.

Generalmente, este supuesto se verifica visualmente mediante un gráfico de residuos estandarizados (residuos observados divididos por la desviación estándar de las Y_i). Cerca del 95% de los residuos estarán dispersos entre -2 y $+2$, y cumplirán el supuesto de homocedasticidad si estos valores no muestran ningún patrón sistemático (tienden a caer en una banda horizontal centrada alrededor del cero), cualquier indicio de un patrón distinto hará sospechar de heterocedasticidad (Ross, 2001).

La prueba de Cochran's (C), es un estadístico que mide la homocedasticidad de los residuos, evaluando la siguiente hipótesis nula (H_0): $\sigma_1^2 = \sigma_2^2 = \dots = \sigma_k^2$, donde k es el número de varianzas de la población. Kirk (1995) indica que el test C es de fácil uso y requiere igual o aproximadamente igual número de observaciones en cada nivel de tratamiento de la variable explicativa, este estadístico queda definido por:

$$C_{cal} = \sigma_1^2 \text{ mayor} / (\sum_{j=1}^K \sigma_j^2)$$

Donde, σ_1^2 mayor es la mayor de las k varianzas estimadas de la muestra y, $\sum_{j=1}^K \sigma_1^2$ es la suma de todas las varianzas estimadas muestrales. La hipótesis de homogeneidad de varianzas es rechazada si C_{cal} es igual o más grande que C_{tabla} .

Medidas correctivas ante el problema de heterocedasticidad son las transformaciones de tipo logarítmicas (que comprimen las escalas en las que se miden las variables), recíprocas y raíz cuadrada, de la variable dependiente, con el propósito de hacer sus varianzas homocedásticas al correr nuevamente la regresión. Otra forma de resolver la heterocedasticidad, si se conocen sus varianzas, es mediante el método de MCO ponderados, que minimiza la importancia de los residuos con valores externos ponderándolas en proporción inversa a sus varianzas (Gujarati, 1997).

3.5.3 Multicolinealidad

La ausencia de multicolinealidad entre las variables explicativas, evita la existencia de correlaciones lineales significativas entre ellas. La multicolinealidad es un problema de grado y no de tipo, es decir, lo significativo no es la presencia o ausencia de ésta, sino su grado y magnitud, siendo una característica de la muestra y no de la población. Sin embargo, la multicolinealidad no viola los supuestos básicos de regresión, y aún en el caso de una presencia alta de ésta, los estimadores de MCO siguen siendo MELI (Gujarati, 1997).

Las consecuencias de la multicolinealidad varían dependiendo de su grado o magnitud. En el caso de colinealidad perfecta entre las variables explicativas, sus coeficientes de regresión son indeterminados y sus errores estándar infinitos. Si la colinealidad es alta, pero no perfecta, la estimación de los coeficientes de regresión es posible, pero sus errores estándar tienden a ser grandes, debido a esto, los valores poblacionales de los coeficientes no pueden ser estimados de forma precisa (Gujarati, 1997).

Gujarati (1997) sugiere una regla general para detectar multicolinealidad entre las variables explicativas que consiste en observar el coeficiente de correlación de orden cero, el cual mide el grado de asociación entre dos variables; si este valor es superior a 0,8 la multicolinealidad es un problema serio. En este sentido se debe considerar que altas correlaciones pueden sugerir colinealidad entre las variables explicativas, pero no es necesario que estas correlaciones sean altas para contar con su presencia, por consiguiente, altas correlaciones son una condición suficiente pero no necesaria para la existencia de multicolinealidad, debido a que ésta puede existir a pesar que las correlaciones sean bajas, es decir, menores a 0,5.

Otra manera de detectar este problema es realizar una regresión a cada variable explicativa en las restantes variables, calculando el coeficiente de determinación (R^2) y aplicando el test F para ver si existe colinealidad significativa entre las variables. Como método de solución al problema de multicolinealidad se recomienda utilizar información previa del modelo, omitir una variable altamente colineal, transformar la información, u obtener nueva información (Gujarati, 1997).

3.5.4 Prueba de significancia de los coeficientes de regresión

Una prueba de hipótesis es un procedimiento que utiliza los resultados de la muestra para verificar la veracidad o falsedad de una hipótesis planteada. Los métodos que permiten la aceptación o no de una hipótesis, los cuales establecen afirmaciones sobre el valor del parámetro a estimar, son la prueba de significancia y la de intervalos de confianza. La hipótesis planteada es conocida como hipótesis nula (H_0), la que es probada frente a una hipótesis alternativa (H_1) (Gujarati, 1997). Cid *et al.* (1990) indican el siguiente procedimiento para las pruebas de hipótesis:

- Establecer una hipótesis nula H_0 y una hipótesis alternativa H_1 .

- Establecer un nivel de significancia (α) de la prueba (probabilidad de rechazar H_0 cuando es verdadera).
- Establecer el estadístico de prueba (estimador muestral) y la zona de rechazo o región crítica, que define los valores del estimador para los cuales la información muestral contradice la hipótesis nula.
- Regla de decisión, si para una muestra particular, el estadístico de prueba (valor calculado) cae dentro de la región crítica, se rechazará la hipótesis nula H_0 a favor de la hipótesis alternativa H_1 . Si el valor calculado no cae dentro de la zona crítica no podemos rechazar H_0 .

Según Cid *et al.* (1990), un método complementario al cálculo de la región crítica bajo un α determinado, es el nivel de significancia observado, llamado valor-p de la prueba de hipótesis, que representa la cantidad de evidencia en contra de H_0 encontrada en la muestra bajo el supuesto de que H_0 es verdadera. Técnicamente, el valor-p está definido como el nivel de significancia más bajo al cual puede rechazarse una hipótesis nula. Por consiguiente: si α es mayor que valor-p, se rechaza H_0 ; y si valor-p es mayor que α , no se puede rechazar H_0 .

El mismo autor indica una escala empírica que relaciona el valor-p, con la cantidad de evidencia en contra de H_0 contenida en la muestra:

- Si valor-p > 0.10 , la muestra no contiene evidencia en contra de H_0 .
- $0.05 < \text{valor-p} < 0.10$, la evidencia en contra de H_0 es débil.
- $0.01 < \text{valor-p} < 0.05$, existe evidencia fuerte en contra de H_0 .
- Si valor-p < 0.01 , existe evidencia muy fuerte en contra de H_0 .

Una prueba t permite determinar si las variables explicativas, representadas por el parámetro estimado, tienen influencia sobre la variable dependiente (Cid *et al.*, 1990). Donde las hipótesis a evaluar son del tipo:

H_0 : el coeficiente de regresión estimado β_i es igual a cero.

H_1 : el coeficiente de regresión estimado β_i es distinto de cero.

El estadístico t se define de la siguiente forma:

$$t = \frac{(\hat{\beta}_i - \beta_i)}{ee(\hat{\beta}_i)}$$

Donde:

$t(1 - \alpha/2, n - 1)$ = valor del estadístico t.

β_i = valor hipotético del coeficiente poblacional.

$\hat{\beta}_i$ = coeficiente de regresión estimado

$ee(\hat{\beta}_i)$ = error estándar del coeficiente estimado.

Si los datos no apoyan la hipótesis nula, el valor t obtenido bajo tal hipótesis será grande y caerá en la región crítica, por consiguiente, su valor-p será pequeño y la hipótesis nula se podrá rechazar con mayor confianza. De acuerdo a lo anterior, es preferible optar por el valor-p y si éste es menor que α la hipótesis nula se rechaza (Gujarati, 1997).

3.5.5 Coeficiente de determinación

El coeficiente de determinación de regresión múltiple (R^2) es una medida resumen y muestra que tan bien se ajusta la línea de regresión muestral a los datos. Es decir, R^2 mide la proporción de la variación total de la variable dependiente explicada por el modelo de regresión. Este coeficiente se encuentra entre 0 y 1, y mientras más cercano a 1 el modelo se acerca a un ajuste perfecto (Gujarati, 1997).

Una medida modificada de R^2 , es el coeficiente de determinación ajustado (R^2_{aj}), que por el hecho de ser sensible al número de variables que el modelo presenta, sirve para comparar dos o más modelos (Cid *et al.*, 1990).

El coeficiente de determinación ajustado queda definido por:

$$R^2_{aj} = 1 - \frac{\sum e_i^2 / (n-k)}{\sum y_i^2 / (n-1)}$$

Donde:

R^2_{aj} = coeficiente de determinación ajustado.

$\sum e_i^2$ = variación residual o no explicada de los valores Y alrededor de la línea de regresión.

$\sum y_i^2$ = variación total de los valores observados de Y respecto a su media muestral.

n = número total de observaciones.

k = número de parámetros en el modelo.

Aedo (1997) indica tres puntos a considerar para la obtención y uso apropiado de una regresión lineal: Primero, a toda regresión se le debe verificar los supuestos básicos (homocedasticidad, normalidad y multicolinealidad) y la significancia de los coeficientes de regresión estimados. Segundo, una vez seleccionados los modelos que cumplan con los supuestos básicos, es recomendable seleccionar el modelo a usar por el criterio de máximo coeficiente de determinación ajustado (R^2_{aj}) y no sólo por el criterio de máximo coeficiente de determinación (R^2); ya que el primero toma en consideración la significancia de incorporar o extraer una variable al modelo y, por ende, su valor máximo está asociado al mínimo error de estimación. Por último, un modelo de regresión lineal permite predecir interpolando y no extrapolando, lo que debe tener consideraciones sobre los objetivos y el rango de muestreo de datos de terreno.

3.5.6 Valores atípicos

El estudio de regresión debe comenzar por una revisión gráfica de los datos. De este análisis exploratorio se puede observar el tipo de relación de la variable dependiente con las variables explicativas y detectar los valores atípicos. Un valor atípico o influyente, es una observación muy alejada de las demás y puede producir cambios importantes en la regresión estimada si es eliminada, reflejándose en cambios significativos en los coeficientes de regresión, en los errores estándar, y en el coeficiente de determinación del modelo (Cid *et al.*, 1990).

Según Maddala (1996), con frecuencia se utilizan los residuos estandarizados para detectar valores atípicos o influyentes; un valor es considerado influyente si su residuo estandarizado supera 2 (en valor absoluto) desviaciones estándar. Belsley *et al.* (1980) citados por Maddala (1996) sugieren que el criterio DFFITS detecta mejor datos atípicos y observaciones influyentes. DFFITS es una medición estandarizada de la diferencia en el valor ajustado de Y por la eliminación de esta observación específica, y mientras mayor sea este valor, mayor será la influencia de la observación. Thielman (1993) indica que un valor DFFITS es considerado influyente si es mayor que $2 * (\text{número de parámetros} / \text{tamaño de la muestra})^{1/2}$.

Un valor atípico puede ser eliminado con justificación de la información si proviene de una población diferente del resto, que puede deberse a un error de medición o a una situación inusual conocida. Si no hay razones conocidas que expliquen la procedencia del valor influyente, pero éste es bastante diferente del resto de los datos, se puede eliminar justificando que los resultados serán limitados al rango del resto de los datos. Probablemente, lo mejor opción a realizar es reportar los resultados de la regresión con y sin la(s) observación(es) influyente(s) (Thielman, 1993).

3.5.7 Variables cualitativas o indicadoras

En ocasiones la variable dependiente puede estar influenciada por variables cuantitativas y por el uso de variables de tipo cualitativas (color, sitio, etc). Un método para cuantificar estas variables cualitativas consiste en usar variables indicadoras, dicotómicas o binarias. Una variable indicadora está asociada con alguna característica o atributo, no cuantitativo de la población, de modo que ésta asume el valor uno (1) cuando la observación cumple con la característica, y el valor cero (0) cuando no la cumple (Cid *et al.*, 1990; Gujarati, 1997).

Maddala (1996) señala que las variables indicadoras pueden utilizarse para propósitos que puedan permitir diferencias en los términos de intersección y en las pendientes, probando la estabilidad de los coeficientes de regresión. Según Cid *et al.* (1990), la incorporación de variables indicadoras (I) al modelo, nos permitirá comparar las rectas de regresión resultantes (cuando existe o no la variable cualitativa I) de la siguiente forma:

$$\text{Sea,} \quad Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 I + \beta_3 X_1 * I$$

$$\text{Para } I = 1, \quad Y_i = (\beta_0 + \beta_2) + X_1(\beta_1 + \beta_3)$$

$$\text{Para } I = 0, \quad Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_1$$

Al igual que en las variables cuantitativas, la prueba t determina si los coeficientes de la variable cualitativa (indicadora) tienen o no incidencia sobre la variable dependiente.

IV.- METODOLOGÍA

4.1 Materiales

- Base de datos de variables de terreno.
- Programa computacional Excel.
- Programa estadístico de ajuste de distribuciones Statfit.
- Programa de análisis estadístico Statgraphics 1.4.

La recolección de las variables de interés de la base de datos se realizó en el período de verano, en los meses de febrero y marzo del 2004. Posteriormente en los meses de agosto a noviembre se depuró y analizó la base de datos.

4.2 Área de Estudio

La obtención de la base de datos del maderero con tractor agrícola, modelo Fordson Supermajor, se realizó en el sector El Trozo, localizado en la Cordillera de la Costa, perteneciente a la provincia de Cauquenes, Región del Maule, en faenas de raleo selectivo de bosque nativo, tipo forestal Roble-Hualo en estado de desarrollo latizal medio, afectas al PCMSBN. Los antecedentes generales del predio se muestran en el Cuadro N° 3.

Cuadro N° 3. Antecedentes generales del predio en estudio.

Predio	Superficie afecta a maderero (ha)	Superficie afecta a estudio (ha)	Sistema de maderero
Las Yeguas	45,1	4,0	Tractor agrícola Fordson Supermajor (53,7 HP)

4.3 Variables de Interés

En cada ciclo de madereo se registraron las siguientes variables de interés: el volumen de la carga y número de trozas, la pendiente del terreno, la distancia de madereo; además de los tiempos asociados a cada actividad dentro del ciclo, con el fin de construir funciones de tiempo y rendimiento para el sistema en estudio. La información se registró sobre las prácticas habituales de madereo, sin sugerir ningún tipo de cambio.

La cubicación individual de las trozas se obtuvo a partir de la función de volumen Smalian, la cual requiere los diámetros mayor y menor (medidos en centímetro mediante forcípula), y el largo total de la troza (medido en metros por huincha de distancia). El volumen total por ciclo de madereo (m^3/ciclo), se obtuvo sumando todos los volúmenes individuales de las trozas contenidas en una gavilla determinada.

La distancia de madereo fue medida en metros sobre la huella de madereo, y la pendiente fue medida en porcentaje con un clinómetro. Los tiempos de cada actividad se registraron en segundos (s), mediante cronometraje continuo con vuelta a cero. El estudio de madereo comprendió 6 jornadas de trabajo, con un registro total de 99 ciclos en el bosque y 17 entre el bosque y la cancha de acopio. La base de datos obtenida se entrega en Apéndice N° 21.

4.4 Descripción del Madereo con Tractor Agrícola

La operación típica del madereo comienza con el viaje vacío del tractor-carro, a través del camino troncal, desde la cancha de acopio hasta la zona de pre-arrumado en el bosque, donde el carro es estacionado para comenzar el madereo con cadena en el bosque.

Posteriormente, el tractor-cadena, sale desde la zona de pre-arrumado hacia los puntos donde se encuentran las gavillas, dirigiéndose sobre las huellas, que están o no

preestablecidas. Al llegar a este punto, el tractor-cadena debe acomodarse hasta quedar en posición adecuada para que el estrobero amarre la gavilla y ésta pueda ser levantada y posteriormente trasladada. En más de una ocasión el estrobero debe reacomodar la cadena para evitar que la gavilla se desarme.

Levantada la gavilla, el tractor-cadena inicia el viaje cargado por la misma huella hasta la zona de pre-arrumado. En esta zona, el tractor-cadena se posiciona en puntos específicos para el desamarre, una vez suelta la gavilla, el tractor recupera la cadena y se da vuelta para iniciar un nuevo ciclo de madereo hacia el bosque.

Una vez arrumadas las gavillas suficientes para conformar la carga del carro, el tractor toma el carro y se acomoda para comenzar el carguío manual (estrobero y chofer). Una vez cargado el carro, se inicia el viaje cargado, por el camino troncal, hacia la cancha de acopio. Al llegar a la cancha, el tractor-carro es acomodado a un costado de las hornillas de carbón. Junto con la descarga se realiza el trozado de la carga sobre el carro, dimensionada según el tamaño de la hornilla que se este armando. Una vez vaciado el carro, el tractor-carro se posiciona en el punto de partida inicial, dando fin a un ciclo completo de madereo.

4.5 Toma de Datos

La toma de datos fue desarrollada en dos fases, la primera consistió en el madereo de pre-arrumado con cadena en el bosque, donde la gavilla fue trasladada desde la zona de volteo hasta la zona de pre-arrumado; la segunda fase, correspondió al madereo con carro, en la cual las gavillas fueron trasladadas desde la zona de pre-arrumado en bosque hasta la cancha de acopio, donde se llevó a cabo la producción de carbón.

El madereo en el bosque se realizó tanto cuesta abajo como cuesta arriba, en pendientes absolutas entre los 2 y 30 %. La longitud de las huellas de madereo osciló entre los 12 y 134 m y se trazaron de acuerdo a la disposición de las gavillas en el terreno, a las

características topográficas y a la disposición espacial de los árboles remanentes. Los volúmenes por gavillas variaron entre los 0,36 y 1,10 m³.

El madereo con carro se realizó sobre en el camino troncal de tierra, dividido en siete tramos. De éstos, dos tramos se encontraron en el interior de la zona de madereo en el bosque, y presentaron una calidad de camino con mayor deterioro que los restantes, producto de la presencia de pendientes mayores, suelos más dañados, y una mayor cantidad de curvas y obstáculos. Las distancias de los tramos variaron entre los 66 y 105 m, y las pendientes absolutas entre los 2,5 y 17 %. El volumen del carro varió entre los 2,0 y 3,3 m³ y puede estar conformado de 3 a 7 gavillas por carga, lo cual depende de los volúmenes individuales de las gavillas.

En el armado de las gavillas en el bosque, las trozas fueron apiladas perpendicularmente sobre un palo, quedando sobrepasadas entre 30 a 40 cm, con el fin de amarrar manualmente la cadena en dicha posición. Así, se evita el desprendimiento de la gavilla cuando sea tirada y arrastrada por el tractor. La cadena de acero (de aproximadamente 5 cm de diámetro) fue montada en la parte trasera del tractor, y permitió llevar la gavilla semi-suspendida sobre el terreno. El funcionamiento mecánico de levantamiento de la gavilla es producido directamente por la toma de fuerza, la cual puede funcionar de forma independiente a la transmisión de velocidad de desplazamiento del tractor. El carro se fabricó con un chasis de dos ejes, sus dimensiones son de 2,0 m de ancho, 2,5 m de largo, y una altura de carga que fluctuó entre los 0,7 y 1,1 m.

4.6 Componentes del Ciclo de Madereo

Se determinaron funciones de tiempo y rendimiento para ambas fases del madereo, en base a la identificación de los componentes principales del ciclo de madereo detallados en el Cuadro N° 4 y Cuadro N° 5, y de los acomodos de cada componente del ciclo detallados en el Cuadro N° 6 y Cuadro N° 7.

Cuadro N° 4. Componentes principales del ciclo de madereo en bosque.

Componentes del Ciclo	Delimitación de la Actividad
	En bosque con cadena
Viaje vacío	Tiempo de traslado del tractor sin carga desde la cancha de pre-arrumado hasta la gavilla (ruma o carga) en el bosque.
Carga	Tiempo registrado desde la toma de la cadena para el estrobado hasta el fin de la acomodación de la ruma.
Viaje cargado	Tiempo de traslado de la ruma desde el bosque hasta la cancha de pre-arrumado.
Descarga	Tiempo registrado desde la detención en cancha de pre-arrumado para soltar la ruma hasta recuperar la cadena totalmente para iniciar otro ciclo de madereo.

Cuadro N° 5. Componentes principales del ciclo de madereo en cancha de acopio.

Componentes del Ciclo	Delimitación de la Actividad
	En cancha de acopio con carro
Viaje vacío	Tiempo de traslado del tractor sin carga desde la zona acopio hasta la cancha de pre-arrumado en bosque.
Carga	Tiempo registrado desde el primer movimiento de trozas sobre el carro hasta el fin de la acomodación de las rumas.
Viaje cargado	Tiempo de traslado de rumas sobre el carro desde la cancha de pre-arrumado en bosque a la zona de acopio.
Descarga	Tiempo registrado desde la detención en la zona de acopio para descargar las rumas hasta el inicio de un nuevo ciclo de viaje vacío.

Cuadro N° 6. Acomodos del ciclo de madereo en bosque.

Componentes del Ciclo	Delimitación de la Actividad
	En bosque con cadena
Acomodo viaje vacío	Tiempo registrado desde la llegada del tractor a la gavilla hasta la correcta posición de éste para iniciar la carga.
Acomodo carga	Tiempo registrado cuando se debió volver a colocar la cadena, debido al desprendimiento de ésta en el primer levantamiento de la carga.
Acomodo viaje cargado	Tiempo registrado desde la llegada del tractor a la cancha de pre-arrumado hasta quedar en posición adecuada para la descarga.
Acomodo descarga	Tiempo registrado desde que finaliza la descarga hasta que el tractor se posiciona en el punto de inicio para el nuevo ciclo de madereo.

Cuadro N° 7. Acomodos del ciclo de madereo en cancha de acopio.

Componentes del Ciclo	Delimitación de la Actividad
	En cancha de acopio con carro
Acomodo viaje vacío	Tiempo registrado desde la llegada del tractor a la cancha de pre-arrumado en bosque hasta dejar acomodado el carro al borde de ésta, para poder iniciar el madereo con cadena.
Acomodo carga	Tiempo registrado desde el enganche del carro hasta dejarlo en posición cercana a las gavillas para iniciar la carga.
Acomodo viaje cargado	Tiempo registrado desde la llegada del tractor a la zona de acopio hasta quedar en posición adecuada en las hornillas para poder descargar.
Acomodo descarga	Tiempo registrado desde la descarga total del carro hasta que el tractor se posicione en el punto de inicio para el nuevo ciclo de madereo.

Para determinar la producción esperada en cada fase estudiada, fue necesaria la obtención de funciones que relacionaron los tiempos requeridos en cada ciclo de madereo con las variables explicativas de interés que incidieron sobre estos tiempos de proceso. El

Cuadro N° 8 detalla las variables de interés registradas por componente del ciclo de maderero tanto para la fase con cadena y la fase con carro.

Cuadro N° 8. Variables de interés por componente principal del ciclo de maderero.

Componentes del Ciclo	Variables de Interés
Viaje vacío	Distancia [m], pendiente [%].
Carga	Volumen [m ³]*, número de trozas [#].
Viaje cargado	Distancia [m], pendiente [%], volumen [m ³], número de trozas [#].
Descarga	Volumen [m ³]*, número de trozas [#].

* Calculado a partir del diámetro menor, diámetro mayor y el largo de la troza.

4.7 Obtención de Funciones de Tiempo

El estudio se realizó sobre los tiempos productivos de los componentes del ciclo de maderero en ambas fases, en los cuales el equipo efectuó labores de extracción, que comprende los tiempos de viaje vacío, carga, viaje cargado, descarga, y aquellos tiempos de acomodo que presentó cada componente. Por lo tanto, no se registraron los tiempos improductivos, ni los tiempos no atribuibles a la faena de extracción misma, como aquéllos asociados a la elaboración de carbón, al volteo, al engavillado y otros.

Para obtener las funciones de tiempos que modelen las variables de interés, se seleccionaron modelos candidatos obtenidos mediante el método Back-wise, ajustando dichos modelos a través del programa estadístico Statgraphics. A los modelos resultantes de este proceso, con coeficientes de regresión significativos (a lo menos un modelo por cada componente del ciclo), se les comprobó los supuestos básicos de regresión lineal, a través de análisis gráfico y pruebas de hipótesis. Comprobados los supuestos, el criterio de selección utilizado para obtener el mejor modelo representativo por componente del ciclo

fue elegir el modelo con mayor coeficiente de determinación ajustado (R^2_{aj}) y mayor facilidad de uso posterior.

En el proceso de ajuste de los modelos seleccionados se realizaron las siguientes actividades relevantes: incorporación de variables indicadoras (cualitativas) en los modelos de cada componente del maderero para ambas fases; análisis de los valores atípicos, por medio de los gráficos y valores de los residuos estandarizados y DFFITS, con el fin de determinar si aquellos datos muy alejados del resto pudieron provocar cambios significativos en los modelos seleccionados al realizar nuevamente el ajuste sin ellos; y la transformación de variables de los modelos cuando presentaron dificultades para el cumplimiento de algún supuesto.

Si una variable dependiente (temporal) no pudo ser modelada mediante una regresión satisfactoria, se procedió a buscar una función de distribución de probabilidad (fdp) que permitiera modelarla, con el fin de obtener su valor esperado; para lo anterior se utilizó el programa estadístico de ajuste de distribuciones Statfit. Para la selección de una fdp específica se usó el criterio del mayor valor-p del test K-S. Las funciones probadas para estas variables dependientes fueron la distribución Lognormal, Log-logistic, Beta, Pearson, entre otras.

4.8 Determinación de Rendimiento

La función de rendimiento corresponde al volumen por ciclo dividido por el tiempo total que demora el ciclo. El tiempo fue expresado en horas productivas de máquina (HPM), y se obtuvo por medio de las regresiones de tiempo para los componentes del ciclo (viaje vacío y cargado, carga y descarga más sus respectivos acomodos).

$$R \text{ [m}^3/\text{HPM]} = \frac{3600 \text{ [s/HPM]} * \text{volumen promedio del ciclo [m}^3\text{]}}{\text{Función tiempo total del ciclo [s]}}$$

Función tiempo total del ciclo [s]

El tiempo total esperado por ciclo de madereo se obtuvo mediante la suma de las funciones lineales de tiempo de cada componente del ciclo, más el valor esperado de las variables temporales modeladas por funciones de distribución.

Para el caso particular de este estudio, se obtuvieron dos funciones de rendimiento, las que modelaron cada uno de los ocho componentes del sistema. La primera función fue para la faena entre el bosque y la cancha de acopio mediante madereo con carro; y la segunda fue para el madereo en bosque con cadena.

4.9 Determinación de Costo

El costo operacional del madereo se obtuvo analizando los costos fijos (valores iniciales de adquisición, alimentos, seguros, patentes, salarios, entre otros) y los costos variables (combustible, aceites, entre otros), con el fin de obtener el costo horario de los recursos empleados y el costo por metro cúbico de la operación de madereo. Para este propósito se recolectaron los costos diarios y mensuales, para determinar los costos de producción fijos y variables llegando de esta forma a obtener costos operacionales en pesos por metro cúbico del sistema en estudio. Se debe hacer notar que el tractor agrícola analizado fue comprado usado y reparado, por lo que su costo de inversión fue acorde a esta situación.

V.- PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

5.1 Obtención de los Modelos de Regresión Lineal

Previo al ajuste de regresiones se realizó una depuración de la información, la cual mostró dos datos muy alejados del valor promedio observado. El primer caso, observado en el viaje cargado desde el bosque a la cancha de acopio, el dato se originó con la disminución de la velocidad del tractor, producto del desacomodo de la carga durante el tramo registrado. Por lo anterior, el ajuste del tiempo de viaje cargado se realizó sin considerar este dato, lo cual no influyó en el rango de las variables explicativas. El segundo caso, observado en el viaje cargado en bosque, el dato fue originado por la disminución de la velocidad del tractor (debido a que la cadena aflojó la gavilla al resbalar y chocar con los árboles remanentes del trayecto). Por lo anterior, el ajuste del tiempo de viaje cargado se realizó sin considerar este dato, lo cual no influyó en el rango de las variables explicativas.

Para la obtención de los modelos de tiempo del maderero con carro y con cadena se utilizaron matrices de gráficos XY y matrices de correlación. Las primeras, en los Apéndices N° 2 y 10, muestran el tipo de relación existente entre el tiempo de cada componente del ciclo y sus variables explicativas (cuantitativas y cualitativas) respectivas. Las segundas, en los Apéndices N° 1 y 9, muestran cuales de las variables explicativas o transformaciones de ellas tienen un mayor grado de correlación con la variable dependiente. Ambas matrices señalan las posibles variables explicativas a incorporar y extraer de los modelos a generar.

El ajuste de los modelos se realizó mediante el método Back-wise, donde el análisis se inicia con un modelo general que incluye el máximo de variables explicativas. Se van descartando las variables una a una, eliminando la con menor influencia o mayor valor-p; de esta manera se generaron modelos con todos sus coeficientes de regresión significativos,

con valores-p menores o iguales 0,05. Posteriormente, a cada modelo generado se le comprobó los supuestos de MCO.

La normalidad se comprobó a través del gráfico de distribución de probabilidad normal de los residuos. Si los residuos se aproximan a una línea recta, la normalidad se acepta. Este supuesto se confirmó a través del estadístico K-S que evalúa la hipótesis nula (H_0): los residuos se distribuyen normalmente; donde un valor-p mayor a 0,05 indica el no rechazo de H_0 dando cumplimiento al supuesto.

En ambas faenas del maderero con carro y con cadena, la homocedasticidad se comprobó mediante el gráfico de residuos estandarizados. Si los residuos no muestran ningún patrón sistemático (caen en una banda horizontal centrada alrededor del cero) el supuesto se cumple. Además, debido a que en la faena con tractor-carro los niveles de tratamiento de la variable explicativa eran conocidos, la información gráfica fue ratificada con el estadístico de prueba de Cochran's (C), cumpliendo el supuesto con un valor-p mayor a 0,05. En modelos con comportamientos heterocedásticos y debido a la forma cónica de los gráficos de residuos estandarizados, se aplicaron transformaciones de tipo logarítmico en sus variables. Para detectar la existencia de multicolinealidad en los modelos se utilizó la matriz de correlación, valores de correlación entre un par de variables explicativas superiores a 0,5 implicó descartar el modelo de regresión asociado. Este grado de correlación se fijó en 0,5, con el fin de evitar problemas de multicolinealidad. Según Gujarati (1997), problemas serios de multicolinealidad se obtienen con correlaciones superiores a 0,8.

Verificada la significancia de los coeficientes de regresión y los supuestos de MCO, se seleccionó, para cada componente de ambas fases de maderero, el modelo con mayor coeficiente de determinación ajustado (R^2_{aj}) y mayor facilidad de uso posterior por su simpleza. En el caso de no existir regresiones con ajustes satisfactorios para las variables temporales, se procedió a modelar dichas variables a través de funciones de distribución de probabilidad (fdp). Las fdp con mejores ajustes fueron Beta, Log-Logistic, Normal,

Triangular, Pearson, Logistic, y Lognormal. Para cada variable temporal se eligió la fdp que presentó el mayor valor-p del estadístico K-S.

5.2 Análisis del Madereo con Carro desde el Bosque a la Cancha de Acopio

El resumen de los rangos de las variables explicativas para el madereo en cancha de acopio, para 119 observaciones obtenidas de 17 ciclos, se muestra en el Cuadro N° 9.

Cuadro N° 9. Resumen muestral para el madereo con carro.

Variables de Interés	Mínimo	Máximo	Media
Distancia madereo [m]	66,0	105,0	84,4
Pendiente [%]	2,5	17,0	12,8
Volumen [m³]	2,19	3,27	2,73
N° trozas [#]	77,0	115,0	101,8

5.2.1 Modelo de tiempo de viaje vacío

Ninguno de los 6 modelos de tiempo de viaje vacío ajustados, generados por el método Back-wise, en el Cuadro N° 18 del Apéndice N° 3, cumplió con ambos supuestos, de homocedasticidad y normalidad. Para poder solucionar estos problemas se aplicaron transformaciones de tipo logarítmicas en las variables, Cuadro N° 19. De estos modelos transformados se seleccionó el modelo (5t) que presentó el segundo R^2_{aj} mayor, el cual cumplió con el supuesto de normalidad a diferencia del de mayor R^2_{aj} , pero mantuvo el problema de heterocedasticidad en el test de Cochran's (valor-p = 0,001).

Por otra parte, al analizar los datos atípicos del modelo (5t), a través del gráfico (Figura N° 18) y los valores de los residuos estandarizados y DFFITS, se observó un valor muy

alejado del resto (-4,14 desviaciones estándar), el cual al ser eliminado provocó mejoras en los coeficientes de regresión, el coeficiente de determinación y el cumplimiento del supuesto de igualdad de varianzas, reportado en el modelo (5ta). Debido a lo anterior se presentan ambos modelos seleccionados, el primero con problemas de heterocedasticidad y el segundo con la disminución de un dato atípico en el total de observaciones, de 119 a 118.

El modelo (5t) de tiempo de viaje vacío consideró el total de datos en su ajuste y tuvo como variables de interés la distancia de madereo, la pendiente absoluta y la variable indicadora de la pendiente, donde:

$$\text{Ln(TpoVV)} = -0,517505 + 1,05453 * \text{Ln(Dist)} + 0,10822 * \text{Ln(PendAb)} - 0,32788 * \text{Binvv} \quad (5t)$$

Valor-p	0,3269	0,0000	0,0010	0,0000
Error estándar	0,525588	0,110165	0,0320847	0,0449552

$$R^2_{aj} = 66,3866 \quad \text{Error estándar de estimación} = 0,196226 \quad n = 119$$

Donde:

Ln(TpoVV) : Logaritmo natural de tiempo de viaje vacío [s].

Ln(Dist) : Logaritmo natural de distancia de madereo [m].

Ln(PendAb) : Logaritmo natural de pendiente absoluta [%].

Binvv : Variable indicadora viaje vacío de la pendiente; 0 a favor de la pendiente.
1 en contra de la pendiente.

Como el valor-p de cada coeficiente de regresión de las variables explicativas es menor a 0,01, existe evidencia altamente significativa que dichos coeficientes son distintos de cero, por lo tanto las variables explicativas aportan al modelo. Además, dado que el coeficiente asociado a la variable indicadora Binvv es significativo, el valor del intercepto del modelo cambiará si se viaja a favor o en contra de la pendiente.

El supuesto de normalidad fue aceptado, pues gráficamente los residuos tienden a una línea recta (Figura N° 19) y el valor-p (0,06) del estadístico de prueba K-S es mayor a 0,05. El supuesto de ausencia de multicolinealidad se cumplió, debido a que la matriz de correlación no presentó valores mayores a 0,5 entre las variables explicativas.

El modelo (5ta) de tiempo de viaje vacío, sin el dato atípico (número 108 de la planilla de datos en el Cuadro N° 53 del Apéndice N° 21), cumple con todos los supuestos de MCO y mantiene el mismo rango de las variables explicativas. Este valor atípico podría deberse a un error de digitación o una mala lectura en el cronómetro, pero de esto no hay evidencia.

$$\text{Ln(TpoVV)} = -0,69675 + 1,09684 * \text{Ln(Dist)} + 0,11265 * \text{Ln(PendAb)} - 0,34466 * \text{Binvv} \quad \textbf{(5ta)}$$

Valor-p	0,1612	0,0000	0,0003	0,0000
Error estándar	0,494105	0,103672	0,0300658	0,0422945

$$R^2_{aj} = 70,6645 \quad \text{Error estándar de estimación} = 0,183762 \quad n = 118$$

$$\text{Test } C_{cal} = 0,248471 \quad \text{Valor-p} = 0,155038$$

$$\text{Test K-S}_{cal} = 0,118524 \quad \text{Valor-p} = 0,0726$$

En ambos modelos (5t) y (5ta) se realizó la estimación de valores de tiempo de viaje vacío (Cuadro N° 45 del Apéndice N° 18), manteniendo fijas las variables explicativas dentro de los rangos muestrales del estudio, con el fin de comparar si existen diferencias significativas en el uso y la posterior aplicación de estos modelos. El modelo (5t) presentó heterocedasticidad, y por consiguiente estimaciones más amplias debidas a un mayor error estándar, pero al comparar los valores estimados del modelo (5ta) no se encontró grandes diferencias en los tiempos obtenidos, presentando variaciones de 1 a 3 segundos. De este análisis se concluyó que el modelo (5t) puede ser utilizado para predecir los tiempos de viaje vacío, aún presentando problemas de heterocedasticidad.

Además, de este mismo análisis se determinó que ambos modelos estiman con una diferencia no superior a 6 segundos los valores observados por tramos, y no superior a 9 segundos entre la suma total de los tramos. El uso de tres decimales en los valores de los coeficientes de regresión es suficiente, pues esta estimación difiere en menos de un segundo con la estimación usando todos los decimales para el tiempo de viaje vacío.

A continuación se presenta la forma operativa de trabajo, modelo (I), para el modelo seleccionado (5t).

$$\text{TpoVV} = e^{-0,518 - 0,328 * \text{Binvv}} * \text{Dist}^{1,055} * \text{PendAb}^{0,108} \quad (\text{I})$$

$$\text{Para Binvv} = 0: \quad \text{TpoVV} = 0,596 * \text{Dist}^{1,055} * \text{PendAb}^{0,108} \quad (\text{I}_0)$$

$$\text{Para Binvv} = 1: \quad \text{TpoVV} = 0,429 * \text{Dist}^{1,055} * \text{PendAb}^{0,108} \quad (\text{I}_1)$$

5.2.2 Modelo de tiempo de acomodo de viaje vacío

No se registraron variables explicativas que pudiesen estimar por medio de una regresión a la variable temporal de acomodo de viaje vacío. Luego, se procedió a ajustar una fdp que modele esta variable temporal. De las cuatro fdp ajustadas, Cuadro N° 21 en el Apéndice N° 4, se eligió la distribución normal, ya que ésta presentó un mayor valor-p (0,95) del estadístico K-S. Los parámetros asociados a esta distribución son:

$$\text{Media} = 170,471[\text{s}] \quad \text{Desviación estándar} = 46,9294 [\text{s}]$$

5.2.2 Modelo de tiempo de carga

Para la variable temporal de carga se probaron regresiones con las variables explicativas de volumen, trozas y transformaciones de éstas, sin obtener un ajuste satisfactorio, siendo

necesario ajustarlas a una fdp. De las cuatro fdp ajustadas, en el Cuadro N° 23 del Apéndice N° 5, se eligió la distribución triangular, ya que ésta presentó un mayor valor-p (0,99) del estadístico K-S. Los parámetros asociados a esta distribución son:

$$\text{Mínimo} = 1075,56[\text{s}] \quad \text{Máximo} = 1815,18[\text{s}] \quad \text{Moda} = 1254,45[\text{s}]$$

5.2.3 Modelo de tiempo de acomodo de carga

No se registraron variables explicativas que pudiesen estimar por medio de una regresión a la variable temporal de acomodo de carga. Luego, se procedió a ajustar una fdp que modele esta variable temporal. De las cuatro fdp ajustadas, Cuadro N° 23 en el Apéndice N° 5, se eligió la distribución log-logistic, ya que ésta presentó un mayor valor-p (0,998) del estadístico K-S. Los parámetros asociados a esta distribución son:

$$\text{Mínimo} = -511,478[\text{s}] \quad \text{Parámetro de forma} = 16,9327[\text{s}] \quad \text{Parámetro de escala} = 62,243[\text{s}]$$

5.2.5 Modelo de tiempo de viaje cargado

A través del método Back-wise se generaron 7 modelos de tiempo de viaje cargado, en el Cuadro N° 24 del Apéndice N° 6, los cuales cumplieron con los supuestos de MCO. De estos modelos se seleccionó el modelo (13) ya que presentó el mayor R^2_{aj} .

El modelo (13) presentó como variables de interés la distancia de madereo, la pendiente absoluta, la variable indicadora de la pendiente y el número de trozas, donde:

$$\text{TpoVC} = -48,2166 + 1,11747 * \text{Dist} + 2,6206 * \text{PendAb} + 96,901 * \text{Binvc} - 0,20039 * \text{Troza} \quad (13)$$

Valor-p	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0125
Error estándar	9,57755	0,0537486	0,188722	1,9352	0,078983

$$R^2_{aj} = 97,9744 \quad \text{Error estándar de estimación} = 8,11469 \quad n = 118$$

Donde:

TpoVC : Tiempo de viaje cargado [s].

Dist : Distancia de madereo [m].

PendAb: Pendiente absoluta [%].

Binvc : Variable indicadora viaje cargado de la pendiente; 0 a favor de la pendiente.
1 en contra de la pendiente.

Troza : Número de trozas [#].

Como el valor-p de cada coeficiente de regresión de las variables explicativas es menor a 0,01 y el coeficiente de troza es menor a 0,05, existe evidencia altamente significativa o significativa que dichos coeficientes son distintos de cero, por lo tanto las variables explicativas aportan al modelo. Además, dado que el coeficiente asociado a la variable indicadora Binvc es significativo, el valor del intercepto del modelo cambiará si se viaja a favor o en contra de la pendiente.

El supuesto de normalidad fue aceptado, ya que gráficamente los residuos tienden a una línea recta (Figura N° 26) y el valor-p (0,82) del estadístico de prueba K-S es mayor a 0,05. El supuesto de ausencia de multicolinealidad se cumplió, ya que la matriz de correlación no presentó valores mayores a 0,5 entre las variable explicativas.

El gráfico de residuos estandarizados mostró una banda horizontal homogénea, indicando el cumplimiento del supuesto de homocedasticidad (Figura N° 25) y el valor-p (0,25) del estadístico de prueba Cochran's es mayor a 0,05. Además, el análisis de datos atípicos, por medio de los residuos estandarizados y DFFITS, evidenció la existencia de otros dos valores atípicos alejados del resto (3,6 y 3,8 desviaciones estándar), pero estas dos observaciones no pueden ser eliminadas ya que no presentaron motivos para hacerlo.

La estimación del tiempo de viaje cargado del modelo (13), en el Cuadro N° 46 del Apéndice N° 18, estableció que dicho modelo estima con una diferencia no superior a 5 segundos los valores observados por tramos, y no superior a 1 segundo entre la suma total de los tramos. Además, se determinó que el uso de tres decimales en los valores de los coeficientes de regresión, no causó diferencias significativas en el valor total estimado de tiempo de viaje cargado, con respecto al uso de todos los decimales en dichos coeficientes (diferencia menor a 1 segundo).

A continuación se presenta la forma operativa de trabajo para el modelo (13):

$$\text{Para Binvc} = 0: \quad \text{TpoVC} = -48,217 + 1,117 * \text{Dist} + 2,621 * \text{PendAb} - 0,200 * \text{Troza} \quad (\text{II}_0)$$

$$\text{Para Binvc} = 1: \quad \text{TpoVC} = 48,685 + 1,117 * \text{Dist} + 2,621 * \text{PendAb} - 0,200 * \text{Troza} \quad (\text{II}_1)$$

5.2.6 Modelo de tiempo de acomodo de viaje cargado

No se registraron variables explicativas que pudiesen estimar por medio de una regresión a la variable temporal de acomodo de viaje cargado. Luego, se procedió a ajustar una fdp que modele esta variable temporal. De las cuatro fdp ajustadas, Cuadro N° 26 en el Apéndice N° 7, se eligió la distribución log-logistic, ya que ésta presentó un mayor valor-p (0,53) del estadístico K-S. Los parámetros asociados a esta distribución son:

$$\text{Mínimo} = 32,9104[\text{s}] \quad \text{Parámetro de forma} = 3,08936[\text{s}] \quad \text{Parámetro de escala} = 101,897[\text{s}]$$

5.2.7 Modelo de tiempo de descarga

Para la variable temporal de descarga se probaron regresiones con las variables explicativas de volumen, trozas y transformaciones de éstas, sin obtener un ajuste satisfactorio, siendo necesario ajustarlas a una fdp. De las cuatro fdp ajustadas, en el

Cuadro N° 28 del Apéndice N° 8, se eligió la distribución log-logistic, ya que ésta presentó un mayor valor-p (0,96) del estadístico K-S. Los parámetros asociados a esta distribución son:

Mínimo = -327,702[s] Parámetro de forma = 19,1141[s] Parámetro de escala = 1507,58[s]

5.2.8 Modelo de tiempo de acomodo de descarga

No se registraron variables explicativas que pudiesen estimar por medio de una regresión a la variable temporal de acomodo de descarga. Luego, se procedió a ajustar una fdp que modele esta variable temporal. De las cuatro fdp ajustadas, Cuadro N° 28 en el Apéndice N° 8, se eligió la distribución log-logistic, ya que ésta presentó un mayor valor-p (0,82) del estadístico K-S. Los parámetros asociados a esta distribución son:

Mínimo = -108,191[s] Parámetro de forma = 11,1806[s] Parámetro de escala = 239,99[s]

5.2.9 Rendimiento y tiempo total por ciclo de madereo con carro

El tiempo total del ciclo de madereo (TT) corresponde a la suma de los tiempos esperados para cada componente del ciclo y sus acomodos respectivos, donde:

$$TT = TpoVV + TpoAcoVV + TpoCar + TpoAcoCar + TpoVC + TpoAcoVC + TpoDes + TpoAcoDes$$

Los modelos (I) y (II) entregan directamente el tiempo de los componentes de viaje vacío y viaje cargado. El Cuadro N° 10 entrega los valores esperados de cada fdp seleccionada para los tiempos de carga, descarga y acomodos respectivos; estos promedios fueron obtenidos a través del programa estadístico Statfit. Para cada variable temporal y sus respectivos parámetros de la distribución ajustada, se realizó una corrida de 5,000 valores aleatorios, de los cuales se obtuvo el valor promedio y su desviación estándar.

Cuadro N° 10. Valores promedios para las fdp de las variables temporales.

Componente del Ciclo	fdp	Promedio [s]	Desviación Estándar [s]
Acomodo viaje vacío	Normal	171	46
Carga	Triangular	1385	158
Acomodo carga	Log-logistic	156	73
Acomodo viaje cargado	Log-logistic	157	124
Descarga	Log-logistic	1190	147
Acomodo descarga	Log-logistic	136	41
		$\Sigma = 3195$	

El tiempo de viaje vacío y cargado se obtuvo de los modelos (I) y (II) respectivamente, tanto para el viaje a favor y en contra de la pendiente, la cual varió entre los 2,5 y 17 %. Las distancias utilizadas en estas estimaciones corresponden a los tramos estudiados, variando entre los 66 y 105 metros.

La Figura N° 1 muestra una relación exponencial entre el tiempo de viaje vacío y la distancia de madereo para distintos porcentajes de pendientes de terreno, considerando una pendiente positiva para el viaje en contra de la pendiente (asociada a la variable indicadora Binvv igual a uno). Además, la Figura N° 1 muestra que el tiempo de viaje vacío crece a medida que la distancia de madereo aumenta, con variaciones de 4 a 5 segundos por cada 5 metros que se avance. En relación a la pendiente, cuando ésta es mayor el tiempo de viaje vacío aumenta. Además, se observa que un aumento de pendientes a favor provoca mayores tiempos que el aumento de pendientes en contra, diferencias que van desde los 15 a 30 segundos para iguales variaciones de pendientes a favor y en contra, a medida que se avanza en la distancia. Este comportamiento podría estar relacionado con la velocidad de viaje del tractor, ya que al ir a favor de la pendiente no se aplica mayor aceleración sobre la máquina.

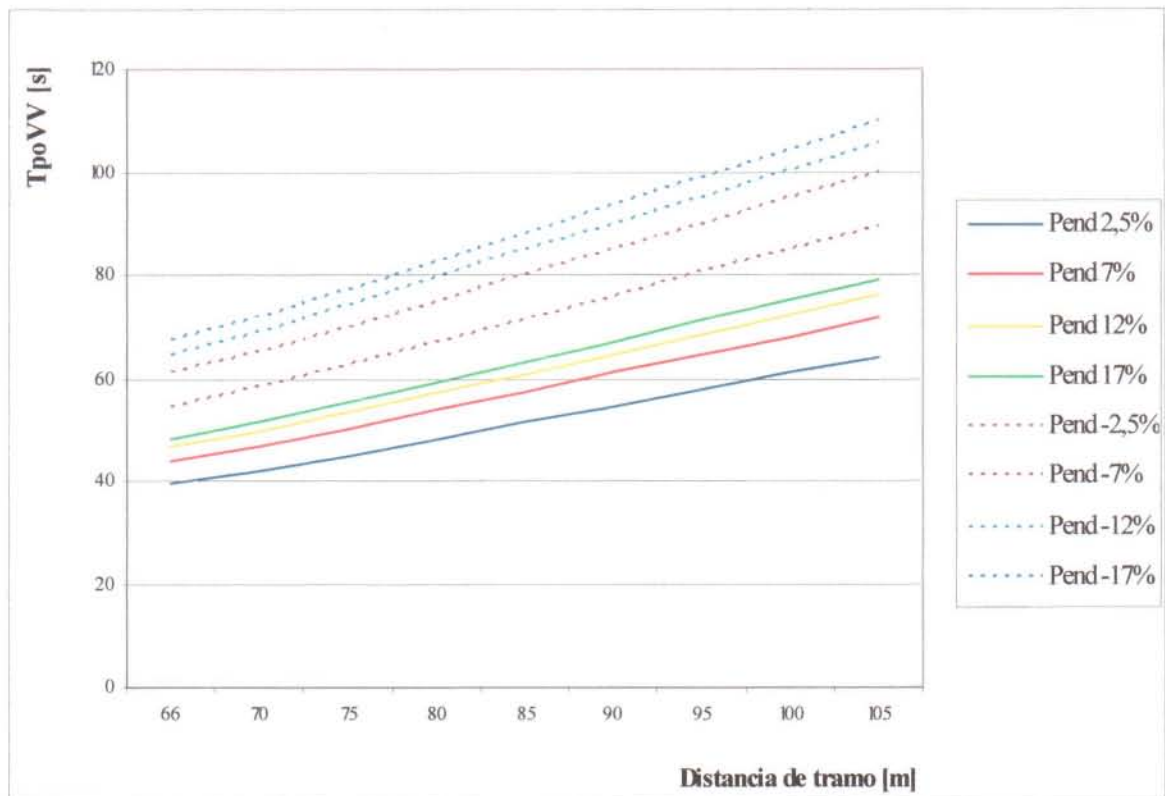


Figura N° 1. Tiempo de viaje vacío [s] del madereo con carro.

La Figura N° 2 muestra una relación lineal entre el tiempo de viaje cargado y la distancia de madereo para distintas pendientes, considerando una pendiente positiva para el viaje a favor de la pendiente (asociada a la variable indicadora Binvc igual a cero), con un número promedio de trozas de 102 unidades. Además, la Figura N° 2 muestra que el tiempo de viaje cargado crece a medida que la distancia de madereo aumenta, con variaciones de 6 segundos por cada 5 metros que se avance. En relación a la pendiente, cuando ésta es mayor el tiempo de viaje cargado aumenta. Además, se observa que un aumento de pendientes produce mayores efectos en el madereo en contra que a favor, existiendo una diferencia constante de 96 segundos para iguales variaciones de pendiente a favor y en contra, a medida que se avanza en la distancia. Esta diferencia de tiempo también podría estar relacionada a la calidad del camino, ya que los tramos contra la pendiente presentaron un mayor deterioro.

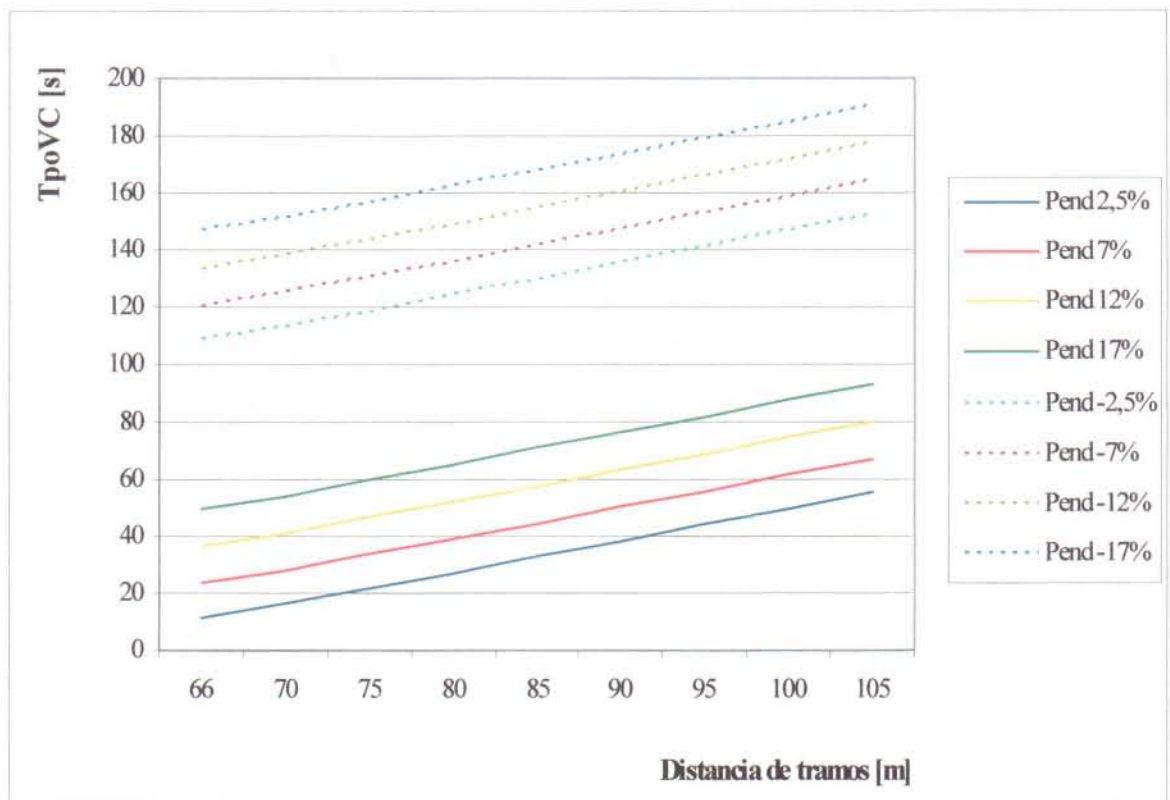


Figura N° 2. Tiempo de viaje cargado [s] del madereo con carro.

El rendimiento esperado para esta fase de madereo se obtuvo a través del cuociente entre el volumen promedio por ciclo, correspondiente a $2,73 \text{ m}^3$, y el tiempo total del ciclo. El tiempo total se obtuvo de la suma entre las variables temporales modeladas por fdp (3195 segundos), y la suma total de los tiempos estimados de viaje vacío y cargado para los 7 tramos, en sus respectivos rangos de estudio (la distancia total recorrida por el tractor-carro, 591 metros, es la suma de los 7 tramos estudiados).

$$\text{Rendimiento} = 3600 * 2,73 / (473 + 608 + 3195) [\text{m}^3/\text{HPM}]$$

$$\text{Rendimiento} = 2,3 [\text{m}^3/\text{HPM}]$$

El rendimiento obtenido esta determinado principalmente por los tiempos de carga y descarga, que en conjunto representan el 60% del tiempo total del ciclo, ambas actividades

fueron realizadas manualmente; el 40% del tiempo restante se distribuye en un 11% para el viaje vacío, un 14% para el viaje cargado y un 15% para los acomodos. Además, en la descarga se realizó una actividad secundaria, que consistió en el trozado de la carga a medida que se descargaba, por consiguiente, se podría deducir que si el tiempo de descarga hubiese sido sólo el 50% del registrado (sin el trozado), el rendimiento para esta fase hubiese aumentado en aproximadamente un 14% al rendimiento ya presentado.

Por otra parte, el rendimiento observado fue de 2,29 (m^3/HPM), muy similar al estimado, lo que hace pensar que tanto las regresiones como las fdp modelan de forma aceptable esta fase del madereo. El rendimiento obtenido está en estrecha relación con el pre-arreglado en bosque de la carga necesaria a transportar en el carro, lo cual podría influir en los tiempos de carga y descarga debido al agotamiento físico del personal al realizar el madereo previo con cadena.

5.3 Análisis del Madereo con Cadena en Bosque

El resumen de los rangos de las variables explicativas para el madereo en bosque, obtenidos de 99 ciclos, se muestra en el Cuadro N° 11.

Cuadro N° 11. Resumen muestral para el madereo con cadena.

Variables de Interés	Mínimo	Máximo	Media
Distancia madereo [m]	12,0	154,0	65,1
Pendiente [%]	2,0	30,0	18,4
Volumen [m³]	0,36	1,10	0,63
N° trozas [#]	12,0	42,0	22,9

5.3.1 Modelo de tiempo de viaje vacío

Los 6 modelos de tiempo de viaje vacío ajustados, generados por el método Backwise, en el Cuadro N° 33 del Apéndice N° 11, cumplieron con los supuestos de MCO. De estos modelos se seleccionó el modelo (19) ya que presentó el mayor R^2_{aj} .

El modelo (19) de tiempo de viaje vacío consideró el total de datos en su ajuste y tuvo como variables de interés la distancia de madereo, la pendiente absoluta, la variable indicadora de la pendiente, y la variable indicadora de retroceso, donde:

$$TpoVV = 11,802 + 1,374 *Dist + 1,201 *PendAb - 12,017 *Binvv - 12,746 *BinRet \quad (19)$$

Valor-p	0,0146	0,0000	0,0000	0,0006	0,0019
Error estándar	4,74435	0,063792	0,185072	3,39576	3,99604

$$R^2_{aj} = 88,4865 \quad \text{Error estándar de estimación} = 14,4715 \quad n = 99$$

Donde:

TpoVV : Tiempo de viaje vacío [s].

Dist : Distancia de madereo [m].

PendAb : Pendiente absoluta [%].

Binvv : Variable indicadora viaje vacío de la pendiente; 0 a favor de la pendiente.

1 en contra de la pendiente.

BinRet : Variable indicadora de retroceso; 0 viaje retrocediendo.

1 viaje normal en punta.

Como el valor-p de cada coeficiente de regresión de las variables explicativas es menor a 0,01, existe evidencia altamente significativa que dichos coeficientes son distintos de cero, por lo tanto las variables explicativas aportan al modelo. Además, dado que los coeficientes asociados a las variables indicadoras Binvv y BinRet son significativas, el valor del intercepto del modelo cambiará si se viaja a favor o en contra de la pendiente y si se entra o no retrocediendo.

El supuesto de normalidad fue aceptado, ya que gráficamente los residuos tienden a una línea recta (Figura N° 35) y el valor-p (0,78) del estadístico de prueba K-S es mayor a 0,05. El supuesto de ausencia de multicolinealidad se cumplió, ya que la matriz de correlación no presentó valores mayores a 0,5 entre las variable explicativas.

El gráfico de residuos estandarizados mostró una banda horizontal homogénea, indicando el cumplimiento del supuesto de homocedasticidad (Figura N° 34). Además, no se advirtieron datos atípicos relevantes que influyeran en el modelo seleccionado.

El modelo (19) presenta tres decimales en sus coeficientes de regresión, debido a que las diferencias respecto a la estimación del tiempo de viaje vacío utilizando todos los decimales es menor a 1 segundo. Además, las estimaciones del tiempo de viaje vacío, para diferentes valores de las variables indicadoras, en el Cuadro N° 50 del Apéndice N° 19,

estableció que estiman con una diferencia no superior a 8 segundos respecto al valor promedio observado.

A continuación se presenta la forma operativa de trabajo para el modelo (19).

Para $\text{Bin}_{vv} = 0$, $\text{Bin}_{ret} = 0$:

$$\text{Tpo}_{VV} = 11,802 + 1,374 * \text{Dist} + 1,201 * \text{PendAb} \quad (\text{III}_{00})$$

Para $\text{Bin}_{vv} = 1$, $\text{Bin}_{ret} = 0$:

$$\text{Tpo}_{VV} = -0,215 + 1,374 * \text{Dist} + 1,201 * \text{PendAb} \quad (\text{III}_{10})$$

Para $\text{Bin}_{vv} = 0$, $\text{Bin}_{ret} = 1$:

$$\text{Tpo}_{VV} = -0,944 + 1,374 * \text{Dist} + 1,201 * \text{PendAb} \quad (\text{III}_{01})$$

Para $\text{Bin}_{vv} = 1$, $\text{Bin}_{ret} = 1$:

$$\text{Tpo}_{VV} = -12,961 + 1,374 * \text{Dist} + 1,201 * \text{PendAb} \quad (\text{III}_{11})$$

5.3.2 Modelo de tiempo de acomodo de viaje vacío

No se registraron variables explicativas que pudiesen estimar por medio de una regresión a la variable temporal de acomodo de viaje vacío. Luego, se procedió a ajustar una fdp que modele esta variable temporal. De las cuatro fdp ajustadas, Cuadro N° 35 en el Apéndice N° 12, se eligió la distribución log-logistic, ya que ésta presentó un mayor valor-p (0,66) del estadístico K-S. Los parámetros asociados a esta distribución son:

$$\text{Mínimo} = 9[\text{s}] \quad \text{Parámetro de forma} = 1,83351[\text{s}] \quad \text{Parámetro de escala} = 34,6118[\text{s}]$$

5.3.3 Modelo de tiempo de carga más acomodo de carga

La mayoría de los 6 modelos de tiempo de carga más acomodo ajustados, generados por el método Back-wise, en el Cuadro N° 36 del Apéndice N° 13, presentaron heterocedasticidad en sus gráficos de residuos estandarizados. Para poder solucionar este problema se aplicaron transformaciones logarítmicas a las variables, Cuadro N° 37, provocando cambios visuales significativos para el cumplimiento de homocedasticidad.

De los modelos transformados se eligió el modelo (23t), por presentar el tercer R^2_{aj} mayor, facilidad de aplicación y por tener un grado de correlación más bajo entre sus variables explicativas, a diferencia de los dos modelos que reportaron mayores R^2_{aj} .

Por otra parte, el análisis gráfico del modelo (23t) indicó la presencia de dos datos atípicos muy alejados del resto, los cuales no tienen justificación operativa, pero que al ser eliminados provocaron mejoras en el ajuste, reportados en el modelo (23ta). Debido a lo anterior se presentan ambos modelos seleccionados, el primero con todos los datos y el segundo con la disminución de dos datos atípicos en el total de observaciones, de 99 a 97. Cabe mencionar que este componente de carga del ciclo de madereo fue el único que pudo relacionarse y ajustarse con su tiempo de acomodo de carga.

El modelo (23t) de tiempo de carga más acomodo consideró el total de datos en su ajuste y tuvo como variables de interés el volumen Smalian y la variable indicadora de acomodo de carga, donde:

$$\text{Ln (TpoCar + Acom)} = 3,25804 + 1,00535 * \text{VolSm} + 0,896753 * \text{Bin} \quad (23t)$$

Valor-p	0,0000	0,0000	0,0000
Error estándar	0,119468	0,218548	0,085859

$$R^2_{aj} = 73,1224 \quad \text{Error estándar de estimación} = 0,328027 \quad n = 99$$

Donde:

$\ln(\text{TpoCar} + \text{Acom})$: Logaritmo natural de tiempo de carga más acomodo [s].

VolSm : Volumen Smalian de la carga [m^3].

Bin : Variable indicadora de acomodo de carga; 0 sin acomodo.
1 con acomodo.

Como el valor-p de cada coeficiente de regresión de las variables explicativas es menor a 0,01, existe evidencia altamente significativa que dichos coeficientes son distintos de cero, por lo tanto las variables explicativas aportan al modelo. Además, dado que el coeficiente asociado a la variable indicadora Bin es significativa, el valor del intercepto del modelo cambiará si existe o no acomodo de la carga.

El supuesto de normalidad fue aceptado, ya que gráficamente los residuos tienden a una línea recta (Figura N° 40) y el valor-p (0,97) del estadístico de prueba K-S es mayor a 0,05. El cumplimiento del supuesto de ausencia de multicolinealidad está sujeto a un grado de correlación de 0,56, dado entre las variables explicativas VolSm y Bin; pese a que este valor es mayor a 0,5, el supuesto fue aceptado pues dicho valor no supera el grado de correlación 0,8, en el cual la multicolinealidad es considerada un serio problema.

El gráfico de residuos estandarizados mostró una banda horizontal homogénea, indicando el cumplimiento del supuesto de homocedasticidad (Figura N° 39). Además, el análisis de datos atípicos, por medio de los residuos estandarizados y DFFITS, evidenció la existencia de dos valores atípicos muy alejados del resto (3,4 y -3,3 desviaciones estándar), los cuales al ser eliminados, provocaron mejoras reportadas en el modelo (23ta).

El modelo (23ta) de tiempo de carga más acomodo de carga, sin los datos atípicos (número 9 y 17 de la planilla de datos en el Cuadro N° 56 del Apéndice N° 21), cumple con todos los supuestos de MCO y mantiene el mismo rango de las variables explicativas.

$$\text{Ln (TpoCar + Acom)} = 3,21148 + 1,10327 * \text{VolSm} + 0,874305 * \text{Bin} \quad (23\text{ta})$$

Valor-p	0,0000	0,0000	0,0000
Error estándar	0,109294	0,201008	0,0787049

$$R^2_{aj} = 77,6862 \quad \text{Error estándar de estimación} = 0,295027 \quad n = 97$$

$$\text{Test K-S}_{Cal} = 0,0487741 \quad \text{Valor-p} = 0,975134$$

En ambos modelos (23t) y (23ta) se realizó la estimación de los valores de tiempo de carga más acomodo, manteniendo fijas las variables explicativas dentro de los rangos muestrales del estudio, con el fin de comparar si existen diferencias en el uso y la posterior aplicación de estos modelos (Cuadro N° 51, Apéndice N° 19). No se encontraron grandes diferencias en los tiempos obtenidos, presentando variaciones de 1 a 4 segundos; concluyendo, que el modelo (23t) puede ser utilizado para predecir los tiempos de carga más acomodo.

El uso de tres decimales en los valores de los coeficientes de regresión es suficiente, pues esta estimación difiere en menos de un segundo con la estimación usando todos los decimales para el tiempo de carga más acomodo. Además, las estimaciones del tiempo de carga con acomodo, en el Cuadro N° 52 del Apéndice N° 19, establecieron una diferencia no superior a 12 segundos respecto al valor promedio observado. A continuación se presenta la forma operativa de trabajo, modelo (IV), para el modelo seleccionado (23t).

$$\text{TpoCar} + \text{Acom} = 25,999 * e^{1,005 * \text{VolSm} + 0,897 * \text{Bin}} \quad (IV)$$

$$\text{Para Bin} = 0, \quad \text{TpoCar} + \text{Acom} = 25,999 * e^{1,005 * \text{VolSm}} \quad (IV_0)$$

$$\text{Para Bin} = 1, \quad \text{TpoCar} + \text{Acom} = 63,755 * e^{1,005 * \text{VolSm}} \quad (IV_1)$$

5.3.4 Modelo de tiempo de viaje cargado

Casi todos los modelos de tiempo de viaje cargado ajustados, generados por el método Back-wise, en el Cuadro N° 38 del Apéndice N° 14, presentaron falta de significancia en sus variables explicativas de pendiente, indicadora y trozas; exceptuando el modelo (32) elegido, que además presentó el mayor R^2_{aj} . Este último cumplió con todos los supuestos de MCO.

El modelo de tiempo de viaje cargado (32), tuvo como única variable de interés la distancia de madereo, y está representado por el modelo operativo de trabajo (V):

$$\text{TpoVC} = 13,919 + 1,740 * \text{Dist} \quad (\text{V})$$

Valor-p	0,0003	0,0000
Error estándar	3,70483	0,0520928

$$R^2_{aj} = 91,9922 \quad \text{Error estándar de estimación} = 14,884 \quad n = 98$$

Donde:

TpoVC : Tiempo de viaje cargado [s].

Dist : Distancia de madereo [m].

Como el valor-p del coeficiente de regresión de la variable explicativa es menor a 0,01, existe evidencia altamente significativa que este coeficiente es distinto de cero, por lo tanto la variable explicativa aporta al modelo.

El supuesto de normalidad fue aceptado, ya que gráficamente los residuos tienden a una línea recta (Figura N° 44) y el valor-p (0,71) del estadístico de prueba K-S es mayor a 0,05.

El supuesto de ausencia de multicolinealidad se cumple, ya que existe sólo una variable explicativa en el modelo.

El gráfico de residuos estandarizados mostró una banda horizontal homogénea, indicando el cumplimiento del supuesto de homocedasticidad (Figura N° 43). Además, el análisis de datos atípicos, por medio de los residuos estandarizados y DFFITS, no evidenció la existencia de otros datos atípicos que influyesen en el modelo.

El uso de tres decimales en los valores de los coeficientes de regresión, no causó diferencias significativas en el valor total estimado de tiempo de viaje cargado, con respecto al uso de todos los decimales en dichos coeficientes (menor a 1 segundo). Además, las estimaciones del tiempo de viaje cargado, en el Cuadro N° 50 del Apéndice N° 19, estableció una diferencia no superior a 1 segundo respecto al valor promedio observado.

5.3.5 Modelo de tiempo de acomodo de viaje cargado

No se registraron variables explicativas que pudiesen estimar por medio de una regresión a la variable temporal de acomodo de viaje cargado. Luego, se procedió a ajustar una fdp que modele esta variable temporal. De las cuatro fdp ajustadas, Cuadro N° 40 en el Apéndice N° 15, se eligió la distribución log-logistic, ya que ésta presentó un mayor valor-p (0,92) del estadístico K-S. Los parámetros asociados a esta distribución son:

Mínimo = 10[s] Parámetro de forma = 1,93968 [s] Parámetro de escala = 14,6811 [s]

5.3.6 Modelo de tiempo de descarga

Los 3 modelos de tiempos de descarga ajustados, generados por el método Back-wise, en el Cuadro N° 41 del Apéndice N° 16, presentaron tendencias heterocedásticas en sus

gráficos de residuos estandarizados. Para poder solucionar este problema se aplicaron transformaciones logarítmicas en las variables, provocando cambios visuales significativos para el cumplimiento de homocedasticidad, Cuadro N° 42. De los modelos transformados se eligió el modelo (35t) ya que presentó el mayor R^2_{aj} . Además, el análisis gráfico del modelo (35t) indicó la presencia de tres datos atípicos muy alejados del resto, los cuales no tienen justificación operativa, pero que al ser eliminados provocaron mejoras en el ajuste, reportados en el modelo (35ta). Debido a lo anterior se presentan ambos modelos seleccionados, el primero con todos los datos y el segundo con la disminución de tres datos atípicos en el total de observaciones, de 99 a 96.

El modelo de tiempo de descarga (35t) consideró el total de datos en su ajuste y tuvo como variables de interés el volumen Smalian, donde:

$$\text{Ln (TpoDes)} = 3,46235 + 0,501833 * \text{Ln (VolSm)} \quad (35t)$$

Valor-p	0,0000	0,0000
Error estándar	0,0539214	0,0920085

$$R^2_{aj} = 22,6814 \quad \text{Error estándar de estimación} = 0,265879 \quad n = 99$$

Donde:

Ln (TpoDes) : Logaritmo natural de tiempo de descarga [s].

Ln (VolSm) : Logaritmo natural de volumen Smalian [m³].

Como el valor-p del coeficiente de regresión de la variable explicativa es menor a 0,01, existe evidencia altamente significativa que este coeficiente es distinto de cero, por lo tanto la variable explicativa aporta al modelo.

El supuesto de normalidad fue aceptado, ya que gráficamente los residuos tienden a una línea recta (Figura N° 49) y el valor-p (0,68) de estadístico de prueba K-S es mayor a 0,05. El supuesto de ausencia de multicolinealidad se cumple, ya que existe sólo una variable explicativa en el modelo.

El gráfico de residuos estandarizados mostró una banda horizontal homogénea, indicando el cumplimiento del supuesto de homocedasticidad (Figura N° 48). Además, el análisis de datos atípicos, por medio de los residuos estandarizados y DFFITS, evidenció la existencia de tres datos atípicos muy alejados del resto (2,8, 3,3 y 3,9 desviaciones estándar), los cuales al ser eliminados provocaron mejoras en el modelo (35t) seleccionado.

El modelo de tiempo de descarga (35ta), sin los datos atípicos (número 5, 9 y 15 de la planilla de datos en el cuadro N° 56 del Apéndice N° 21), cumple con todos los supuestos de MCO y mantiene el mismo rango de las variables explicativas.

$$\text{Ln (TpoDes)} = 3,48282 + 0,595393 * \text{Ln(VolSm)} \quad (35ta)$$

Valor-p	0,0000	0,0000
Error estándar	0,044898	0,077737

$$R^2_{aj} = 37,7707 \quad \text{Error estándar de estimación} = 0,220249 \quad n = 96$$

$$\text{Test K-S}_{Cal} = 0,0737036 \quad \text{Valor-p} = 0,674125$$

En ambos modelos (35t) y (35ta) se realizó la estimación de sus valores de tiempo de descarga, manteniendo fija la variable explicativa dentro de los rangos muestrales del estudio, con el fin de comparar si existen diferencias en el uso y la posterior aplicación de estos modelos (Cuadro N° 51 del Apéndice N° 19). No se encontraron grandes diferencias en los tiempos obtenidos, presentando variaciones menores a 1 segundo; concluyendo que el modelo (35t) puede ser utilizado para predecir los tiempos. Además, se determinó que el

uso de tres decimales en los valores de los coeficientes de regresión, no causó diferencias significativas en el valor total estimado de tiempo de descarga, con respecto al uso de todos los decimales en dichos coeficientes (diferencia menor a 1 segundo). Además, las estimaciones del tiempo de descarga, en el Cuadro N° 52 del Apéndice N° 19, establecieron una diferencia no superior a 1 segundo respecto al valor promedio observado.

A continuación se presenta la forma operativa de trabajo para el modelo seleccionado (35t), representada por el modelo (VI):

$$\text{TpoDesc} = 31,892 * \text{VolSm}^{0,502} \quad (\text{VI})$$

5.3.7 Modelo de tiempo de acomodo de descarga

No se registraron variables explicativas que pudiesen estimar por medio de una regresión a la variable temporal de acomodo de descarga. Luego, se procedió a ajustar una fdp que modele esta variable temporal. De las cuatro fdp ajustadas, Cuadro N° 44 en el Apéndice N° 17, se eligió la distribución log-logistic, ya que ésta presentó un mayor valor-p (0,87) del estadístico K-S. Los parámetros asociados a esta distribución son:

Mínimo = 4,84938[s] Parámetro de forma = 4,97406[s] Parámetro de escala = 43,0906[s]

5.3.8 Rendimiento y tiempo total por ciclo del madereo con cadena

El tiempo total del ciclo de madereo (TT) corresponde a la suma de los tiempos esperados para cada componente del ciclo y sus acomodos respectivos, donde:

$$\text{TT} = \text{TpoVV} + \text{TpoAcoVV} + \text{TpoCar} + \text{AcoCar} + \text{TpoVC} + \text{TpoAcoVC} + \text{TpoDes} + \text{TpoAcoDes}$$

Los modelos (III), (IV), (V) y (VI) entregan directamente el tiempo de los componentes de viaje vacío, descarga más acomodo, viaje cargado y descarga respectivamente. El Cuadro N° 12 entrega los valores promedios de cada fdp seleccionada para los tiempos de viaje vacío, viaje cargado y descarga; estos promedios fueron obtenidos a través del programa estadístico Statfit. Para cada variable temporal y sus respectivos parámetros de la distribución ajustada, se realizó una corrida de 5,000 valores aleatorios, de los cuales se obtuvo el valor promedio y su desviación estándar.

Cuadro N° 12. Valores promedios para las fdp de las variables temporales.

Componente del Ciclo	fdp	Promedio [s]	Desviación Estándar [s]
Acomodo viaje vacío	Log-logistic	77	42
Acomodo viaje cargado	Log-logistic	36	12
Acomodo descarga	Log-logistic	51	19
		$\Sigma = 164$	

El tiempo de viaje vacío y cargado se obtuvo de los modelos (III) y (V) respectivamente, tanto para el viaje a favor y en contra de la pendiente, la cual que varió entre los 2 y 30 %. Las distancias utilizadas en estas estimaciones variaron entre los 12 y 154 m. El tiempo de carga más acomodo y descarga se obtuvo de los modelos (IV) y (VI) respectivamente, y se utilizó un volumen promedio por ciclo de 0,63 m³.

La Figura N° 3 muestra una relación lineal entre el tiempo de viaje vacío y la distancia de madereo para distintos porcentajes de pendientes de terreno, considerando una pendiente positiva para el viaje en contra de la pendiente (asociada a la variable indicadora Bin_{vv} igual a uno). Este tiempo está relacionado a la variable indicadora Bin_{Ret} igual a cero (viaje retrocediendo). Además, la Figura N° 3 muestra que el tiempo de viaje vacío crece a medida que la distancia de madereo aumenta, con variaciones de 27 segundos por cada 20 metros que se avance (1,4 segundos por metro). En relación a la pendiente, cuando ésta es mayor el tiempo de viaje vacío aumenta (1,2 segundos por grado de pendiente); además, se

observa que un aumento de pendientes produce mayores efectos en el madereo a favor que en contra, diferencias constantes de 12 segundos por cada grado de aumento en la pendiente (para iguales variaciones de pendientes a favor y en contra). Por otra parte, se observa que para los porcentajes de las pendientes -2 con 12, -7 con 17, -17 con 27 y -22 con 32, los tiempos de viaje vacío se igualan en la misma línea de regresión, esto se debe a que los coeficientes de regresión de la variable Bin_{vv} y de la pendiente absoluta son múltiplos entre sí, y cualquier variación en un 10% absoluto de pendiente entre los valores antes mencionados, provocará la igualación de tiempos.

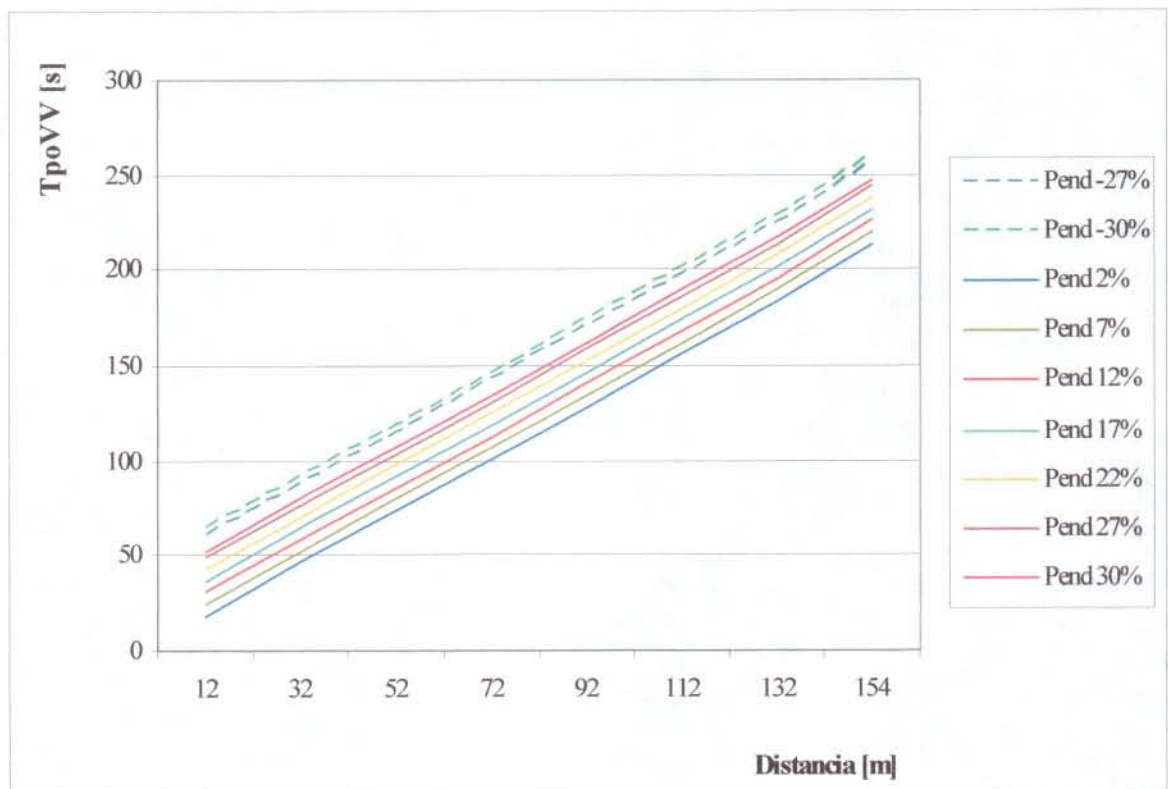


Figura N° 3. Tiempo de viaje vacío [s], retrocediendo, del madereo con cadena.

La Figura N° 4 muestra una relación lineal entre el tiempo de viaje vacío y la distancia de madereo para distintos porcentajes de pendientes de terreno, considerando una pendiente positiva para el viaje en contra de la pendiente (asociada a la variable indicadora Bin_{vv} igual a uno). Este tiempo está relacionado a la variable indicadora Bin_{Ret} igual a uno.

(viaje normal en punta). Además, la Figura N° 4 muestra que el tiempo de viaje vacío crece a medida que la distancia de madereo aumenta (1,4 segundos por cada metro de avance). En relación a la pendiente, cuando ésta es mayor el tiempo de viaje vacío aumenta (1,2 segundos por grado de pendiente); además, se observa que un aumento de pendientes producen mayores efectos en el madereo a favor que en contra, diferencias constantes de 12 segundos por cada grado de aumento en la pendiente (para iguales variaciones de pendientes a favor y en contra). Al igual que en la Figura N° 4, los coeficientes de regresión de la variable B_{inv} y de la pendiente absoluta serán los mismos para variaciones de pendiente absoluta de 10% a favor y en contra, igualando los tiempos de viaje vacío.

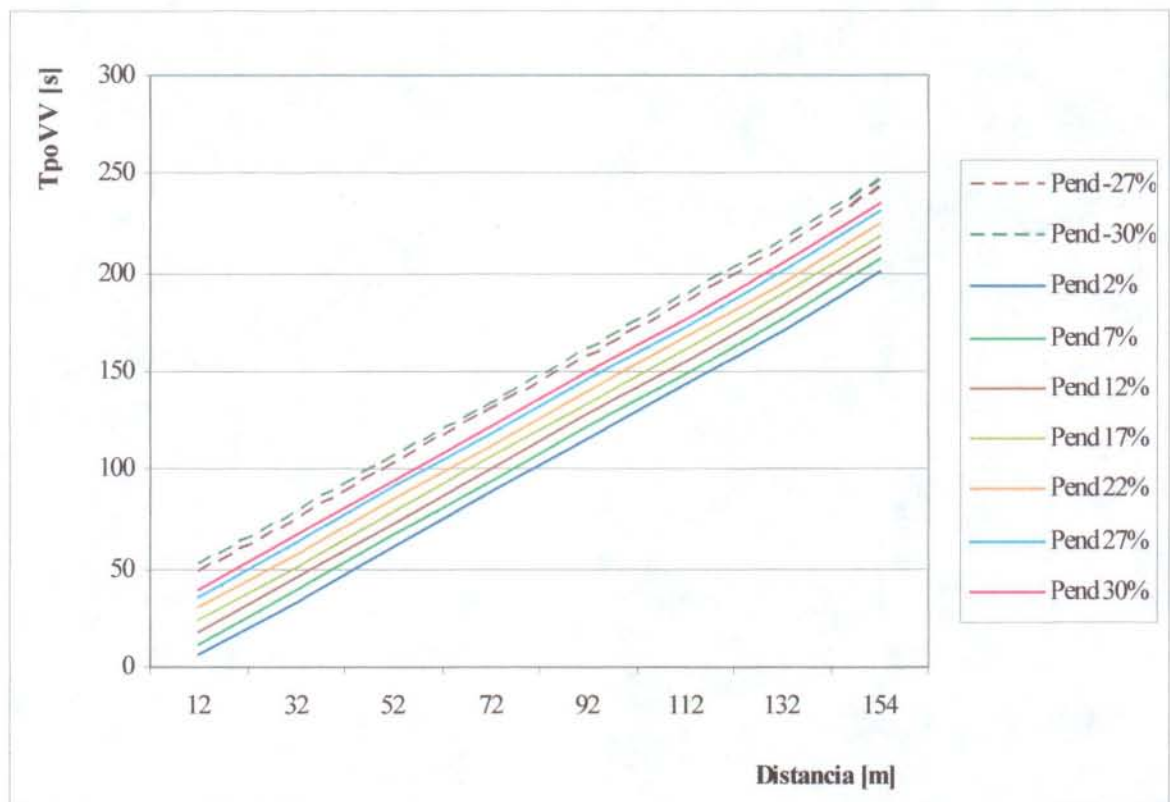


Figura N° 4. Tiempo de viaje vacío [s], normal en punta, del madereo con cadena.

Al observar los tiempos de las Figuras (3) y (4), se puede apreciar que la influencia de entrar retrocediendo a buscar la gavilla al bosque (manteniendo fijas la distancia y la

pendiente), provoca un aumento de aproximadamente 12 segundos respecto al entrar de forma normal en punta.

La Figura N° 5 muestra una relación lineal entre el tiempo de viaje vacío y la distancia de maderero para distintos porcentajes de pendientes de terreno, considerando una pendiente positiva para el viaje en contra de la pendiente (asociada a la variable indicadora Binvv igual a uno). Este tiempo está relacionado a una ponderación observada en terreno, respecto a un 81% de ciclos en que el tractor entra normal y un 19% que entra retrocediendo. Esta Figura N° 5 pretende entregar valores de tiempo de viaje vacío más cercanos a la realidad de la operación estudiada. Se observa que los tiempos se asemejan más a la Figura N° 4, ya que ésta presento un mayor porcentaje de la frecuencia de ocurrencia del viaje en forma normal.

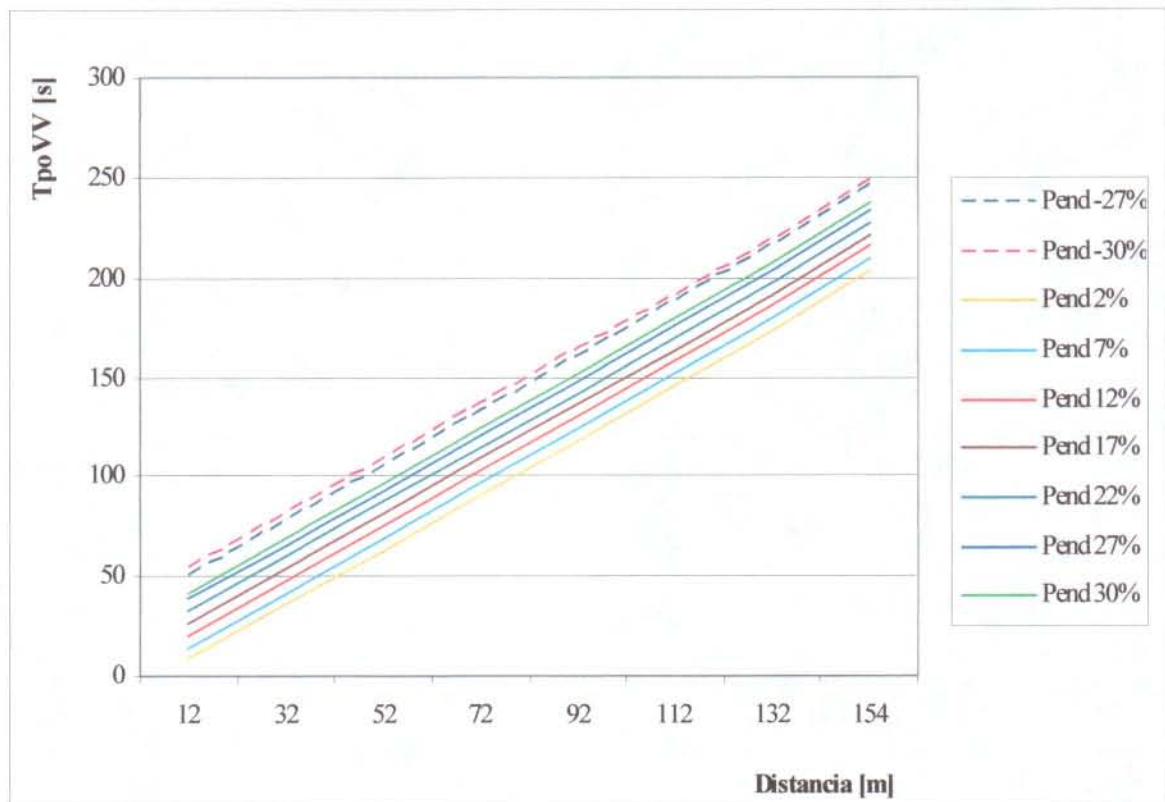


Figura N° 5. Tiempo de viaje vacío [s], ponderación observada, del maderero con cadena.

La Figura N° 6 muestra una relación exponencial entre el tiempo de carga más acomodo de carga y el volumen Smalian [m^3]. Este tiempo está relacionado a la variable indicadora de acomodo de carga, presentando los tiempos con y sin acomodo y además, el tiempo con una ponderación observada en terreno de un 69% de los ciclos con acomodo y un 31% sin acomodo de carga. Además, la Figura N° 6 muestra que el tiempo de carga con o sin acomodo crece a medida que el volumen aumenta. En relación a la variable indicadora de acomodo, cuando está presente existe un mayor tiempo de carga, respecto cuando no existe acomodo, encontrando diferencias desde 54 a 114 segundos a medida que el volumen aumenta. Por otra parte, al existir un mayor porcentaje de la frecuencia de ocurrencia de acomodos en terreno, se ve que los tiempos observables se aproximan más a la línea de regresión del tiempo con la variable indicadora igual a uno (con acomodo).

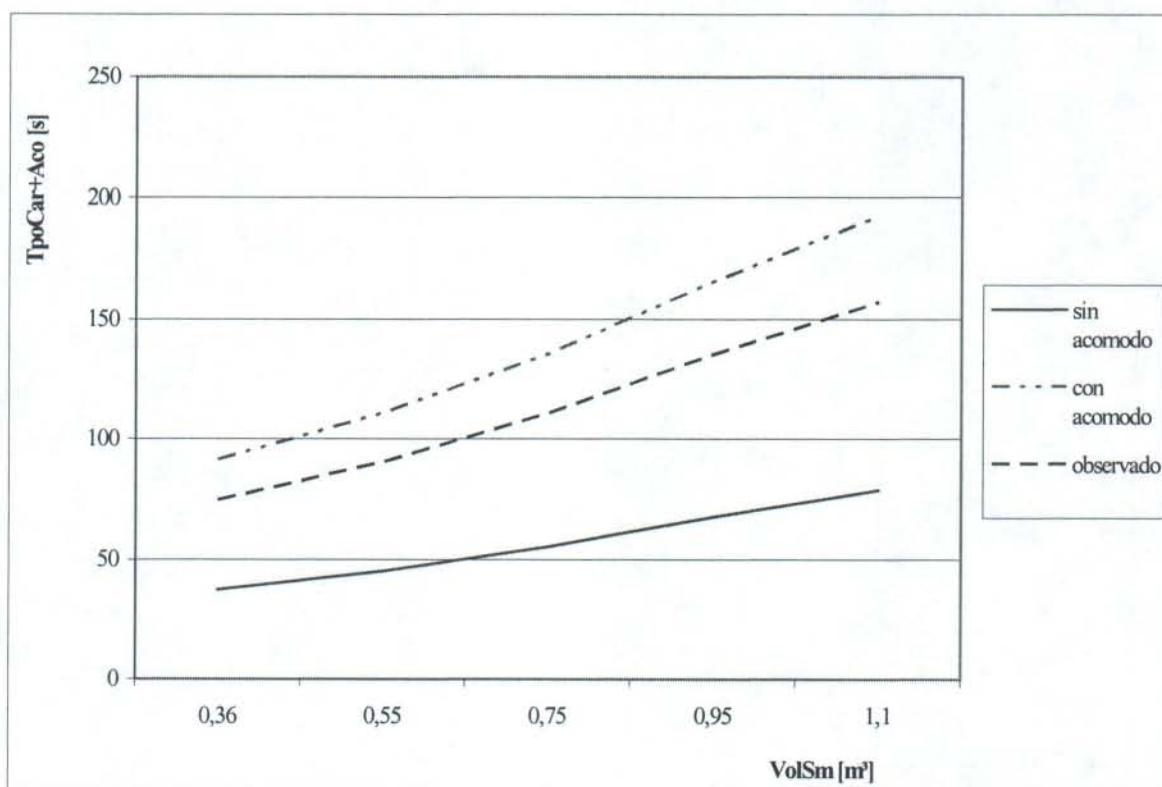


Figura N° 6. Tiempo de carga más acomodo [s] del maderero con cadena.

La Figura N° 7 muestra una relación lineal entre el tiempo de viaje cargado y la distancia de madereo. Además, muestra que a medida que la distancia aumenta el tiempo de viaje cargado crece 1,7 segundos por cada metro que se avance. El tiempo de viaje cargado no varió debido a otras variables medidas en terreno (pendiente y carga a transportar).

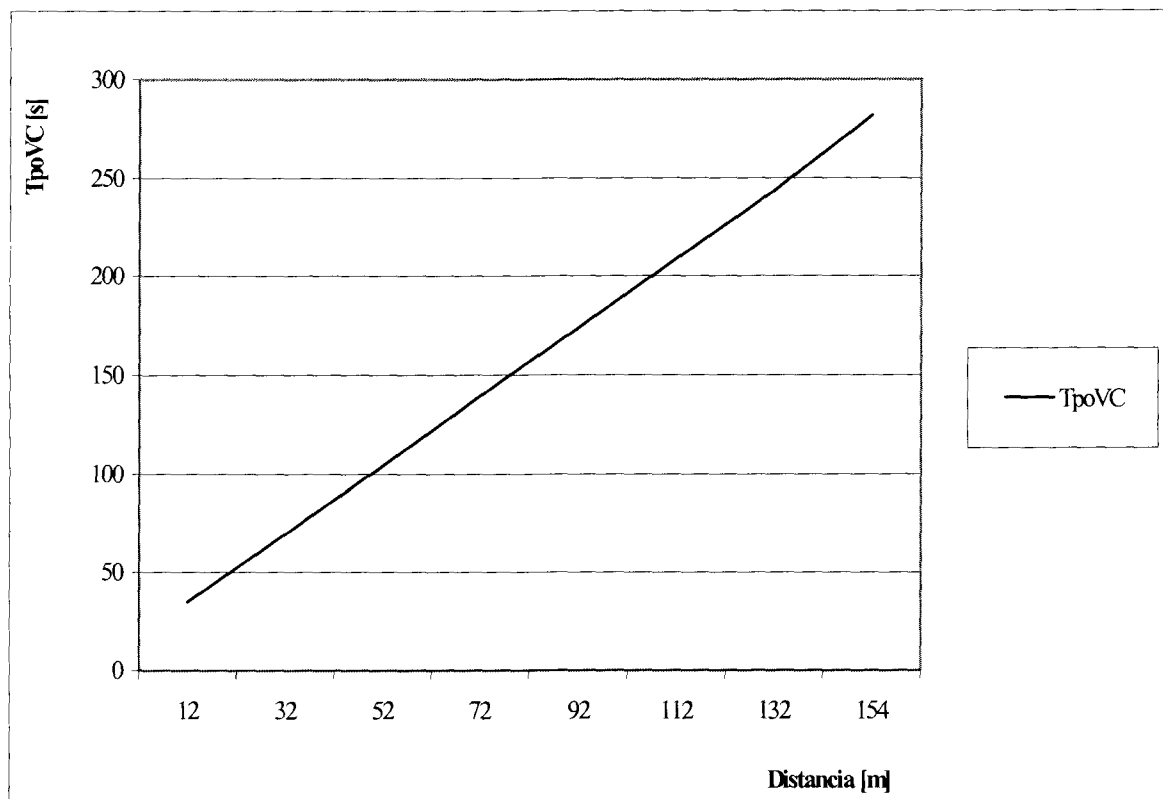


Figura N° 7. Tiempo de viaje cargado [s] del madereo con cadena.

La Figura N° 8 muestra una relación exponencial (exponente cercano a 0,5) entre el tiempo de descarga y el volumen Smalian. Además, muestra que el tiempo de descarga crece con aumentos de volumen, encontrando diferencias de 2 a 4 segundos a medida que varía el volumen en 0,2 m³.

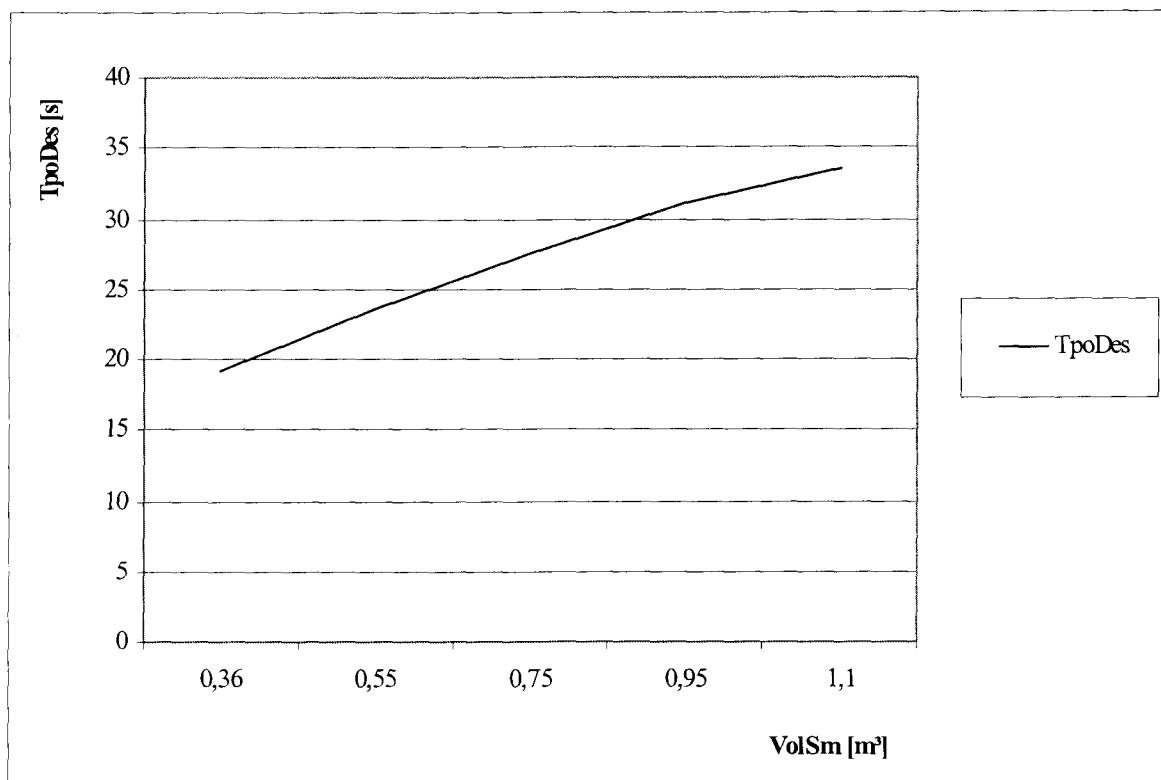


Figura N° 8. Tiempo de descarga [s] del madereo con cadena.

El rendimiento esperado para esta fase de madereo se obtuvo a través del cociente entre el volumen promedio por ciclo, correspondiente a $0,63 \text{ m}^3$, y el tiempo total del ciclo. El tiempo total se obtuvo de la suma entre las variables temporales modeladas por fdp (164 segundos); el tiempo promedio de carga más acomodo de 98 s, obtenido de la línea de regresión observable de terreno (volumen promedio de $0,63 \text{ m}^3$, con un 69% de acomodo y 31% sin acomodo); el tiempo promedio de descarga de 25 s, para un volumen promedio de $0,63 \text{ m}^3$; y los tiempos estimados de viaje vacío y cargado, en sus respectivos rangos analizados.

La Figura N° 9, asociada a la Figura N° 3, muestra la relación entre el rendimiento esperado (m^3/HPM) y la distancia de madereo para distintas pendientes, considerando una pendiente positiva para el viaje vacío en contra de la pendiente (asociada a la variable

indicadora Binvv igual a uno). Este tiempo está relacionado a la variable indicadora BinRet igual a cero (viaje retrocediendo). Además, la Figura N° 9 muestra que el rendimiento disminuye a medida que la distancia de madereo aumenta, debido a la mayor cantidad de tiempo de viaje vacío y cargado requerido para dichas distancias. En relación a la pendiente, cuando ésta es mayor el rendimiento disminuye. Por otra parte, se observa que un aumento en la pendiente a favor del viaje vacío disminuye más drásticamente el rendimiento que el aumento de la pendiente en contra.

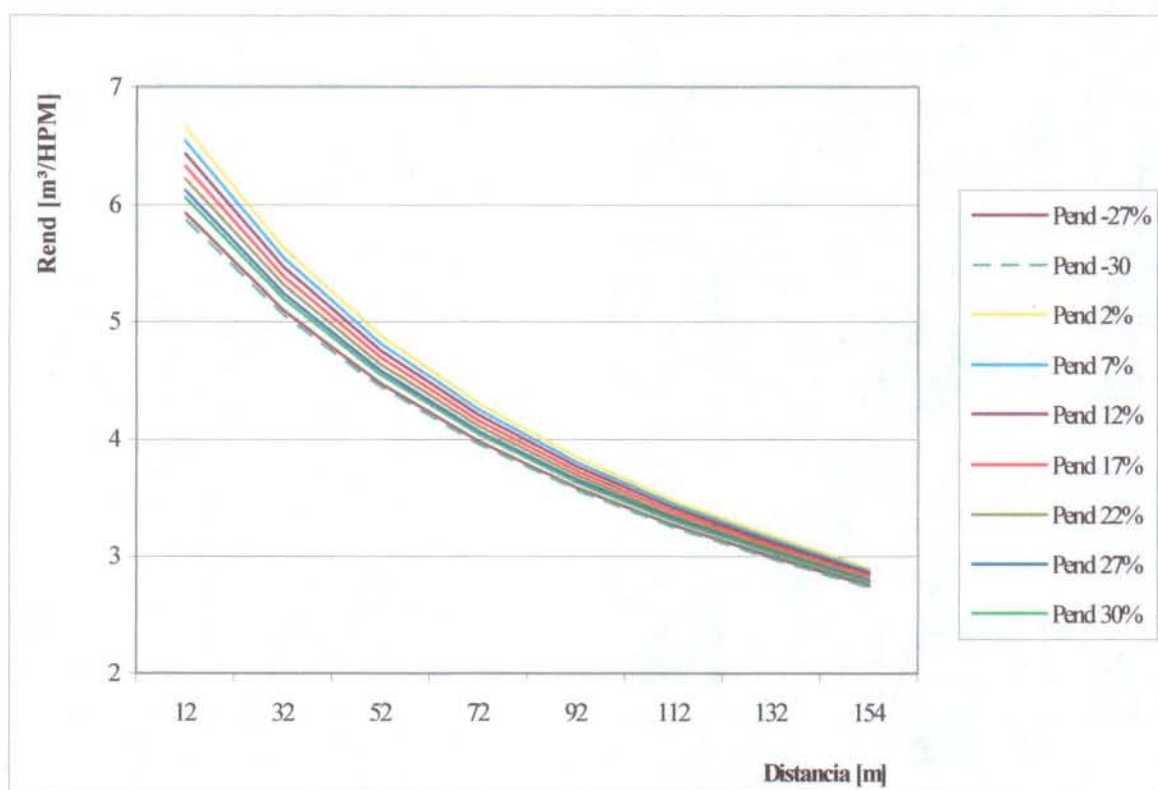


Figura N° 9. Rendimiento [m^3/HPM], retrocediendo, del madereo con cadena.

La Figura N° 10, asociada a la Figura N° 4, muestra la relación entre el rendimiento esperado (m^3/HPM) y la distancia de madereo para distintas pendientes, considerando una pendiente positiva para el viaje vacío en contra de la pendiente (asociada a la variable indicadora Binvv igual a uno). Este tiempo está relacionado a la variable indicadora

BinRet igual a uno (viaje normal en punta). Además, la Figura N° 10 muestra que el rendimiento disminuye a medida que la distancia de madereo aumenta, debido a la mayor cantidad de tiempo de viaje vacío y cargado requerido para dichas distancias. En relación a la pendiente, cuando ésta presenta mayores porcentajes el rendimiento disminuye. Por otra parte, se observa que un aumento en la pendiente a favor del viaje vacío disminuye más drásticamente el rendimiento que el aumento de la pendiente en contra.

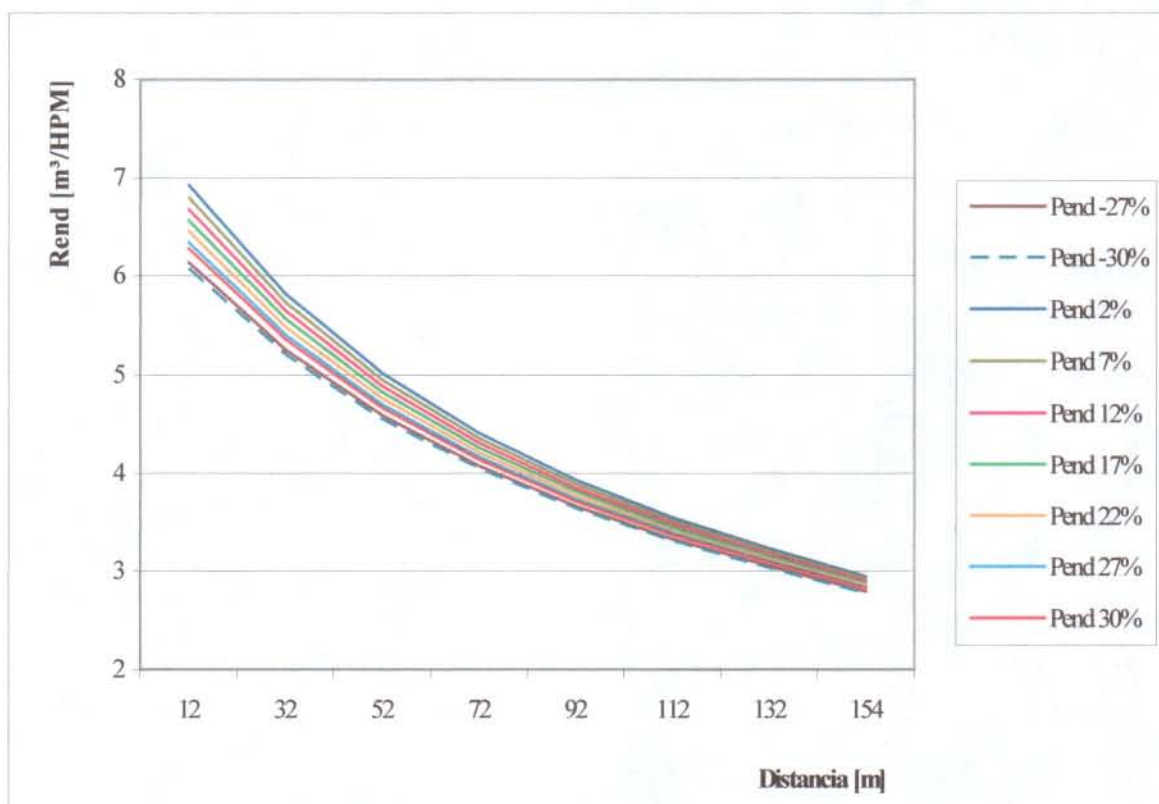


Figura N° 10. Rendimiento [m^3/HPM], normal en punta, del madereo con cadena.

Al observar los rendimientos de las Figuras (9) y (10), se puede apreciar que la influencia de entrar retrocediendo en el viaje vacío provoca un menor rendimiento respecto al entrar de forma normal en punta (de 3,7% a 1,7% de disminución en rendimiento).

La Figura N° 11, asociada a la Figura N° 5, muestra la relación entre el rendimiento esperado (m^3/HPM) y la distancia de madereo para distintas pendientes, considerando una pendiente positiva para el viaje vacío en contra de la pendiente (asociada a la variable indicadora Binvv igual a uno). Este rendimiento está relacionado a una ponderación observada en el viaje vacío en terreno, respecto a un 81% de ciclos en que el tractor entra normal y un 19% que entra retrocediendo.

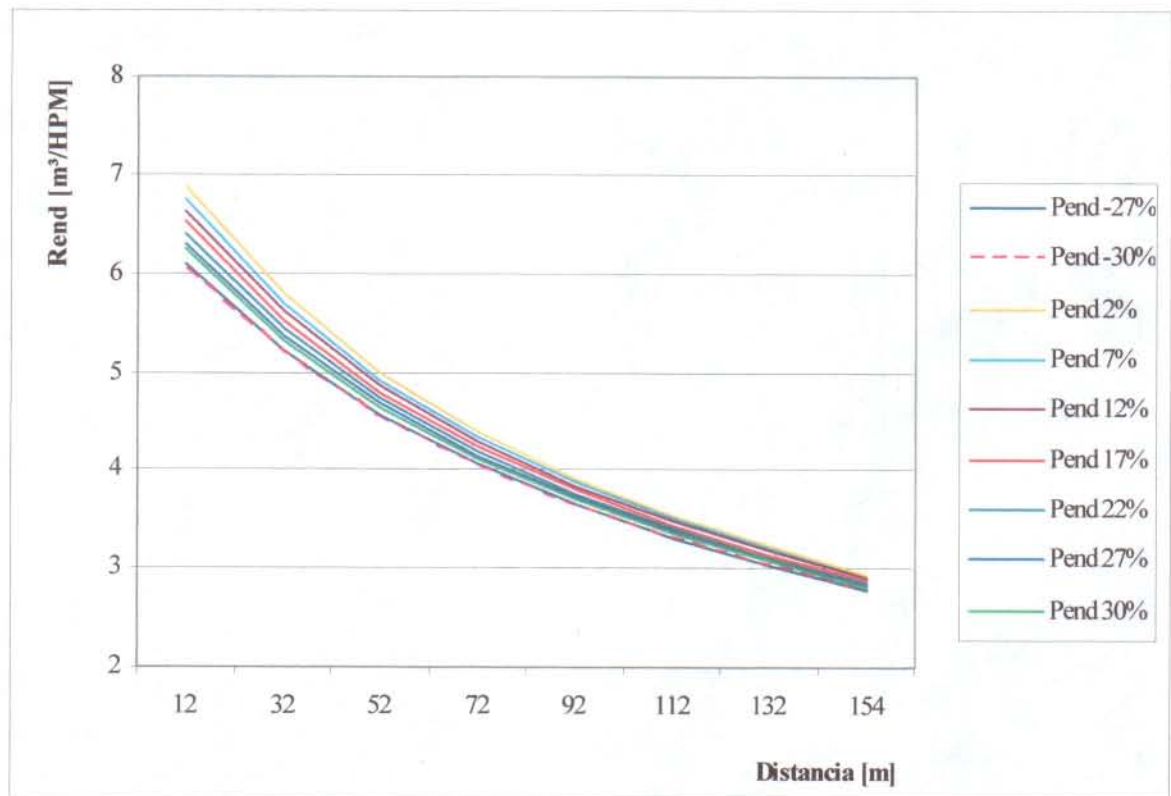


Figura N° 11. Rendimiento [m^3/HPM], ponderación observada, del madereo con cadena.

El cálculo del rendimiento esperado para esta fase de madereo, se realizó sobre la Figura N° 11, la cual representa de forma más cercana a la realidad de las operaciones estudiadas. Para una distancia promedio de madereo de 66,5 m y una pendiente promedio de 19,5 %, (ambas obtenidas de la planilla de datos de terreno), se obtuvo un rendimiento de 4,26 y 4,35 (m^3/HPM), tanto para el madereo a favor y en contra de la pendiente respectivamente.

El rendimiento obtenido depende de los tiempos del viaje cargado (24 y 25%), del viaje vacío (22 y 20%), de la carga más acomodo (18 y 19%), del acomodo de viaje vacío (14 y 15 %), del acomodo de descarga (10%), del acomodo de viaje cargado (7%), y de la descarga (5%), respectivamente para ambos rendimientos presentados. Por otra parte, el rendimiento observado fue de 4,37 (m^3/HPM), muy similar a los estimados, lo que hace pensar que tanto las regresiones como las fdp modelan de forma aceptable esta fase del madereo.

5.4 Determinación de Costos del Madereo

EL costo horario obtenido para 1500 horas de uso anual del tractor agrícola, en el Cuadro N° 54 del Apéndice N° 20, fue de 3301 ($\$/\text{HPM}$), y depende principalmente del consumo de combustible (38 %) y del costo de mano de obra (42 %); con este valor se determinaron los costos operacionales en ($\$/\text{m}^3$) para ambas fases del madereo estudiadas.

El costo operacional para el madereo con carro desde el bosque a la cancha de acopio, fue de 1435 [$\$/\text{m}^3$], para un rendimiento promedio de 2,3 (m^3/HPM). Mientras que para el madereo con cadena en bosque, el costo fue de 775 ($\$/\text{m}^3$) para el madereo a favor y de 759 ($\$/\text{m}^3$) para el madereo en contra de la pendiente, para un rendimiento promedio de 4,26 y 4,35 (m^3/HPM) respectivamente. Para el rendimiento en conjunto de 1,49 (m^3/HPM), de ambas fase del madereo estudiadas, el costo operativo del sistema fue de 2215 ($\$/\text{m}^3$).

5.5 Consideraciones Generales

El cuadro N° 13 resume los modelos de regresión utilizados para estimar los tiempos para cada componente del ciclo de maderero, para ambas fases estudiadas.

Cuadro N° 13. Resumen de modelos de tiempo.

Modelos de Tiempo	Variable indicadora
Madereo con Carro	
$TpoVV = 0,596 * Dist^{1,055} * PendAb^{0,108}$ (I ₀)	Binvv = 0
$TpoVV = 0,429 * Dist^{1,055} * PendAb^{0,108}$ (I ₁)	Binvv = 1
$TpoVC = -48,217 + 1,117 * Dist + 2,621 * PendAb - 0,200 * Troza$ (II ₀)	Binvc = 0
$TpoVC = 48,685 + 1,117 * Dist + 2,621 * PendAb - 0,200 * Troza$ (II ₁)	Binvc = 1
Madereo con Cadena	
$TpoVV = 11,802 + 1,374 * Dist + 1,201 * PendAb$ (III ₀₀)	Binvv = 0, Binret = 0
$TpoVV = -0,215 + 1,374 * Dist + 1,201 * PendAb$ (III ₁₀)	Binvv = 1, Binret = 0
$TpoVV = -0,944 + 1,374 * Dist + 1,201 * PendAb$ (III ₀₁)	Binvv = 0, Binret = 1
$TpoVV = -12,961 + 1,374 * Dist + 1,201 * PendAb$ (III ₁₁)	Binvv = 1, Binret = 1
$TpoCar + Acom = 25,999 * e^{1,005 * VolSm}$ (IV ₀)	Bin = 0
$TpoCar + Acom = 63,755 * e^{1,005 * VolSm}$ (IV ₁)	Bin = 1
$TpoVC = 13,919 + 1,740 * Dist$ (V)	-
$TpoDesc = 31,892 * VolSm^{0,502}$ (VI)	-

Un punto importante a mencionar es que el sistema de maderero estudiado realiza dos operaciones con el mismo tractor y en el tiempo continuo. La primera operación consiste en el pre-arremate en bosque, donde el tractor-cadena acumula la carga necesaria para el carro. Posterior a esto se inicia la segunda operación, que consiste en transportar la carga acumulada con el tractor-carro desde el bosque hacia la cancha de acopio. Esta forma de maderero en bosque nativo es excepcional en Chile, asemejándose a sistemas mecanizados apreciados en cosechas de plantaciones con mayores grados de producción (pre-arremate con skidder a la línea principal de torres y posterior maderero con torre).

Los rendimientos obtenidos, se pueden considerar bajos al compararlos con las productividades presentadas en los Cuadros N° 1 y 2, pero se debe considerar que los niveles de planificación, inversión y capacidad operativa son menores para esta faena. Además, las condiciones de terreno son distintas para los rendimientos comparados. Los rendimientos obtenidos varían principalmente por la distancia recorrida y la pendiente en que se mueva el tractor, de acuerdo a esto, el rendimiento será mayor para distancias y pendientes menores. Otra alternativa para aumentar los rendimientos sería disminuir la variabilidad de los volúmenes transportados, ya que con el mínimo volumen registrado se obtuvo un rendimiento de 2,49 (m^3/HPM) para el maderero contra la pendiente (en viaje vacío), a una distancia y pendiente promedio (66,5 metros y 19,5%); y al pasar al máximo volumen registrado, el rendimiento aumenta a 7,60 (m^3/HPM) en las mismas condiciones anteriores.

En relación a los modelos de tiempos obtenidos, las variables de interés recolectadas explican de forma aceptable la variabilidad de los respectivos tiempos estimados (representados por R^2 aj satisfactorios). En los modelos que presentaron variables indicadoras, éstas tuvieron mayor o menor incidencia en los respectivos tiempos estimados, dado por la adición o sustracción del coeficiente de esta variable indicadora cuando toma valor uno.

El estudio evidenció que es recomendable planificar los viajes cargados a favor de la pendiente, práctica habitual en faenas de cosecha, debido a que el tiempo necesario para completar un ciclo es menor, influyendo directamente en la obtención de mayores rendimientos y de costos menores.

Los rendimientos y costos promedios obtenidos son válidos solamente para las condiciones descritas en este estudio, cualquier cambio de rangos en las condiciones del rodal o del trabajo, generarán cambios cuestionables en las estimaciones a obtener. En este mismo sentido, los modelos de regresión de tiempos obtenidos están desarrollados para operar sólo en los rangos muestreados, y no son válidas, como es el caso del modelo (I), para sectores planos ya que al tomar un valor cero de pendiente el modelo se indetermina (el tiempo de viaje vacío toma valor cero).

VI.- CONCLUSIONES

El sistema analizado opera de manera única, ya que el mismo tractor realiza dos operaciones con distintos accesorios de madereo. Al realizar la operación de pre-arrumado en bosque, el tractor utiliza una cadena para trasportar las gavillas. Una vez completada la carga necesaria, el tractor cambia su sistema de madereo, colocando un carro de transporte que le permite sacar un mayor volumen desde el bosque a la cancha de acopio

Los tiempos de viajes están influenciados principalmente por la distancia de madereo y la pendiente de estos trayectos, existiendo diferencia si se viaja a favor o en contra de la pendiente (Variable indicadora de pendiente); los modelos que mejor representaron dichos tiempos fueron lineales y exponenciales. Los tiempos de carga y descarga dependen principalmente del volumen a trasportar por ciclo, y los modelos que mejor los representaron fueron exponenciales. Para las variables temporales que no presentaron regresiones lineales, se encontraron ajustes satisfactorios de funciones de distribución de probabilidad, siendo en varios casos la Log-logistic la mejor distribución ajustada.

Las variables del rodal estudiadas (distancia, pendiente, volumen y número de trozas), resultaron ser relevantes en cada uno de los componentes principales del madereo, siendo significativas en cada modelo de tiempo seleccionado y en la obtención de costos de operación, según corresponda. Como excepción, el viaje cargado en bosque presentó sólo la variable distancia significativa.

Para las condiciones de terreno estudiadas, el tractor agrícola presentó un rendimiento promedio de 2,3 (m^3/HPM) para el madereo con carro, y de 4, 26 y 4,35 (m^3/HPM) para el madereo con cadena en pendientes a favor y en contra, respectivamente; el rendimiento en conjunto de ambas etapas fue de 1,49 (m^3/HPM). En la fase de madereo con carro, el tiempo ocupado en carga y descarga fue significativo; además, el rendimiento depende en forma directa de la distancia y la pendiente de los tramos, y en menor medida por los

tiempos de acomodo. El rendimiento en bosque estuvo determinado principalmente por la distancia, la pendiente de los trayectos y el tiempo de carga.

Los costos operacionales, según los rendimientos obtenidos, fueron de 1443 (\$/ m³) para el madereo con carro; de 779 (\$/ m³) para el madereo a favor y 763 (\$/ m³) para el madereo en contra de la pendiente de las faenas en bosque; y de 2215 (\$/ m³) para el rendimiento en conjunto. Estos resultados obtenidos están en estrecha relación con el grado de organización y el capital que se maneje por parte de los propietarios del recurso.

Se recomienda realizar estudios posteriores al presentado, con el fin de analizar situaciones de terreno distintas a las descritas en esta memoria. Se podría orientar al análisis en el madereo con carro para distancias mayores en los tramos, o para distancias totales recorridas con una pendiente promedio general del trayecto; así también se podrían determinar variables de interés que puedan relacionarse con los tiempos de acomodo estudiados.

VII.- BIBLIOGRAFÍA

Aedo, D. 1997. Simulación de producción forestal: ¿representación de la realidad?. *In* Sistemas de Producción Forestal: Análisis, Cuantificación y Sustentabilidad. Departamento de Producción Forestal. Escuela de Ingeniería Forestal. Universidad de Talca. p. 103-112

Alvarez, S. y Kunz, M. 1988. Modelo predictor de rendimientos y costos de explotación. *In* II Taller de Producción Forestal: Actas. Departamento Forestal. Fundación Chile. cap 8.

Barnes, R. 1979. Estudio de movimientos y tiempos. Trad. R. García. 5ª. ed. Madrid. Editorial Aguilar. 746 p.

Carrasco, L. 1995. Control de faenas de extracción en bosque nativo de la Región del Maule. *In* Seminario Internacional. Sistemas de Producción Forestal: Decisiones y Técnicas: Actas. Escuela de Ingeniería Forestal. Universidad de Talca. cap 3.

Carrasco, L., Gandara, J. y Mansilla, A. 1999. Guía para el manejo del bosque nativo de Roble-Hualo. CONAF. Talca. Editora Duados asociados Ltda. 45 p.

Cid, L., Mora, A. y Valenzuela, M. 1990. Inferencia estadística. Editora Aníbal Pinto. Departamento de Matemática. Facultad de Ciencias. Universidad de Concepción. 319 p.

CONAF (Corporación Nacional Forestal, Chile). 1997. Proyecto Conservación y Manejo Sustentable del Bosque Nativo. (en línea). Santiago. Consultado 20 dic. 2003. Disponible en http://www.Agricultura.gob.cl/detalle_noticia.php?Noticia=549.

Conway, S. 1982. Logging practices: principles of timber harvesting systems. California. Miller Freeman Publications, Inc., 432 p.

Donoso, C. 1981. Investigación y desarrollo forestal: tipos forestales de los bosques nativos de Chile. Documento de Trabajo N° 38. CONAF-FAO. 70 p.

Gayoso, J. 1995. Impacto ambiental de las prácticas de cosecha forestal y construcción de caminos en bosque nativos siempreverdes de la X Región de Chile. Monografía FAO. Valdivia, Chile. Universidad Austral de Chile. 169 p.

Gujarati, D. 1997. Econometría básica. 3ª. ed. Bogota. Colombia. McGraw-Hill Interamericana S.A. 851 p.

Hartwig, F. 1991. Chile desarrollo forestal sustentable, ensayo de política forestal. Santiago, Chile. Editorial Los Andes. 185 p.

Kirk, R. 1995. Assumption of homogeneity of variante (B3d). *In* Experimental Desing: Procedures for the Behavioural Sciences. 3ª. ed. California. Brooks/Cole Publishing Company. p. 100-103.

Maddala, G.S. 1996. Introducción a la econometría. Trad. J. Jolly. 2ª. ed. México. Prentice-Hall Hispanoamericana, S.A., 715 p.

Neuenschwander, R. 2001, Maquinaria de explotación forestal: métodos, máquinas, costos. Serie Técnica N° 4. Departamento de Producción. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad de Talca. 150 p.

Ramírez, L. 1997. Caracterización productiva de un sistema de cosecha a tala rasa de árbol completo con procesador en rodales de *Pinus radiata* (D.Don). Tesis Ing. Forestal. Talca, Chile. Universidad de Talca, Facultad de Ciencias Forestales. 82 p.

Rodríguez, E. 1984. Extracción de trozas mediante bueyes y tractores agrícolas. Estudio FAO: Montes 49. Roma. 104 p.

Ross, S. 2001. Probabilidad y estadística para ingenieros. Trad. M. Hano. 2ª. ed. México, D.F. McGraw-Hill Interamericana Editores, S.A. 585 p.

Thielman, P. J. 1993. Handout 14. In apuntes de curso: methods of data análisis II: regression. Oregon State University. Corvallis. USA. 5 p.

UACH (Universidad Austral de Chile), UC (Pontificia Universidad Católica de Chile), UT (Universidad de Temuco). 1999. Catastro y evaluación de recursos vegetacionales nativos de Chile. Informe Nacional con Variables Ambientales. 89 p.

Valdés, S. y Apud, E. 1988. Orientaciones para el mejoramiento de las condiciones de trabajo de los trabajadores forestales. *In* II Taller de Producción Forestal: Actas. Departamento Forestal. Fundación Chile. cap 13.

VIII.- APÉNDICES

APÉNDICE N° 1. Matrices de correlación del maderero con carro

Cuadro N° 14. Matriz de correlación de viaje vacío.

	TpoVV	Ln(TpoVV)	Dist	Ln(Dist)	PenAbs	Ln(PenAbs)	PenAb*Bin
Ln(TpoVV)	0,9783 0,0000						
Dist	0,5765 0,0000	0,6116 0,0000					
Ln(Dist)	0,5765 0,0000	0,6177 0,0000	0,9982 0,0000				
PenAbs	0,3700 0,0000	0,3497 0,0001	0,0047 0,9595	-0,0243 0,7935			
Ln(PenAbs)	0,2937 0,0012	0,2745 0,0025	-0,1277 0,1665	-0,1529 0,0970	0,9833 0,0000		
PenAb*Bin	-0,4829 0,0000	-0,4841 0,0000	-0,3108 0,0006	-0,3194 0,0004	0,1757 0,0559	0,2734 0,0026	
Binvv	-0,6455 0,0000	-0,6396 0,0000	-0,2430 0,0077	-0,2356 0,0099	-0,4531 0,0000	-0,3593 0,0001	0,7950 0,0000

Cuadro N° 15. Matriz de correlación de carga.

	TpoCar	AcoCar	Troz as
AcoCar	-0,1163 0,2076		
Troz as	0,1035 0,2628	-0,2435 0,0076	
Volsm	-0,2531 0,0055	0,3779 0,0000	-0,0149 0,8720

Cuadro N° 16. Matriz de correlación de viaje cargado.

	TpoVC	Ln(TpoVC)	Dist	Ln(Dist)	PenAbs	Ln(PenAbs)	PenAb*Bin	Binvc
Ln(TpoVC)	0,9779 0,0000							
Dist	0,4834 0,0000	0,5134 0,0000						
Ln(Dist)	0,4723 0,0000	0,5084 0,0000	0,9982 0,0000					
PenAbs	0,5641 0,0000	0,5864 0,0000	0,0047 0,9595	0,0243 0,7935				
Ln(PenAbs)	0,4491 0,0000	0,4764 0,0000	-0,1277 0,1665	-0,1529 0,0970	0,9833 0,0000			
PenAb*Bin	0,9373 0,0000	0,8743 0,0000	0,2831 0,0018	0,2730 0,0027	0,4606 0,0000	0,3623 0,0001		
Bin vc	0,9278 0,0000	0,8702 0,0000	0,2430 0,0077	0,2356 0,0099	0,4531 0,0000	0,3593 0,0001	0,9973 0,0000	
Trozas	-0,0335 0,7190	-0,0314 0,7357	0,0027 0,977	0,0026 0,9773	0,0018 0,9847	0,0014 0,9878	-0,0016 0,9852	-0,0160 0,9852

Cuadro N° 17. Matriz de correlación de descarga.

	TpoDes	AcoDes	Trozas
AcoDes	0,5003 0,0000		
Trozas	0,2525 0,0056	0,1176 0,2028	
Volsm	0,3653 0,0000	-0,0152 0,8694	-0,0149 0,8720

Grado de correlación
Valor-p

APÉNDICE N° 2. Gráficos de matrices XY del madereo con carro

Figura N° 12. Gráficos de matriz XY de viaje vacío.

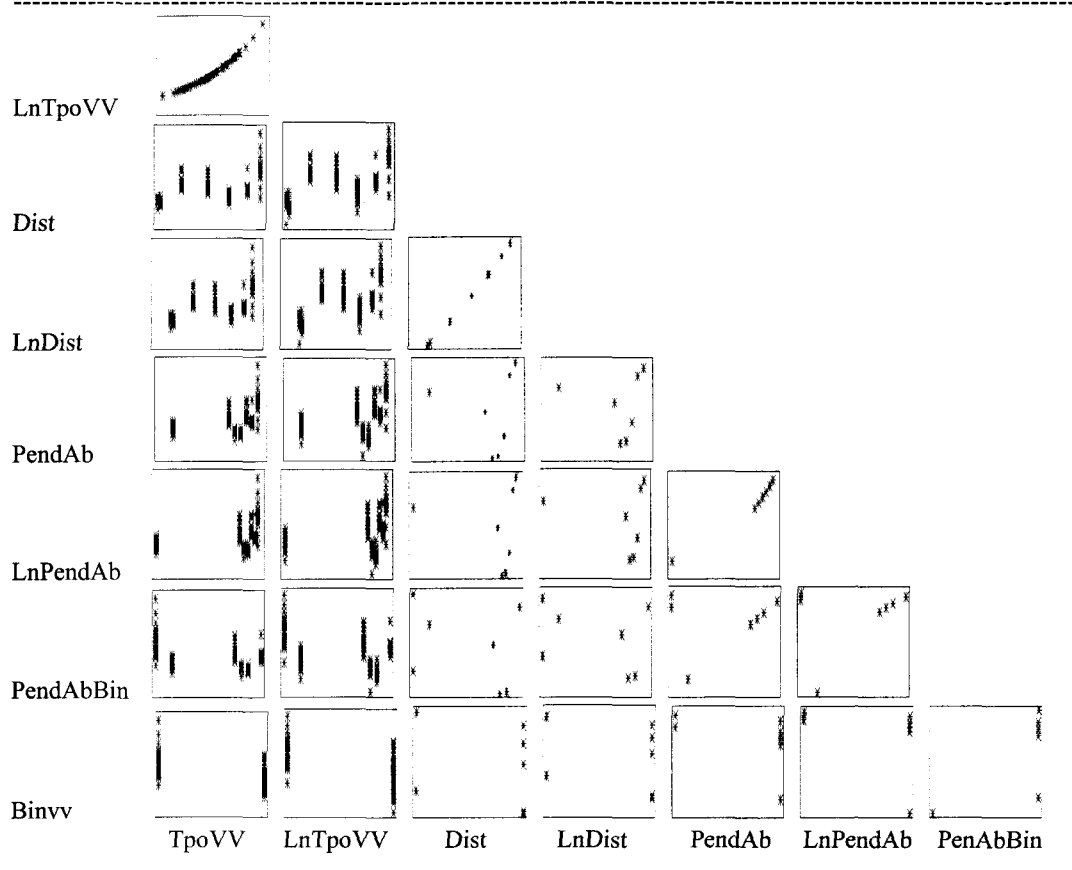


Figura N° 13. Gráficos de matriz XY de carga.

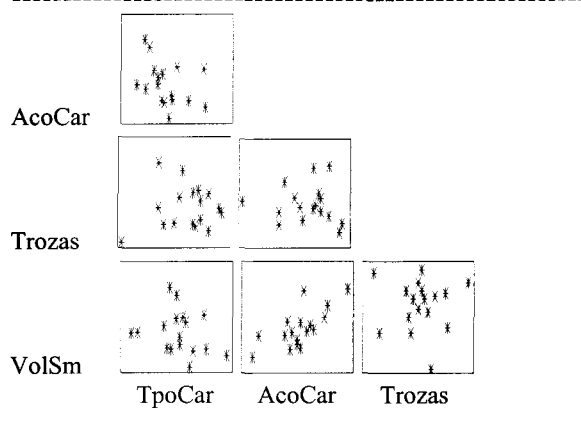


Figura N° 14. Gráficos de matriz XY de viaje cargado.

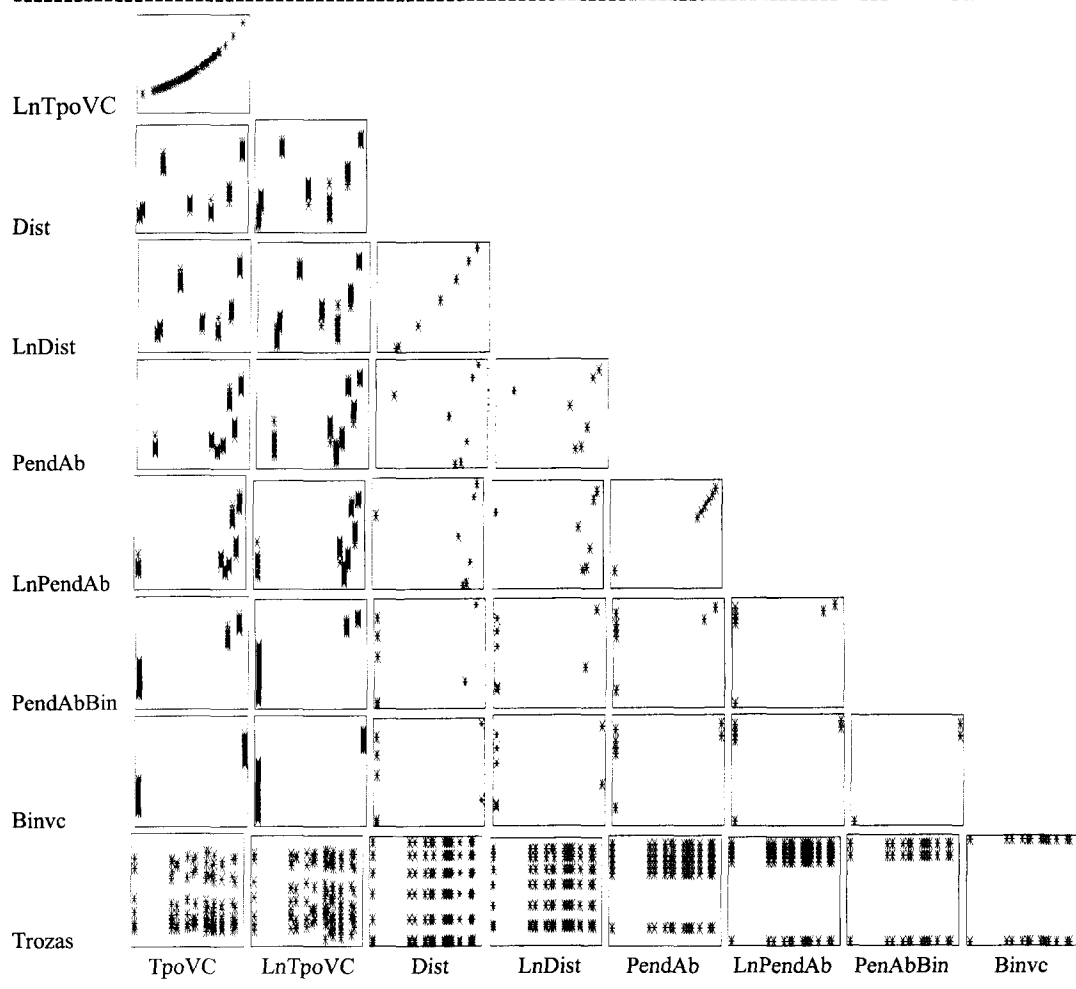
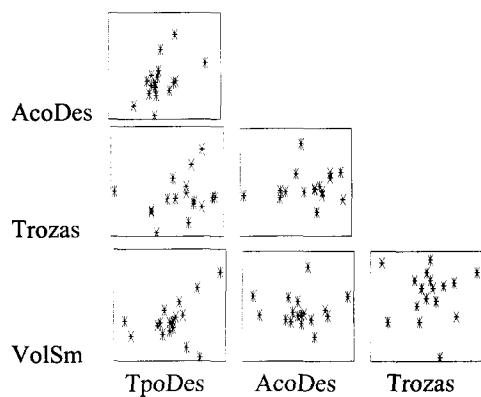


Figura N° 15. Gráfico de matriz XY de descarga.



APÉNDICE N° 3. Modelos ajustados de tiempo de viaje vacío del maderero con carro

Cuadro N° 18. Modelos ajustados de viaje vacío.

N°	Modelos de Tiempo de Viaje Vacío (valor-p)	Valor-p		R²aj
		K-S	C'	
1	$Tpo = \beta_0 + \beta_1 Dist$ n.s (0,201) **(0,000)	0,057 n.s	0,000 **	32,663
2	$Tpo = \beta_0 + \beta_1 Dist + \beta_2 PenAb * Binvv$ n.s (0,331) **(0,000) **(0,000)	0,020 *	0,000 **	42,472
3	$Tpo = \beta_0 + \beta_1 Dist + \beta_2 PenAb$ **(0,000) **(0,000) **(0,000)	0,609 n.s	0,000 **	45,805
4	$Tpo = \beta_0 + \beta_1 Dist + \beta_2 Binvv$ **(0,008) ** (0,000) ** (0,000)	0,002 **	0,000 **	59,696
5	$Tpo = \beta_0 + \beta_1 Dist + \beta_2 PenAb + \beta_3 Binvv$ n.s (0,447) **(0,000) *(0,015) **(0,000)	0,013 *	0,000 **	61,378
6	$Tpo = \beta_0 + \beta_1 Dist + \beta_2 PenAb + \beta_3 PenAb * Binvv$ n.s (0,200) **(0,000) **(0,000) **(0,000)	0,007 **	0,000 **	61,343

n.s : No significativo estadísticamente.

* : Significativo estadísticamente (valor-p 0,05).

** : Altamente significativo estadísticamente (valor-p 0,01).

Todos los modelos cumplieron con el supuesto de no multicolinealidad significativa entre sus variables explicativas, ya que la matrices mostraron correlaciones menores a 0,5. El valor-p de la prueba de normalidad fue bajo en la mayoría de los modelos, rechazándose el supuesto de normalidad. Además, todos los modelos presentaron heterocedasticidad, siendo necesario aplicar logaritmo natural en sus variables para solucionar este problema.

El Cuadro N° 19 muestra los modelos transformados con logaritmo natural en sus variables:

Cuadro N° 19. Modelos transformados de viaje vacío.

N°	Modelos Transformados de Tiempo de Viaje Vacío (valor-p)	Valor-p		R²aj
		K-S	C'	
1t	$Ln(Tpo) = \beta_0 + \beta_1 Ln(Dist)$ n.s (0,076) ** (0,000)	0,136 n.s	0,001 **	37,623
2t	$Ln(Tpo) = \beta_0 + \beta_1 Ln(Dist) + \beta_2 PenAb * Binvv$ n.s (0,864) ** (0,000) ** (0,000)	0,437 n.s	0,001 **	46,403
3t	$Ln(Tpo) = \beta_0 + \beta_1 Ln(Dist) + \beta_2 Ln(PenAb)$ ** (0,000) ** (0,000) ** (0,000)	0,517 n.s	0,001 **	51,262
4t	$Ln(Tpo) = \beta_0 + \beta_1 Ln(Dist) + \beta_2 Binvv$ n.s (0,662) ** (0,000) ** (0,000)	0,018 *	0,001 **	63,379
5t	$Ln(Tpo) = \beta_0 + \beta_1 Ln(Dist) + \beta_2 Ln(PenAb) + \beta_3 Binvv$ n.s (0,326) ** (0,000) ** (0,001) ** (0,000)	0,061 n.s	0,001 **	66,387
6t	$Ln(Tpo) = \beta_0 + \beta_1 Ln(Dist) + \beta_2 Ln(PenAb) + \beta_3 PenAb * Binvv$ *(0,048) ** (0,000) ** (0,000) ** (0,000)	0,021 *	0,001 **	67,582
5ta	$Ln(Tpo) = \beta_0 + \beta_1 Ln(Dist) + \beta_2 Ln(PenAb) + \beta_3 Binvv$ n.s (0,161) ** (0,000) ** (0,000) ** (0,000)	0,073 n.s	0,155 n.s	70,665

De los 6 modelos transformados se seleccionó el modelo (5t), ya que presentó el mayor R²aj que cumpliera con el supuesto de normalidad, pero al igual que en todos los modelos mencionados, no cumplió con el supuesto de homocedasticidad. Sin embargo, al realizar el análisis de datos atípicos del modelo (5t) seleccionado, se observó la presencia de un valor muy alejado del resto, que al ser eliminado, modelo (5ta), provocó mejoras en los coeficientes de regresión, en el R²aj y en el cumplimiento de igualdad de varianzas.

A continuación se presenta la información estadística del modelo original de tiempo de viaje vacío:

$$TpoVV = 8,85071 + 0,789803 * Dist + 0,875514 * PendAb - 25,1821 * Binvv \quad (5)$$

Valor-p	0,4477	0,0000	0,0154	0,0000
Error estándar	11,6182	0,101193	0,355825	3,64333

$R^2_{aj} = 61,3783$ Error estándar de estimación = 15,4106 $n = 119$

Donde:

TpoVV : Tiempo de viaje vacío [s].

Dist : Distancia de madereo [m].

PendAb: Pendiente absoluta [%].

Binvv : Variable indicadora viaje vacío de la pendiente; 0 a favor de la pendiente.

1 en contra de la pendiente.

Análisis de Varianza

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Model	45247,9	3	15082,6	63,51	0,0000
Residual	27311,1	115	237,487		
Total (Corr.)	72558,9	118			

Test $C_{cat} = 0,521598$

Valor-p = 7,30029E-9

Test $K-S_{cat} = 0,145247$

Valor-p = 0,0131961

Matriz de correlación

	TpoVV	Dist	PendAb	Binvv
TpoVV	1,0000			
Dist	-0,8436	1,0000		
PendAb	-0,5856	0,1219	1,0000	
Binvv	-0,6051	0,2702	0,4659	1,0000

Residuos inusuales

Row	Y	Predicted Y	Studentized Residual	Studentized Residual
55	105,0	61,308	43,692	2,95
56	103,0	61,308	41,692	2,80
103	144,0	106,664	37,3363	2,53
107	170,0	106,664	63,3363	4,54
108	52,0	106,664	-54,6637	-3,83

Valores atípicos

Row	Leverage	Mahalanobis Distance	DFITS
103	0,0402009	3,90899	0,517867
107	0,0402009	3,90899	0,928839
108	0,0402009	3,90899	-0,783794
111	0,0402009	3,90899	-0,508029

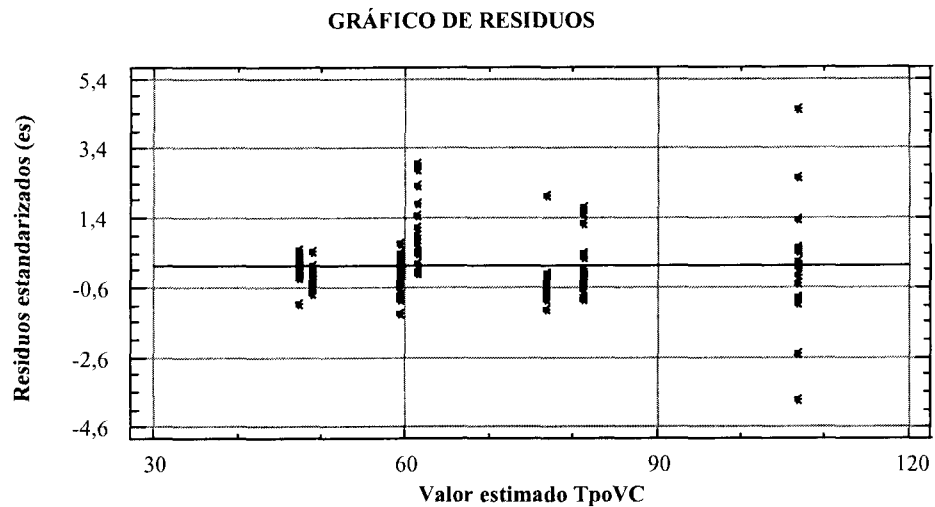


Figura N° 16. Residuos estandarizados modelo (5) de tiempo de viaje vacío.

El gráfico muestra un comportamiento heterocedástico de la varianza de los residuos, violando el supuesto de homocedasticidad. Una medida remedial a este problema es aplicar logaritmo natural en sus variables.

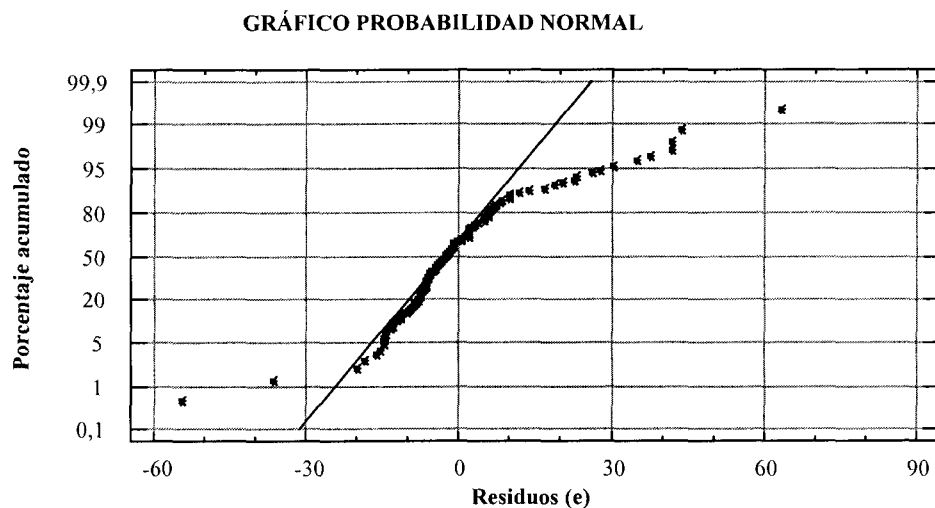


Figura N° 17. Probabilidad normal modelo (5) de tiempo de viaje vacío.

El gráfico no cumple con el supuesto de normalidad, debido a la existencia de un quiebre muy fuerte de los residuos.

Para solucionar el problema de heterocedasticidad, Figura N° 16, fue necesario aplicar transformaciones de tipo logaritmo natural a cada una de las variables.

La información estadística del modelo (5t) transformado y seleccionado de tiempo de viaje vacío es:

$$\text{Ln}(\text{TpoVV}) = -0,517505 + 1,05453 * \text{Ln}(\text{Dist}) + 0,10822 * \text{Ln}(\text{PendAb}) - 0,327883 * \text{Binvv} \quad (5t)$$

Valor-p	0,3269	0,0000	0,0010	0,0000
Error estándar	0,525588	0,110165	0,0320847	0,0449552

$$R^2_{aj} = 66,3866 \quad \text{Error estándar de estimación} = 0,196226 \quad n = 119$$

Donde:

- Ln(TpoVV) : Logaritmo natural de tiempo de viaje vacío[s].
- Ln(Dist) : Logaritmo natural de distancia de madereo [m].
- Ln(PendAb): Logaritmo natural de pendiente absoluta [%].
- Binvv : Variable indicadora viaje vacío de la pendiente; 0 a favor de la pendiente.
1 en contra de la pendiente.

Test C_{Cal} = 0,352926	Valor-p = 0,00108734
Test K-S_{Cal} = 0,121016	Valor-p = 0,0612788

Análisis de Varianza

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Model	9,08899	3	3,02966	78,68	0,0000
Residual	4,42802	115	0,0385045		
Total (Corr.)	13,517	118			

Matriz de correlación

	Ln(TpoVV)	Ln(DistVV)	Ln(PendAb)	Binvv
Ln(DistVV)	-0,9845	1,0000		
Ln(PendAb)	-0,4153	0,2618	1,0000	
Binvv	-0,4137	0,3150	0,4116	1,0000

Residuos inusuales**Valores atípicos**

Row	Y	Predicted	Studentized		Row	Mahalanobis		
		Y	Residual	Residual		Leverage	Distance	DFITS
54	4,63473	4,10843	0,526301	2,78	82	0,0581382	6,23053	-0,488658
55	4,65396	4,10843	0,545533	2,89	91	0,0373209	3,5443	0,374277
56	4,63473	4,10843	0,526301	2,78	107	0,0389436	3,7495	0,468066
60	4,56435	4,10843	0,455921	2,39	108	0,0389436	3,7495	-0,833135
108	3,9512	4,69684	-0,745591	-4,14	111	0,0389436	3,7495	-0,478554

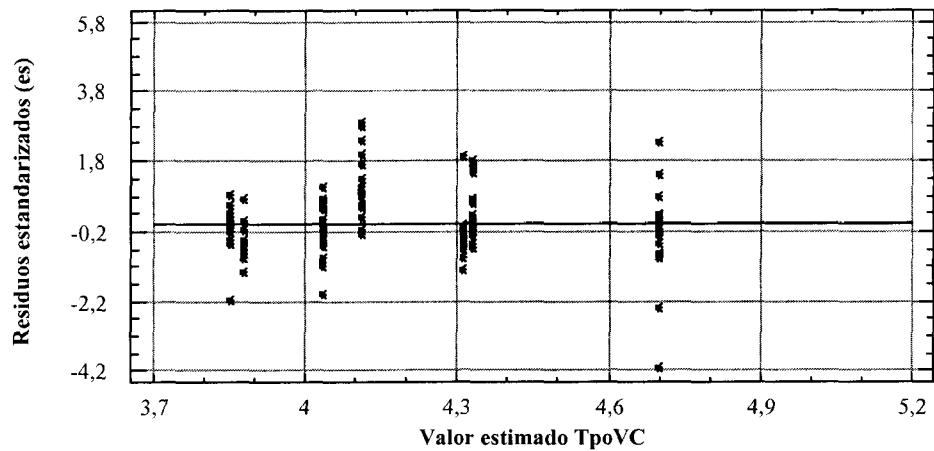
GRÁFICO DE RESIDUOS

Figura N° 18. Residuos estandarizados modelo (5t) de tiempo de viaje vacío.

El gráfico muestra un comportamiento aproximadamente heterocedástico de la varianza de los residuos. Además, evidencia un punto atípico muy alejado del resto (4,14 desviaciones estándar).

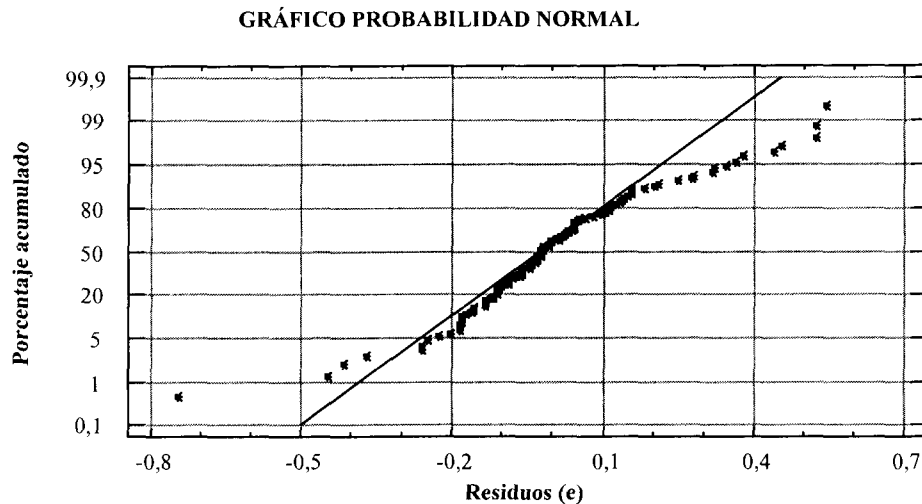


Figura N° 19. Probabilidad normal modelo (5t) de tiempo de viaje vacío.

El supuesto de normalidad se cumple, ya que la gráfica muestra que los residuos corresponden aproximadamente a una línea recta, suavizando el quiebre de la Figura N° 17.

El modelo (5t), luego de observar un valor atípico muy alejado de los demás, fue ajustado sin este valor, modelo (5ta), provocando una mejoría en los coeficientes de regresión, el R^2_{aj} y la aceptación del supuesto de igualdad de varianzas.

La información estadística del modelo (5ta) de tiempo de viaje vacío, sin el valor atípico 108, es:

$$\text{Ln}(\text{TpoVV}) = -0,69675 + 1,09684 * \text{Ln}(\text{Dist}) + 0,11265 * \text{Ln}(\text{PenAb}) - 0,344665 * \text{Binvv} \quad \textbf{(5ta)}$$

Valor-p	0,1612	0,0000	0,0003	0,0000
Error estándar	0,494105	0,103672	0,0300658	0,0422945

$$R^2_{aj} = 70,6645 \quad \text{Error estándar de estimación} = 0,183762 \quad n = 118$$

Test $C_{Cal} = 0,248471$	Valor-p = 0,155038
Tests $K-S_{Cal} = 0,118524$	Valor-p = 0,0726489

Análisis de Varianza

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Model	9,61836	3	3,20612	94,94	0,0000
Residual	3,84959	114	0,0337683		
Total (Corr.)	13,468	117			

Matriz de correlación

	Ln(TpoVV)	Ln(DistVV)	Ln(PendAb)	Binvv
Ln(DistVV)	-0,9846	1,0000		
Ln(PendAb)	-0,4166	0,2639	1,0000	
Binvv	-0,4018	0,3025	0,4060	1,0000

Residuos inusuales

Row	Y	Predicted Y	Residual	Studentized Residual
2	3,43399	3,8429	-0,408908	-2,29
54	4,63473	4,11137	0,523355	2,96
55	4,65396	4,11137	0,542586	3,08
56	4,63473	4,11137	0,523355	2,96
60	4,56435	4,11137	0,452974	2,54
107	5,1358	4,72705	0,408751	2,31
110	4,2485	4,72705	-0,478552	-2,73

Valores atípicos

Row	Leverage	Mahalanobis Distance	DFITS
37	0,03935	3,76073	0,373531
55	0,01414	0,67333	0,3693
82	0,05813	6,16888	-0,52281
91	0,03753	3,53226	0,389081
107	0,04052	3,90757	0,4755
110	0,04052	3,90757	-0,561654

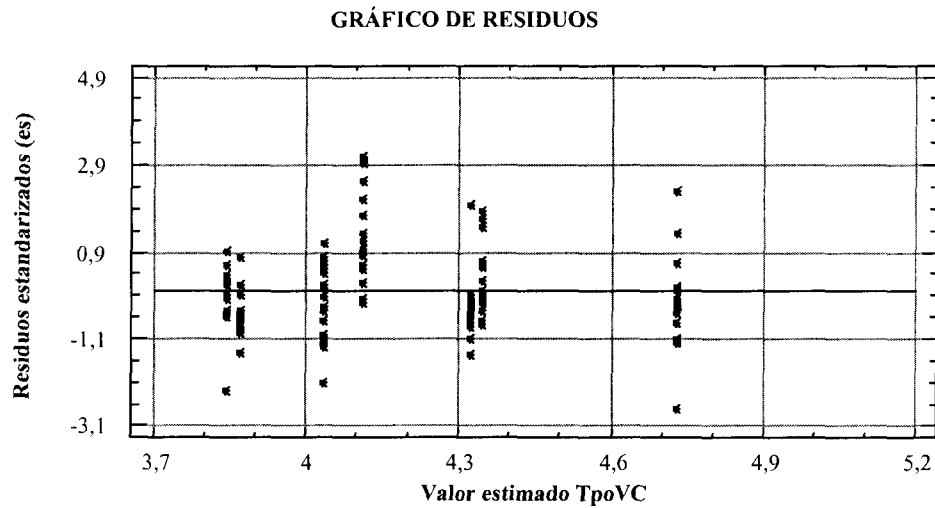


Figura N° 20. Residuos estandarizados modelo (5ta) de tiempo de viaje vacío.

El gráfico muestra un comportamiento homocedástico de la varianza de los residuos, cumpliéndose el supuesto.

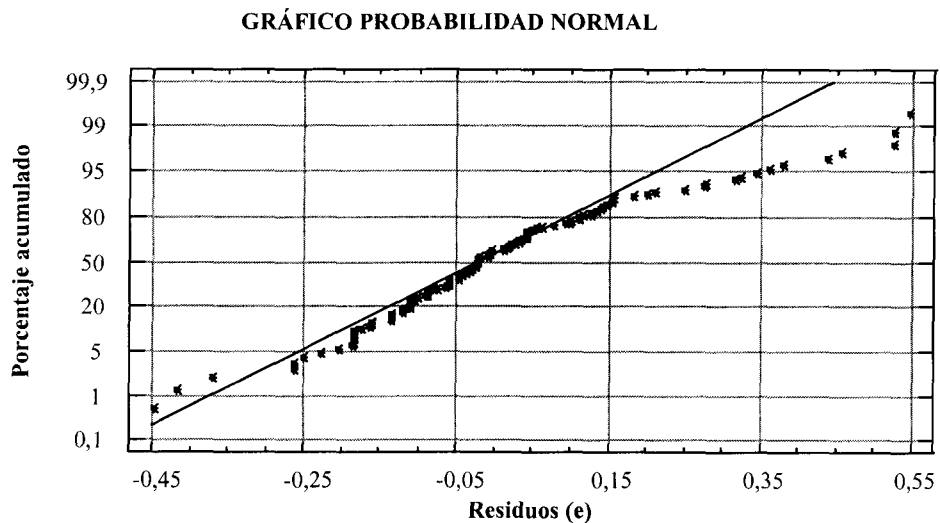


Figura N° 21. Probabilidad normal modelo (5ta) de tiempo de viaje vacío.

El supuesto de normalidad se cumple, ya que la gráfica muestra que los residuos corresponden aproximadamente a una línea recta, suavizando el quiebre de la Figura N° 17.

APÉNDICE N° 4. Resumen estadístico del tiempo de acomodo de viaje vacío del madero con carro

La variable temporal de acomodo de viaje vacío no registró variables explicativas que pudiesen estimarla por medio de una regresión, debiendo recurrir al ajuste de fdp.

Cuadro N° 20. Resumen estadístico de tiempo de acomodo de viaje vacío.

Parámetro	Tiempo Acomodo Viaje Vacío
Tamaño muestra	17
Mínimo [s]	63
Máximo [s]	275
Promedio [s]	170
Desviación estándar [s]	48

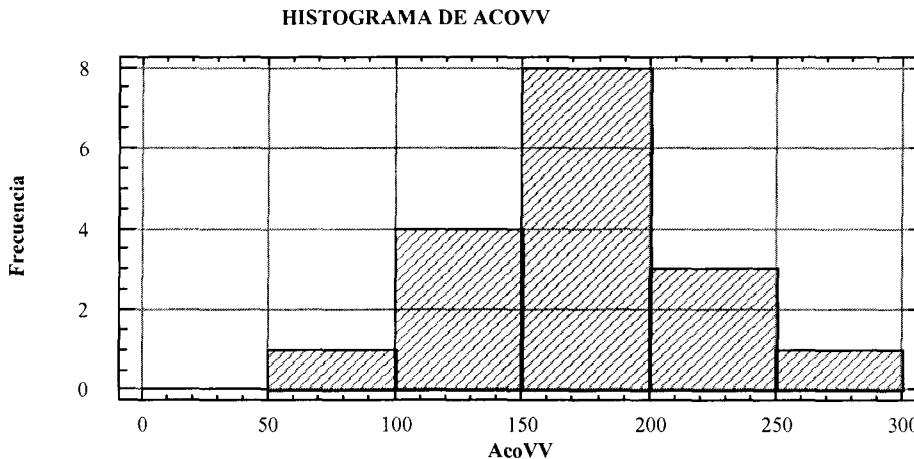


Figura N° 22. Histograma de tiempo de acomodo de viaje vacío (AcoVV).

El Cuadro N° 21 muestra los parámetros asociados a los cuatro mejores ajustes de fdp, para la variable temporal de acomodo de viaje vacío.

Cuadro N° 21. Funciones de distribución de probabilidad de acomodo de viaje vacío.

Distribución de Probabilidad	Parámetro	Acomodo de Viaje Vacío
Normal	Media	170,471
	Desviación estándar (Valor-p)	46,9294 (0,951)
Log-logistic	Mínimo	-4010,38
	Parámetro de forma	163,684
	Parámetro de escala (Valor-p)	4179,81 (0,94)
Beta	Mínimo	63
	Máximo	275
	p	5,19687
	q (Valor-p)	4,97909 (0,712)
Triangular	Mínimo	47,9696
	Máximo	293,414
	Moda	157,951
	(Valor-p)	(0,698)

Para la estimación del valor esperado del tiempo de acomodo de viaje vacío se utilizaron los parámetros asociados a la distribución normal, ya que ésta presentó el mayor valor-p de los cuatro ajustes realizados.

APÉNDICE N° 5. Resumen estadístico para los tiempos de carga y acomodo de carga del maderero con carro

La variable temporal de carga no presentó regresiones satisfactorias que las modelaran; la variable temporal de acomodo de carga no registró variables explicativas que pudiesen estimarla por medio de una regresión. Por lo anterior, se debió recurrir al ajuste de fdp para ambas variables temporales.

Cuadro N° 22. Resumen estadístico de carga y acomodo de carga.

Parámetro	Tiempo de Carga	Tiempo Acomodo de Carga
Tamaño muestra	17	17
Mínimo [s]	1114	48
Máximo [s]	1729	308
Promedio [s]	1383	158
Desviación estándar [s]	160	71

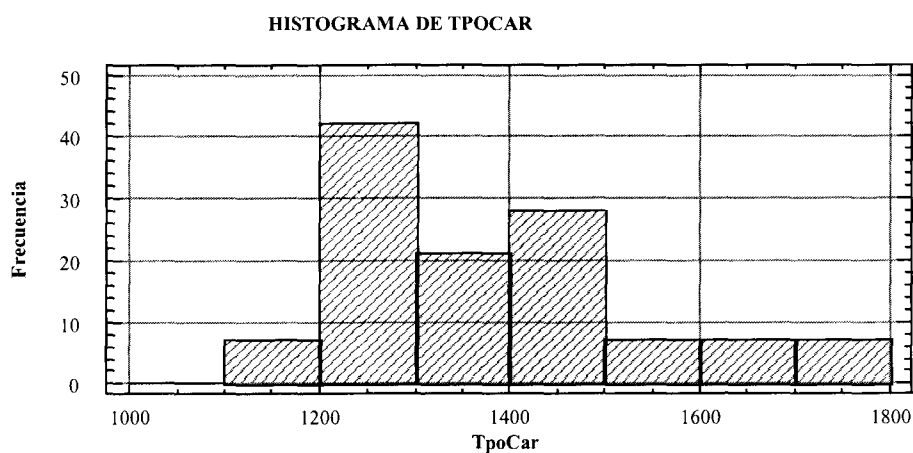


Figura N° 23. Histograma de tiempo de carga (TpoCar).

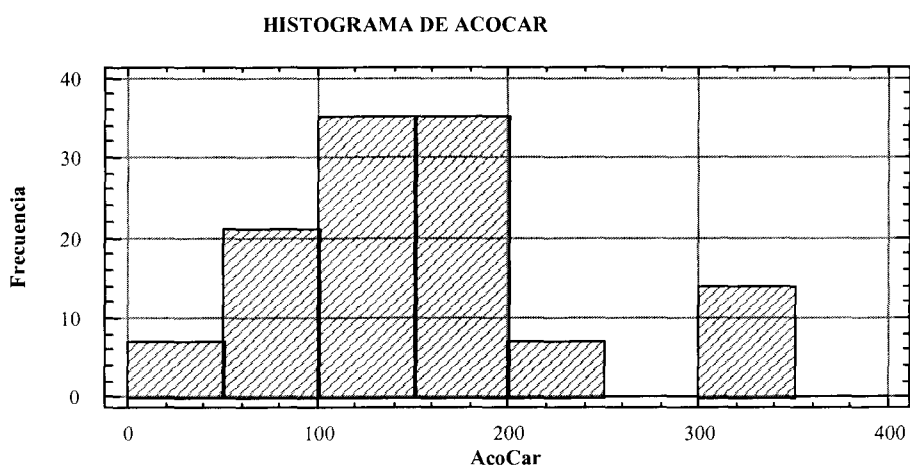


Figura N° 24. Histograma de tiempo de acomodo de carga (AcoCar).

El Cuadro N° 23 muestra los parámetros asociados a los cuatro mejores ajustes de fdp, para las variables temporales de carga y acomodo de carga.

Cuadro N° 23. Funciones de distribución de probabilidad para carga y acomodo de carga.

Distribución de Probabilidad	Parámetro	Carga	Acomodo de Carga
Log-logistic	Mínimo Parámetro de forma Parámetro de escala (Valor-p)	-653,111 22,1912 2023,84 (0,92)	-511,478 16,9327 662,243 (0,998)
Triangular	Mínimo Máximo Moda (Valor-p)	1075,56 1815,18 1254,45 (0,99)	31,171 351,483 94,4568 (0,973)
Normal	Media Desviación estándar (Valor-p)	1383,41 159,535 (0,888)	158,647 71,1849 (0,897)
Beta	Mínimo Máximo p q (Valor-p)	1114 1831,09 1,99501 2,92482 (0,667)	48 360,335 1,17522 2,73186 (0,715)

Para la estimación del valor esperado de los tiempos de carga y acomodo de carga se utilizaron los parámetros asociados a la distribución triangular y log-logistic, ya que éstas presentaron los mayores valores-p de las fdp ajustadas respectivamente.

APÉNDICE N° 6. Modelos ajustados de tiempo de viaje cargado del maderero con carro

Cuadro N° 24. Modelos ajustados de viaje cargado.

N°	Modelos de Tiempo de Viaje Cargado (valor-p)	Valor-p		R²aj
		K-S	C'	
7	$Tpo = \beta_0 + \beta_1 Dist + \beta_2 PenAb$ **(0,000) **(0,000) **(0,000)	0,001 **	0,055 n.s	53,716
8	$Tpo = \beta_0 + \beta_1 Dist + \beta_2 PenAb * Binvc$ *(0,017) **(0,000) **(0,000)	0,636 n.s	0,055 n.s	94,474
9	$Tpo = \beta_0 + \beta_1 Dist + \beta_2 Binvc$ **(0,000) **(0,000) **(0,000)	0,336 n.s	0,055 n.s	94,504
10	$Tpo = \beta_0 + \beta_1 Dist + \beta_2 PenAb + \beta_3 PenAb * Binvc$ **(0,000) **(0,000) **(0,000) **(0,000)	0,411 n.s	0,055 n.s	97,429
11	$Tpo = \beta_0 + \beta_1 Dist + \beta_2 PenAb + \beta_3 PenAb * Binvc + \beta_4 Trozas$ **(0,001) **(0,000) **(0,000) **(0,000) **(0,024)	0,575 n.s	0,251 n.s	97,521
12	$Tpo = \beta_0 + \beta_1 Dist + \beta_2 PenAb + \beta_3 Binvc$ **(0,000) **(0,000) **(0,000) **(0,000)	0,706 n.s	0,055 n.s	97,878
13	$Tpo = \beta_0 + \beta_1 Dist + \beta_2 PenAb + \beta_3 Binvc + \beta_4 Trozas$ **(0,000) **(0,000) **(0,000) **(0,000) *(0,012)	0,818 n.s	0,252 n.s	97,974

n.s : No significativo estadísticamente.

* : Significativo estadísticamente (valor-p 0.05).

** : Altamente significativo estadísticamente (valor-p 0.01)

Todos los modelos cumplieron con el supuesto de no multicolinealidad significativa entre sus variables explicativas, ya que la matrices mostraron correlaciones menores a 0,5. El supuesto de normalidad se cumplió en la mayoría de los modelos. Todos los modelos cumplen con el supuesto de homocedasticidad. De los 7 modelos se seleccionó el modelo (13) ya que presentó el mayor R²aj.

A continuación se presenta la información estadística del modelo (13) seleccionado de tiempo de viaje cargado, (sin la observación número 97 eliminada en el proceso de depuración).

$$\text{TpoVC} = -48,2166 + 1,11747 * \text{Dist} + 2,6206 * \text{PendAb} + 96,9013 * \text{Binvc} - 0,20039 * \text{Troza} \quad (13)$$

Valor-p	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0125
Error estándar	9,57755	0,0537486	0,188722	1,9352	0,078983

$$R^2_{aj} = 97,9744 \quad \text{Error estándar de estimación} = 8,11469 \quad n = 118$$

Donde:

TpoVC : Tiempo de viaje cargado [s].

Dist : Distancia de madereo [m].

PendAb: Pendiente absoluta [%].

Binvc : Variable indicadora de la pendiente; 0 a favor de la pendiente.
1 en contra de la pendiente.

Troza : Número de trozas [#].

Test C $_{cal} = 0,235441$ Valor-p = 0,252233

Test K-S $_{cal} = 0.0582647$ Valor-p = 0,817938

Análisis de Varianza

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Model	372900,0	4	93224,9	1415,75	0,0000
Residual	7440,85	113	65,8482		
Total (Corr.)	380341,0	117			

Matriz de correlación

	TpoVC	DistVC	PendAb	Binvc	Trozas
DistVC	-0,4877	1,0000			
PendAb	-0,2852	0,1357	1,0000		
Binvc	0,1918	-0,2828	-0,4743	1,0000	
Trozas	-0,8371	-0,0036	-0,0033	0,0036	1,0000

Residuos inusuales

Row	Y	Predicted Y	Studentized Residual	Studentized Residual
35	180,0	153,168	26,8322	3,56
75	69,0	40,8178	28,1822	3,79
89	67,0	84,2188	-17,2188	-2,21
102	175,0	191,933	-16,9332	-2,17

Valores atípicos

Row	Leverage	Mahalanobis Distance	DFITS
35	0,04765	4,81309	0,796117
37	0,09834	11,6606	0,545273
71	0,11445	14,0009	-0,657814
75	0,05900	6,28239	0,94793
88	0,09941	11,8134	0,475471

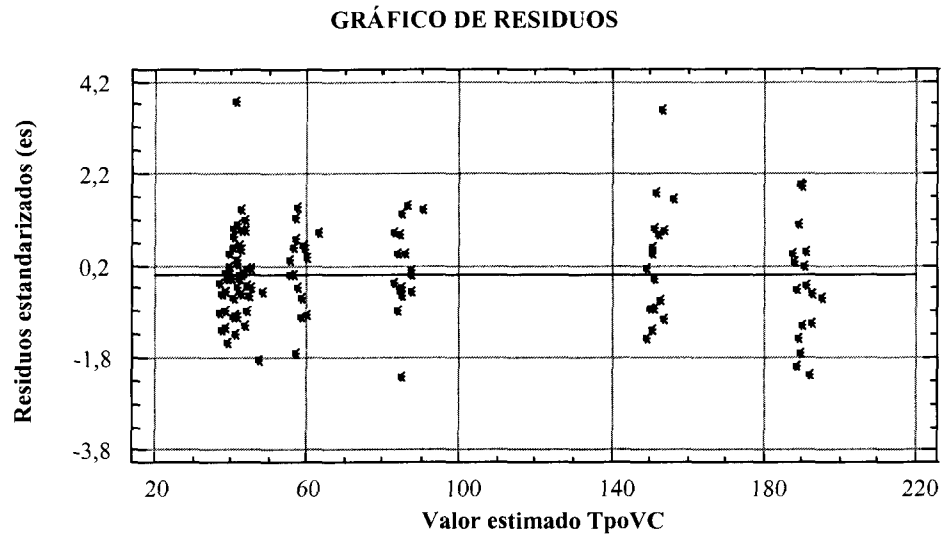


Figura N° 25. Residuos estandarizados modelo (13) de tiempo de viaje cargado.

El gráfico muestra un comportamiento homocedástico de la varianza de los residuos, cumpliéndose el supuesto.

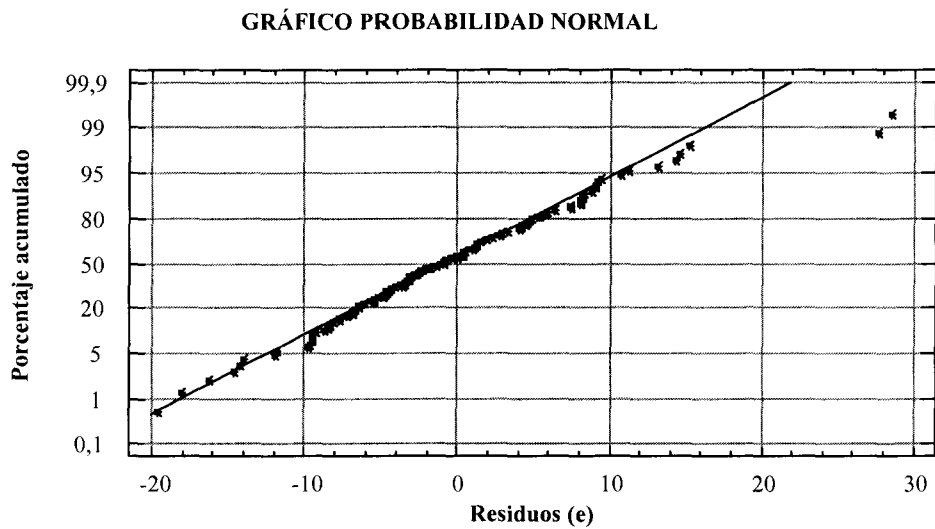


Figura N° 26. Probabilidad normal modelo (13) de tiempo de viaje cargado.

El supuesto de normalidad se cumple, ya que la gráfica muestra que los residuos corresponden aproximadamente a una línea recta.

APÉNDICE N° 7. Resumen estadístico de tiempos acomodo de viaje cargado del maderero con carro

La variable temporal de acomodo de viaje cargado no registró variables explicativas que pudiesen modelarla por medio de una regresión, debiendo recurrir al ajuste de fdp.

Cuadro N° 25. Resumen estadístico de tiempo de acomodo de viaje cargado.

Parámetro	Tiempo Acomodo Viaje Cargado
Tamaño muestra	17
Mínimo [s]	61
Máximo [s]	340
Promedio [s]	153
Desviación estándar [s]	76

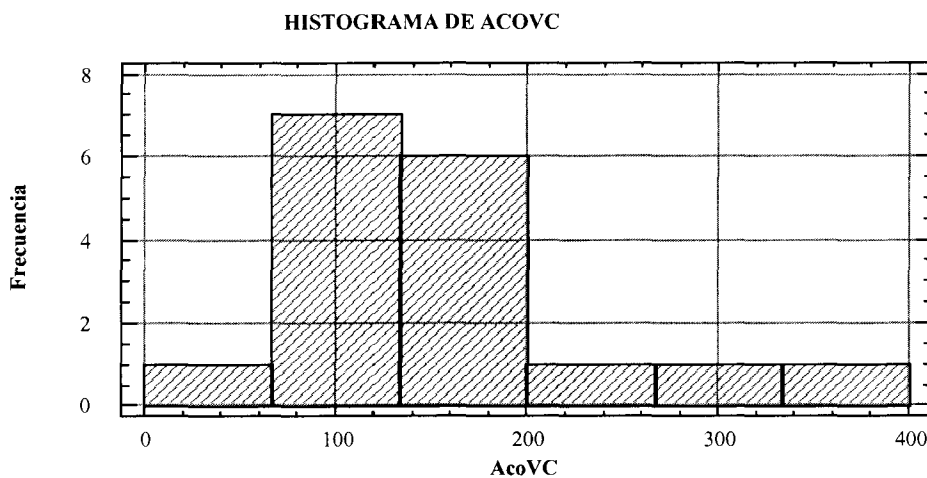


Figura N° 27. Histograma de tiempo de acomodo de viaje cargado (AcoVC).

El Cuadro N° 26 muestra los parámetros asociados a los cuatro mejores ajustes de fdp, para la variable temporal de acomodo de viaje cargado.

Cuadro N° 26. Funciones de distribución de probabilidad de acomodo de viaje cargado.

Distribución de Probabilidad	Parámetro	Acomodo Viaje Cargado
Log-logistic	Mínimo Parámetro de forma Parámetro de escala (Valor-p)	32,9104 3,08936 101,897 (0,53)
Beta	Mínimo Máximo p q (Valor-p)	61 297,575 2,16504 6567,13 (0,458)
Normal	Media Desviación estandar (Valor-p)	153 73,6638 (0,188)
Triangular	Mínimo Máximo Moda (Valor-p)	48,6691 374,329 78,9296 (0,153)

Para la estimación del valor esperado del tiempo de acomodo de viaje cargado se utilizaron los parámetros asociados a la distribución log-logistic, ya que ésta presentó el mayor valor-p de los cuatro ajustes realizados.

APÉNDICE N° 8. Resumen estadístico para los tiempos de descarga y acomodo de descarga del maderero con carro

La variable temporal de descarga no presentó regresiones satisfactorias que las modelaran; la variable temporal de acomodo de descarga no registró variables explicativas que pudiesen estimarla por medio de una regresión. Por lo anterior, se debió recurrir al ajuste de fdp para ambas variables temporales.

Cuadro N° 27. Resumen estadístico de descarga y acomodo de descarga.

Parámetro	Tiempo de Descarga	Tiempo Acomodo de Descarga
Tamaño muestra	17	17
Mínimo [s]	914	62
Máximo [s]	1561	265
Promedio [s]	1192	138
Desviación estándar [s]	150	44

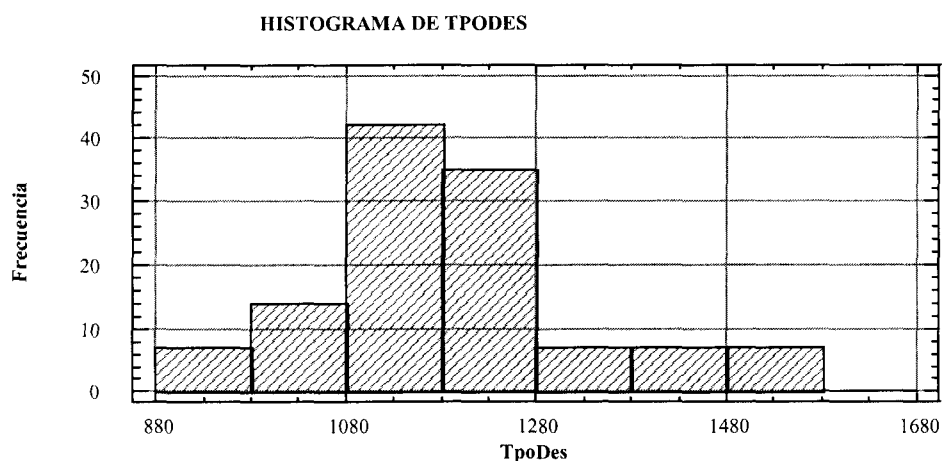


Figura N° 28. Histograma de tiempo de descarga (TpoDes).

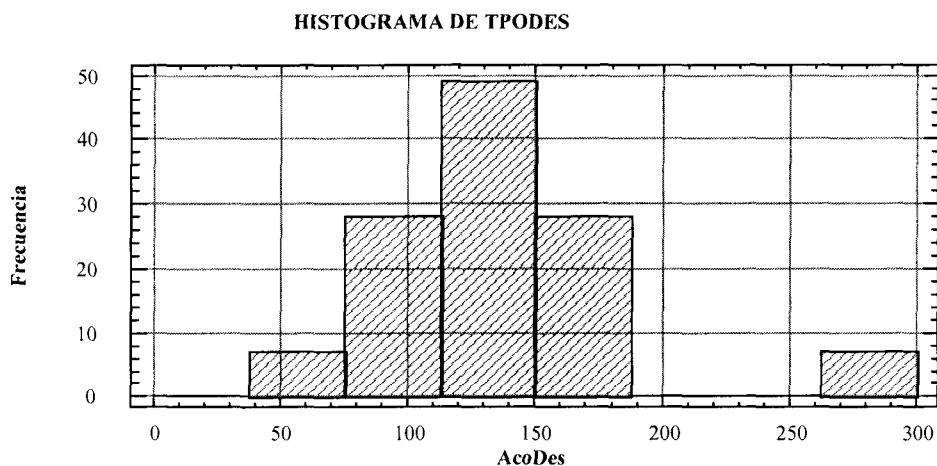


Figura N° 29. Histograma de tiempo de acomodo de descarga (AcoDes).

El Cuadro N° 28 muestra los parámetros asociados a los cuatro mejores ajustes de fdp, para las variables temporales de descarga y acomodo de descarga.

Cuadro N° 28. Funciones de distribución de probabilidad para descarga y acomodo de descarga.

Distribución de Probabilidad	Parámetro	Descarga	Acomodo de Descarga
Log-logistic	Mínimo	-327,702	-108,191
	Parámetro de forma	19,1141	11,1806
	Parámetro de escala	1507,58	239,99
	(Valor-p)	(0,958)	(0,82)
Normal	Media	1192	137,765
	Sigma	149,474	43,6436
	(Valor-p)	(0,759)	(0,424)
Beta	Mínimo	823,174	62
	Máximo	2508,46	687,121
	p	4,25741	4,26
	q	15,1916	28,759
	(Valor-p)	(0,925)	(0,351)
Triangular	Mínimo	859,404	48,6073
	Máximo	1621,15	281,864
	Moda	1157,62	121,823
	(Valor-p)	(0,517)	(0,167)

Para la estimación del valor esperado de los tiempos de descarga y acomodo de descarga se utilizaron los parámetros asociados a la distribución log-logistic, ya que ésta presentó los mayores valores-p para ambas fdp ajustadas.

APENDICE N° 9. Matrices de correlación del maderero con cadena en bosque

Cuadro N° 29. Matriz de correlación de viaje vacío.

	TpoVV	DistVV	PendAb	PenAbBin	Binvv	BinRet
DistVV	0,8921 0,0000					
PendAb	0,5064 0,0000	0,2930 0,0032				
PendAbBin	0,4310 0,0000	0,5436 0,0000	0,3581 0,0003			
Binvv	0,2456 0,0143	0,4538 0,0000	-0,0488 0,6315	0,8292 0,0000		
BinRet	0,2264 0,0242	0,3787 0,0001	0,0941 0,3542	0,3779 0,0001	0,2151 0,0325	

Cuadro N° 30. Matriz de correlación de carga más acomodo de carga.

	TpoCar + AcoCar	Ln (TpoCar+AcoCar)	Trozas	VolSm
Ln(TpoCar+AcoCar)	0,9589 0,0000			
Trozas	0,6822 0,0000	0,7087 0,0000		
VolSm	0,6491 0,0000	0,6615 0,0000	0,8546 0,0000	
Bin	0,7169 0,0000	0,8238 0,0000	0,6195 0,0000	0,5608 0,0000

Cuadro N° 31. Matriz de correlación de viaje cargado.

	TpoVC	DistVC	PendAb	PendAbBin	Binvc	Troza
DistVC	0,9469 0,0000					
PendAb	0,2850 0,0042	0,2930 0,0032				
PendAbBin	-0,3120 0,0017	-0,3059 0,0021	0,4149 0,0000			
Binvc	-0,4588 0,0000	-0,4538 0,0000	0,0488 0,6315	0,8453 0,0000		
Troza	0,1169 0,2490	0,1875 0,0632	-0,0237 0,8157	-0,0597 0,5570	-0,0509 0,6167	
VolSm	0,1096 0,2802	0,1704 0,0918	0,0121 0,9054	-0,0964 0,3428	-0,0864 0,3949	0,8546 0,0000

Cuadro N° 32. Matriz de correlación de descarga.

	TpoDes	Ln(TpoDes)	VolSm	Ln(VolSm)	Trozaz
Ln(TpoDes)	0,9771 0,0000				
VolSm	0,4222 0,0000	0,4833 0,0000			
Ln(VolSm)	0,4199 0,0000	0,4845 0,0000	0,9902 0,0000		
Trozaz	0,3882 0,0001	0,4513 0,0000	0,8546 0,0000	0,8412 0,0000	
Ln(Trozaz)	0,3801 0,0001	0,4472 0,0000	0,8510 0,0000	0,8416 0,0000	0,9887 0,0000

Correlación
Valor-p

APÉNDICE N° 10. Gráficos de matrices XY del madereo con cadena

Figura N° 30. Gráficos de matriz XY de viaje vacío.

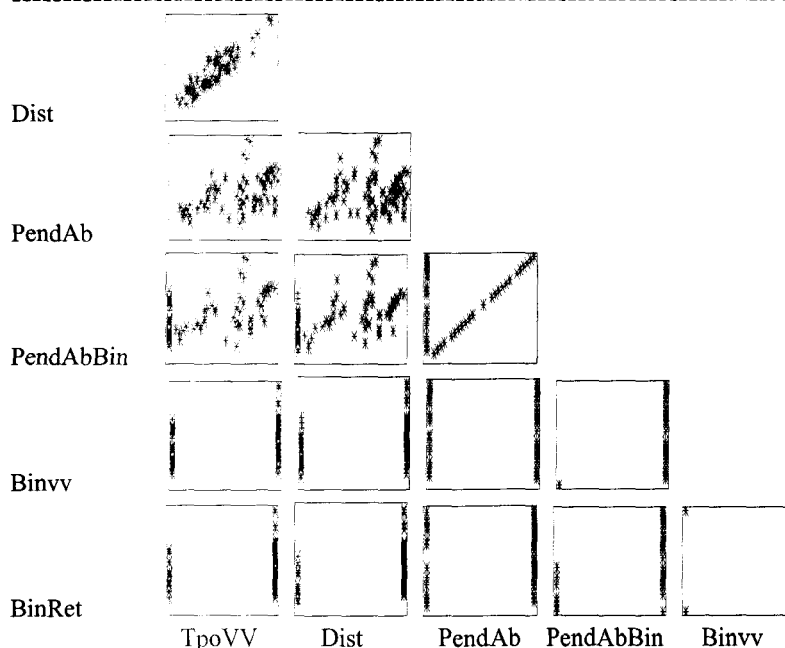


Figura N° 31. Gráficos de matriz XY de carga más acomodo de carga.

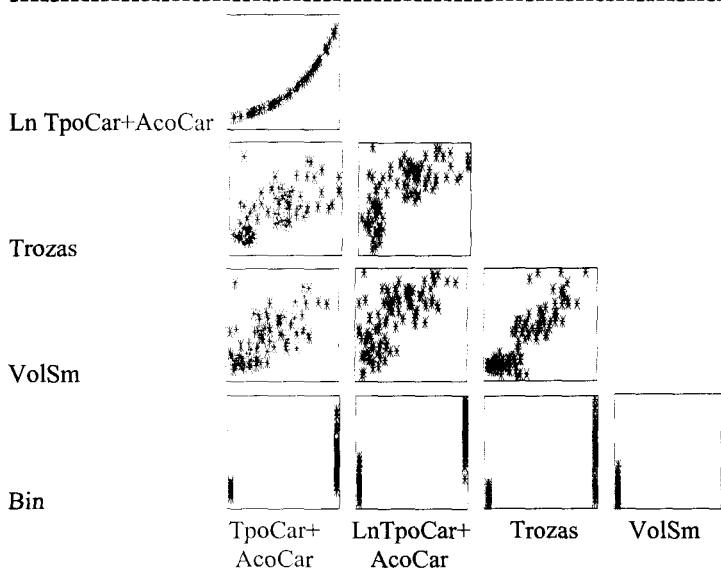


Figura N° 32. Gráficos de matriz XY de viaje cargado.

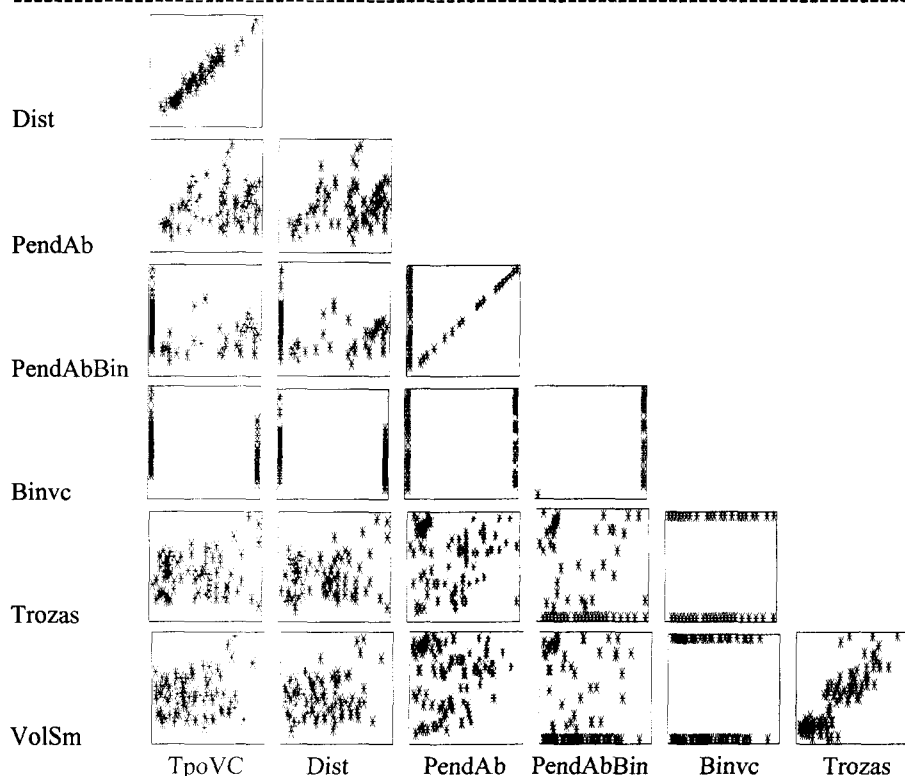
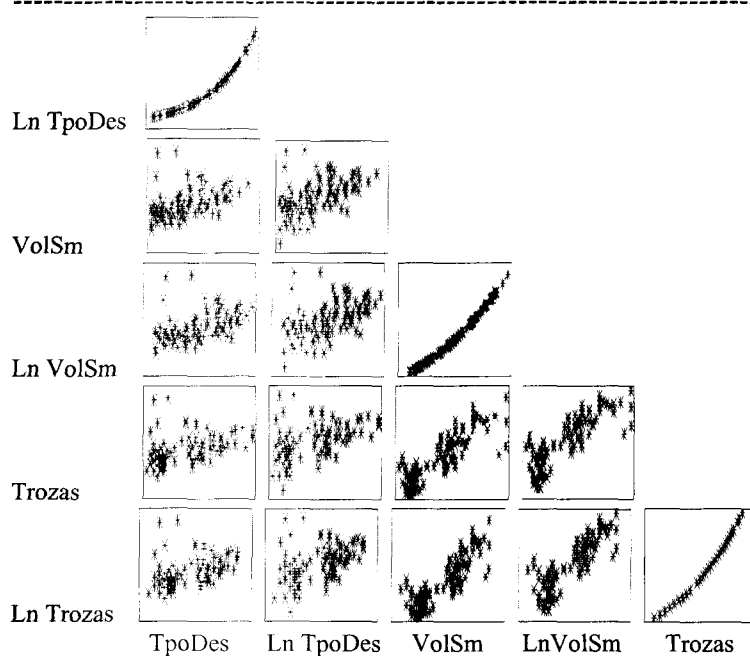


Figura N° 33. Gráficos de matriz XY de descarga.



APÉNDICE N° 11. Modelos ajustados de tiempo de viaje vacío del maderero con cadena

Cuadro N° 33. Modelos ajustados de viaje vacío.

N°	Modelos de Tiempo de Viaje Vacío (valor-p)	Valor-p K-S	R²aj
14	$Tpo = \beta_0 + \beta_1 Dist$ **(0,000) **(0,000)	0,558 n.s	79,373
15	$Tpo = \beta_0 + \beta_1 Dist + \beta_2 PenAb$ n.s(0,540) **(0,000) **(0,000)	0,952 n.s	85,863
16	$Tpo = \beta_0 + \beta_1 Dist + \beta_2 PenAb + \beta_3 Binvv$ n.s(0,207) **(0,000) **(0,000) **(0,000)	0,902 n.s	87,375
17	$Tpo = \beta_0 + \beta_1 Dist + \beta_2 PenAb + \beta_3 BinRet$ n.s(0,062) **(0,000) **(0,000) **(0,002)	0,945 n.s	87,089
18	$Tpo = \beta_0 + \beta_1 Dist + \beta_2 PenAb + \beta_3 PenAb*Binvv$ n.s(0,819) **(0,000) **(0,000) **(0,000)	0,610 n.s	87,506
19	$Tpo = \beta_0 + \beta_1 Dist + \beta_2 PenAb + \beta_3 Binvv + \beta_4 BinRet$ *(0,014) **(0,000) **(0,000) **(0,000) **(0,001)	0,782 n.s	88,487

n.s : No significativo estadísticamente.

* : Significativo estadísticamente (valor-p 0.05).

** : Altamente significativo estadísticamente (valor-p 0.01).

Todos los modelos cumplieron con el supuesto de no multicolinealidad significativa entre sus variables explicativas, ya que las matrices mostraron correlaciones menores a 0,5. El supuesto de normalidad se cumplió en todos los modelos, ya que el valor-p es mayor a 0,05. Todos los modelos cumplieron el supuesto de homocedasticidad, ya que los gráficos mostraron un comportamiento homogéneo de los residuos estandarizados; además, no presentan valores atípicos importantes. De estos modelos ajustados se seleccionó el modelo (19) ya que presentó el mayor R²aj.

A continuación se presenta la información estadística del modelo (19) seleccionado de tiempo de viaje vacío:

$$\text{TpoVV} = 11,8017 + 1,37366 * \text{Dist} + 1,20096 * \text{PendAb} - 12,0174 * \text{Binvv} - 12,746 * \text{BinRet} \quad (19)$$

Valor-p	0,0146	0,0000	0,0000	0,0006	0,0019
Error estándar	4,74435	0,063792	0,185072	3,39576	3,99604

$$R^2_{aj} = 88,4865 \quad \text{Error estándar de estimación} = 14,4715 \quad n = 99$$

Donde:

TpoVV : Tiempo de viaje vacío [s].

Dist : Distancia de madereo [m].

PendAb : Pendiente absoluta [%].

Binvv : Variable indicadora viaje vacío de la pendiente; 0 a favor de la pendiente.
1 en contra de la pendiente.

BinRet : Variable indicadora de retroceso; 0 viaje retrocediendo.
1 viaje normal en punta.

$$\text{Test K-S}_{Cal} = 0,0659963 \quad \text{Valor-p} = 0,781633$$

Análisis de Varianza

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Model	158571,0	4	39642,8	189,29	0,0000
Residual	19685,9	94	209,425		
Total (Corr.)	178257,0	98			

Matriz de correlación

	TpoVV	DistVV	BinRet	PendAb	Binvv
Dist VV	-0.2341	1.0000			
BinRet	-0.3972	-0.3065	1.0000		
PendAb	-0.5157	-0.3395	0.0080	1.0000	
Binvv	-0.1436	-0.4508	-0.0496	0.2127	1.0000

Valores atípicos

Row	Leverage	Mahalanobis Distance	DFITS
41	0.100388	9.83441	0.553233
54	0.085318	8.05809	-0.568803
83	0.082346	7.71461	-0.628815

Residuos inusuales

Row	Y	Predicted Y	Residual	Studentized Residual
32	160,0	131,586	28,414	2,04
83	62,0	90,5866	-28,5866	-2,10

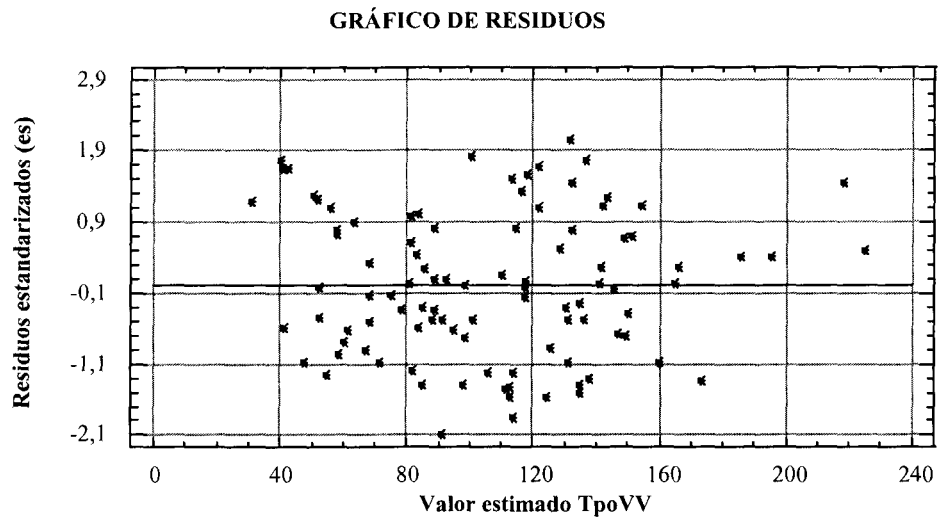


Figura N° 34. Residuos estandarizados modelo (19) de tiempo de viaje vacío.

La gráfica muestra un comportamiento homocedástico de la varianza de los residuos, cumpliéndose el supuesto.

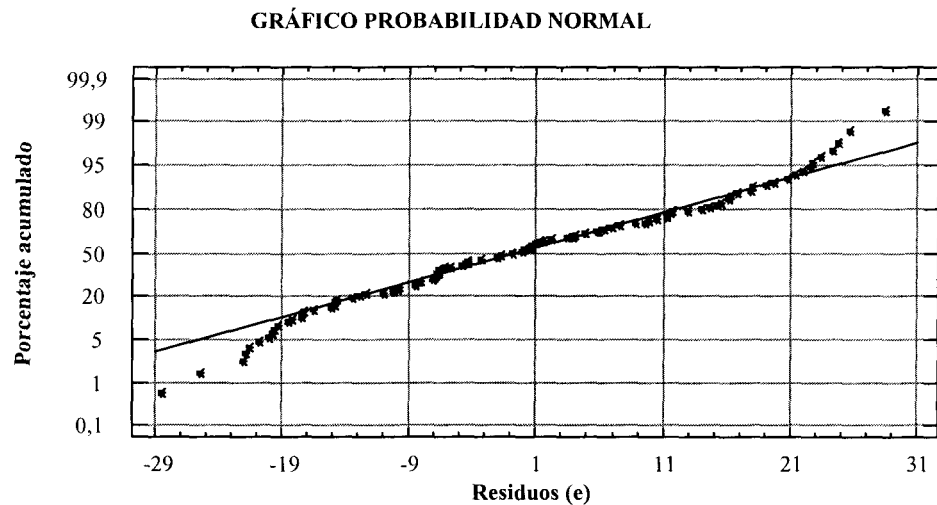


Figura N° 35. Probabilidad normal modelo (19) de tiempo de viaje vacío.

El supuesto de normalidad se cumple, ya que la gráfica muestra que los residuos corresponden aproximadamente a una línea recta.

APÉNDICE N° 12. Resumen estadístico del tiempo de acomodo de viaje vacío del madereo con cadena

La variable temporal de acomodo de viaje vacío no registró variables explicativas que pudiesen estimarla por medio de una regresión, debiendo recurrir al ajuste de fdp.

Cuadro N° 34. Resumen estadístico de tiempo de acomodo de viaje vacío.

Parámetro	Tiempo Acomodo de Viaje Vacío
Tamaño muestra	99
Mínimo [s]	9
Máximo [s]	264
Promedio [s]	64
Desviación estándar [s]	61

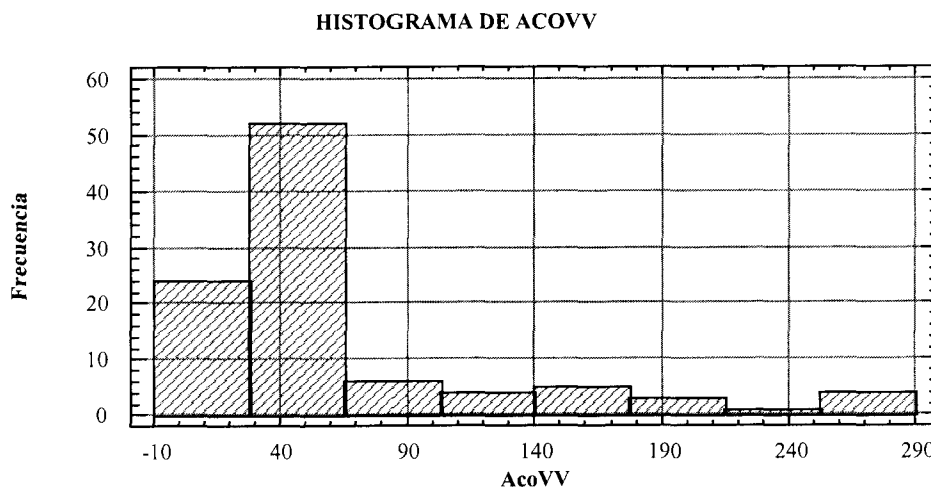


Figura N° 36. Histograma de tiempo de acomodo de viaje vacío (AcoVV).

El Cuadro N° 35 muestra los parámetros asociados a los cuatro mejores ajustes de fdp, para la variable temporal de acomodo de viaje vacío.

Cuadro N° 35. Funciones de distribución de probabilidad para acomodo de viaje vacío.

Distribución de Probabilidad	Parámetros	Acomodo de Viaje Vacío
Log-logistic	Mínimo Parámetro de forma Parámetro de escala (Valor-p)	9 1,83351 34,6118 (0,663)
Pearson 5	Mínimo Alpha Beta (Valor-p)	-2,55281 2,28455 89,3827 (0,569)
Person 6	Mínimo Beta p q (Valor-p)	9 41,6805 2,4097 2,75971 (0,348)
Lognormal	Mínimo Media Desviación estandar (Valor-p)	5,36246 3,65672 0,909089 (0,307)

Para la estimación del valor esperado del tiempo de acomodo de viaje vacío se utilizaron los parámetros asociados a la distribución log-logistic, ya que ésta presentó el mayor valor-p de los cuatro ajustes realizados.

APÉNDICE N° 13. Modelos ajustados de tiempo de carga más acomodo de carga del madereo con cadena

Cuadro N° 36. Modelos ajustados de carga más acomodo de carga.

N°	Modelos de Tiempo de Carga más Acomodo (valor-p)	Valor-p K-S	Correlación	R²aj
20	$Tpo = \beta_0 + \beta_1 VolSm$ n.s(0,101) ** (0,000)	0,587 n.s	Bajo 0,5	41,531
21	$Tpo = \beta_0 + \beta_1 Trozas$ n.s(0,387) ** (0,000)	0,102 n.s	Bajo 0,5	45,994
22	$Tpo = \beta_0 + \beta_1 Trozas * Vol$ ** (0,000) ** (0,000)	0,056 n.s	Bajo 0,5	46,085
23	$Tpo = \beta_0 + \beta_1 VolSm + \beta_2 Bin$ n.s(0,332) ** (0,000) ** (0,000)	0,659 n.s	-0,56	59,471
24	$Tpo = \beta_0 + \beta_1 Trozas + \beta_2 Bin$ n.s(0,804) ** (0,000) ** (0,000)	0,504 n.s	-0,62	59,779
25	$Tpo = \beta_0 + \beta_1 Trozas * Vol + \beta_2 Bin$ ** (0,002) ** (0,000) ** (0,000)	0,254 n.s	-0,58	61,348

n.s : No significativo estadísticamente.

* : Significativo estadísticamente (valor-p 0.05).

** : Altamente significativo estadísticamente (valor-p 0.01)

Todos los modelos cumplieron el supuesto de normalidad, ya que el valor-p es mayor a 0,05. El supuesto de no multicolinealidad significativa entre sus variables explicativas, estuvo afectado por grados de correlación mayores a 0,5, que van desde 6 a 12 grados por sobre este valor; sin embargo esta presencia puede ser aceptada, ya que correlaciones superiores a 0,8 son consideradas como un problema serio.

Todos los modelos presentaron heterocedasticidad en sus gráficos de residuos estandarizados, una medida para solucionar este problema es transformar los modelos aplicando logaritmo natural en las variables.

Cuadro N° 37. Modelos transformados de carga más acomodo de carga.

N°	Modelos Transformados Tiempo Carga más Acomodo (valor-p)	Valor-p K-S	Correlación	R²aj
20t	$Ln(Tpo) = \beta_0 + \beta_1 VolSm$ **(0,000) **(0,000)	0,901 n.s	Bajo 0,5	43,170
21t	$Ln(Tpo) = \beta_0 + \beta_1 Trozas * Vol$ **(0,000) **(0,000)	0,976 n.s	Bajo 0,5	47,049
22t	$Ln(Tpo) = \beta_0 + \beta_1 Trozas$ **(0,000) **(0,000)	0,807 n.s	Bajo 0,5	49,716
23t	$Ln(Tpo) = \beta_0 + \beta_1 VolSm + \beta_2 Bin$ **(0,000) **(0,000) **(0,000)	0,975 n.s	-0,56	73,122
24t	$Ln(Tpo) = \beta_0 + \beta_1 Trozas + \beta_2 Bin$ **(0,000) **(0,000) **(0,000)	0,906 n.s	-0,62	73,719
25t	$Ln(Tpo) = \beta_0 + \beta_1 Trozas * Vol + \beta_2 Bin$ **(0,000) **(0,000) **(0,000)	0,915 n.s	-0,58	74,105
23ta	$Ln(Tpo) = \beta_0 + \beta_1 VolSm + \beta_2 Bin$ **(0,000) **(0,000) **(0,000)	0,975 n.s	-0,57	77,686

Los modelos transformados cumplieron con el supuesto de homocedasticidad, a través del gráfico de residuos estandarizados. De todos los modelos se seleccionó el modelo (23t) ya que presenta facilidad de uso y aplicación, en comparación a aquellos que presentaron mayores R²aj (no presentando grandes diferencias entre sus R²aj), además presentó el menor grado de correlación (-0.56) entre las variables explicativas. En el análisis de datos atípicos del modelo (23t) seleccionado, se observó la presencia de dos valores muy alejados del resto, que al ser eliminado, modelo (23ta), provocó mejoras en los coeficientes de regresión, en el R²aj.

El modelo original para el tiempo de carga más acomodo de carga en bosque es el siguiente:

$$\text{TpoCar} + \text{Acom} = -13,8516 + 120,635 * \text{VolSm} + 67,7146 * \text{Bin} \quad (23)$$

Valor-p	0,3323	0,0000	0,0000
Error estándar	14,2146	26,0035	10,2158

$$R^2_{aj} = 59,471 \quad \text{Error estándar de estimación} = 39,0296 \quad n = 99$$

Donde:

TpoCar + Acom: Logaritmo natural de tiempo de carga más acomodo [s].
VolSm : Volumen Smalian de la carga [m³].
Bin : Variable indicadora de acomodo de carga; 0 sin acomodo.
1 con acomodo.

$$\text{Test K-S}_{Cal} = 0,073446 \quad \text{Valor-p} = 0,659573$$

Análisis de Varianza

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Model	222102,0	2	111051,0	72,90	0,0000
Residual	146238,0	96	1523,31		
Total (Corr.)	368340,0	98			

Matriz de correlación

	TpoCar+Aco	VolSm	Bin
VolSm	-0,8699	1,0000	
Bin	0,1495	-0,5608	1,0000

Valores atípicos

Row	Leverage	Mahalanobis Distance	DFITS
9	0,0534512	4,48775	1,1707
86	0,0461278	3,70097	0,501538
88	0,0367932	2,71548	0,48323
90	0,0383471	2,8782	0,349893

Residuos inusuales

Row	Y	Predicted Y	Studentized Residual	Residual
9	270,0	102,168	167,832	4,93
17	42,0	126,383	-84,3832	-2,23
86	255,0	169,905	85,0952	2,28
88	257,0	164,718	92,2817	2,47

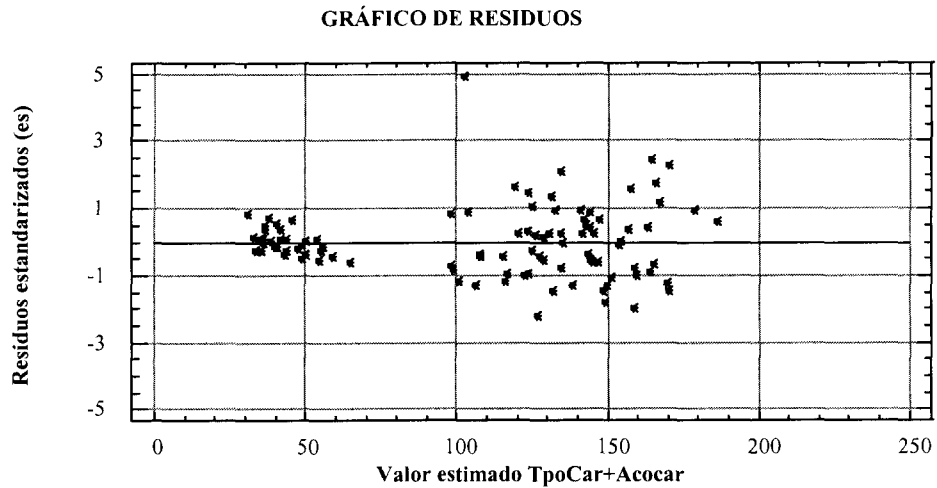


Figura N° 37. Residuos estandarizados modelo (23) de tiempo de carga más acomodo de carga.

La gráfica muestra un comportamiento heterocedástico de la varianza de los residuos, violando el supuesto de homocedasticidad. Una medida remedial a este problema es aplicar logaritmo natural en sus variables.

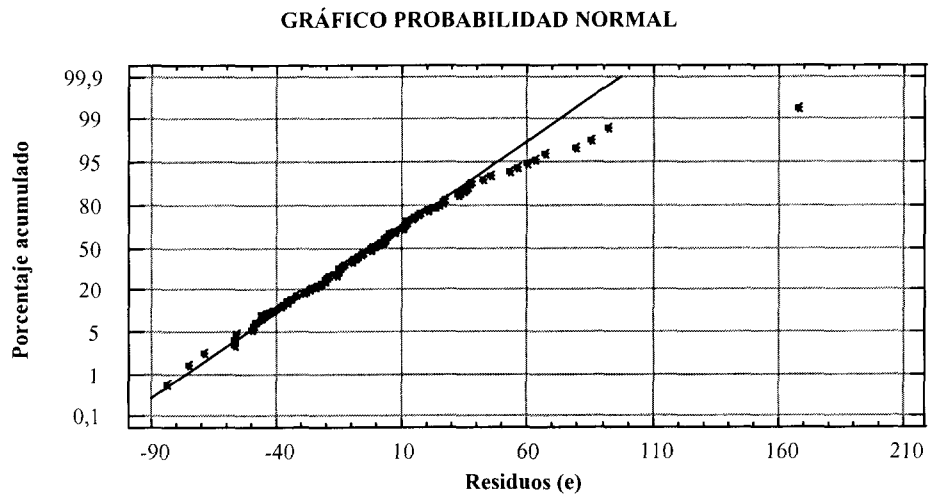


Figura 38. Probabilidad normal modelo (23) de tiempo de carga más acomodo de carga.

El supuesto de normalidad se cumple, ya que la gráfica muestra que los residuos corresponden aproximadamente a una línea recta.

El comportamiento heterocedástico en la varianza de los residuos, Figura N° 36, hizo necesario aplicar transformaciones de tipo logaritmo natural en sus variables.

El modelo (6) transformado y seleccionado de tiempo de carga más acomodo en bosque es el siguiente:

$$\text{Ln}(\text{TpoCar} + \text{Acom}) = 3,25804 + 1,00535 * \text{VolSm} + 0,896753 * \text{Bin} \quad (23t)$$

Valor-p	0,0000	0,0000	0,0000
Error estándar	0,119468	0,218548	0,085859

$$R^2_{aj} = 73,1224 \quad \text{Error estándar de estimación} = 0,328027 \quad n = 99$$

Donde:

Ln(TpoCar+Acom): Logaritmo natural de tiempo de carga más acomodo [s].
 VolSm : Volumen Smalian de la carga [m³].
 Bin : Variable indicadora de acomodo de carga; 0 sin acomodo.
 1 con acomodo.

Tests K-S $_{Cat} = 0,0482292$

Valor-p = 0,975381

Análisis de Varianza

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Model	28,9034	2	14,4517	134,31	0,0000
Residual	10,3297	96	0,107602		
Total (Corr.)	39,2332	98			

Matriz de correlación

	Ln(tpoCar+Aco)	VolSm	Bin
VolSm	-0,8699	1,0000	
Bin	0,1495	-0,5608	1,0000

Valores atípicos

Row	Leverage	Mahalanobis Distance	DFITS
9	0,0534512	4,48775	0,817784
17	0,0186878	0,857441	-0,455633
22	0,057874	4,96883	-0,404768

Residuos inusuales

Row	Y	Predicted Y	Residual	Studentized Residual
9	5,59842	4,55737	1,04106	3,44
17	3,73767	4,75917	-1,0215	-3,30

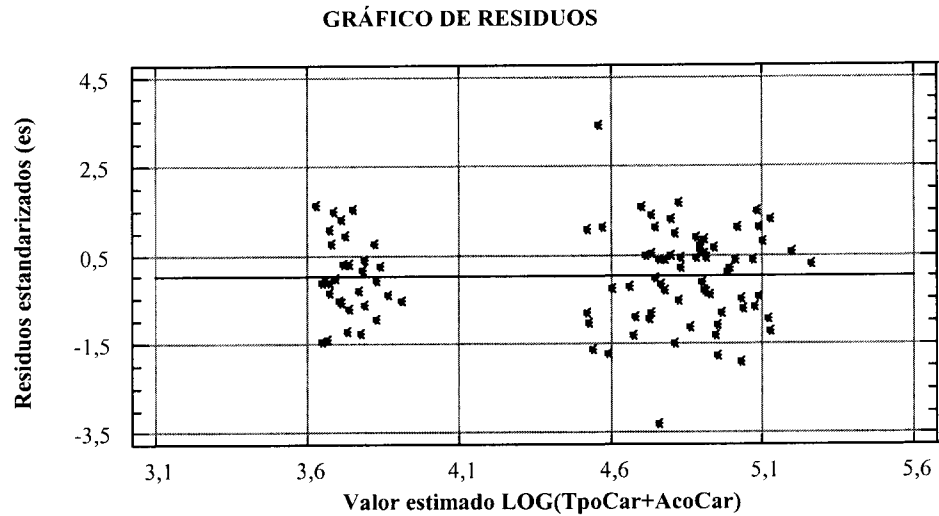


Figura N° 39. Residuos estandarizados modelo (23t) de tiempo de carga más acomodo.

La gráfica muestra un comportamiento homocedástico de la varianza de los residuos, además muestra dos puntos atípicos muy alejados del resto.

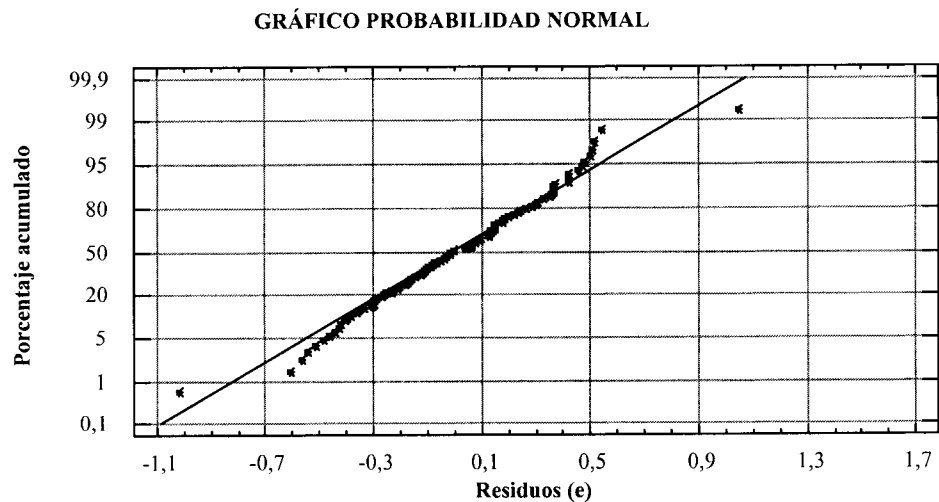


Figura N° 40. Probabilidad normal modelo (23t) de tiempo de carga más acomodo.

El supuesto de normalidad se cumple, ya que la gráfica muestra que los residuos corresponden aproximadamente a una línea recta.

El modelo presentó dos datos atípicos muy alejados del resto, por lo cual se procede a eliminarlos y realizar nuevamente el ajuste.

El modelo (23ta) seleccionado, sin los datos atípicos (9 y 17), de tiempo de carga más acomodo de carga en bosque es el siguiente:

$$\text{Ln}(\text{TpoCar} + \text{Acom}) = 3,21148 + 1,10327 * \text{VolSm} + 0,874305 * \text{Bin} \quad (23\text{ta})$$

Valor-p	0,0000	0,0000	0,0000
Error estándar	0,109294	0,201008	0,0787049

$$R^2_{aj} = 77,6862 \quad \text{Error estándar de estimación} = 0,295027 \quad n = 97$$

Donde:

Ln(TpoCar+Acom): Logaritmo natural de tiempo de carga más acomodo [s].
 VolSm : Volumen Smalian de la carga [m³].
 Bin : Variable indicadora de acomodo de carga; 0 sin acomodo.
 1 con acomodo.

$$\text{Test K-S}_{Cat} = 0,0487741 \quad \text{Valor-p} = 0,975134$$

Análisis de Varianza

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Model	29,2654	2	14,6327	168,11	0,0000
Residual	8,18183	94	0,0870407		
Total (Corr.)	37,4472	96			

Matriz de correlación

	Ln(TpoCar+AcoCar)	VolSm	Bin
VolSm	-0,8746	1,0000	
Bin	0,1789	-0,5748	1,0000

Valores atípicos

Row	Leverage	Mahalanobis Distance	DFITS
1	0,0489739	3,90252	-0,414552
8	0,0679851	5,94012	0,361571
20	0,0620224	5,29216	-0,440124
56	0,0278263	1,72958	-0,369841

Residuos inusuales

Row	Y	Predicted Y	Residual	Studentized Residual
48	4,38203	4,95879	-0,576768	-2,01
56	4,41884	5,04234	-0,623497	-2,19

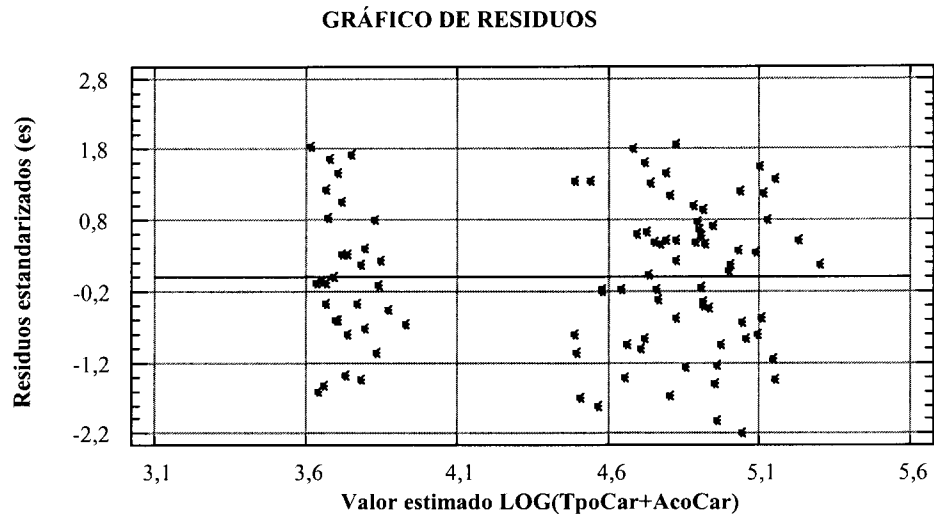


Figura N° 41. Residuos estandarizados modelo (23ta) de tiempo de carga más acomodo.

La gráfica muestra un comportamiento homocedástico de la varianza de los residuos, cumpliéndose el supuesto.

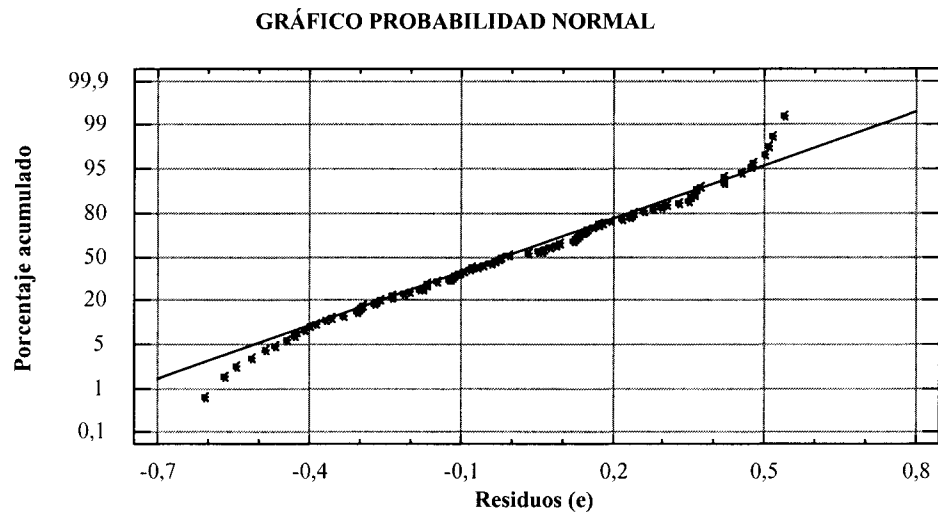


Figura N° 42. Probabilidad normal del modelo (23ta) de tiempo de carga más acomodo.

El supuesto de normalidad se cumple, ya que la gráfica muestra que los residuos corresponden aproximadamente a una línea recta.

APÉNDICE N° 14. Modelos ajustados de tiempo de viaje cargado del madereo con cadena

Cuadro N° 38. Modelos ajustados de viaje cargado.

N°	Modelos de Tiempo de Viaje Cargado (valor-p)	Valor-p K-S	R²aj
26	$Tpo = \beta_0 + \beta_1 Dist + \beta_2 PenAb + \beta_3 PenAb*Bin + \beta_4 Bin$ *(0,020) **(0,000) n.s(0,656) n.s(0,970) n.s(0,715)	0,677 n.s	89,367
27	$Tpo = \beta_0 + \beta_1 Dist + \beta_2 PenAb*Bin + \beta_3 Bin$ **(0,002) **(0,000) n.s(0,838) n.s(0,471)	0,546 n.s	89,456
28	$Tpo = \beta_0 + \beta_1 Dist + \beta_2 PenAb$ *(0,011) **(0,000) n.s(0,810)	0,814 n.s	89,459
29	$Tpo = \beta_0 + \beta_1 Dist + \beta_2 PenAb + \beta_3 PenAb*Bin$ **(0,007) **(0,000) n.s(0,445) n.s(0,309)	0,719 n.s	89,464
30	$Tpo = \beta_0 + \beta_1 Dist + \beta_2 PenAb*Bin$ **(0,002) **(0,000) n.s(0,474)	0,612 n.s	89,509
31	$Tpo = \beta_0 + \beta_1 Dist + \beta_2 Trozas$ **(0,000) **(0,000) n.s(0,058)	0,662 n.s	89,841
32	$Tpo = \beta_0 + \beta_1 Dist$ **(0,000) **(0,000)	0,715 n.s	91,992

n.s : No significativo estadísticamente.

* : Significativo estadísticamente (valor-p 0,05).

** : Altamente significativo estadísticamente (valor-p 0,01)

La mayoría de los modelos ajustados presentaron variables explicativas no significativas, debido a esto se seleccionó el único modelo (32) que presentó sólo la variable de distancia de madereo significativa. El modelo seleccionado, al tener una sola variable explicativa, no presentó problemas de multicolinealidad. Además, cumple con los supuestos de normalidad, ya que el valor-p es mayor a 0,05, y con homocedasticidad, ya que el gráfico de residuos estandarizados mostró un comportamiento homogéneo.

El modelo (32) de tiempo de viaje cargado en bosque, es el siguiente:

$$\text{TpoVC} = 13,9188 + 1,73971 \cdot \text{Dist} \quad (32)$$

Valor-p 0,0003 0,0000
 Error estándar 3,70483 0,0520928

$R^2_{aj} = 91,9922$ Error estándar de estimación = 14,884 n = 98

Donde:

TpoVC : Tiempo de viaje cargado [s].

Dist : Distancia de madereo [m].

Tests K-S_{Cal} = 0,0704551 Valor-p = 0,715444

Análisis de Varianza

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Model	247079,0	1	247079,0	1115,32	0,0000
Residual	21267,1	96	221,532		
Total (Corr.)	268346,0	97			

Matriz de correlación

	TpoVC	DistVC
DistVC	-0,9140	1,0000

Valores atípicos

Row	Leverage	Mahalanobis Distance	DFITS
4	0,0172598	0,69635	-0,31015
7	0,0137442	0,348139	0,316622
62	0,0557845	4,68201	-0,461981
65	0,0219758	1,16739	0,355188
74	0,0146262	0,435261	0,287414

Residuos inusuales

Row	Y	Predicted Y	Residual	Studentized Residual
4	135,0	168,753	-33,7531	-2,34
7	195,0	156,575	38,4249	2,68
30	171,0	140,918	30,0823	2,07
65	215,0	180,931	34,0690	2,37
69	96,0	127,000	-31,0000	-2,13

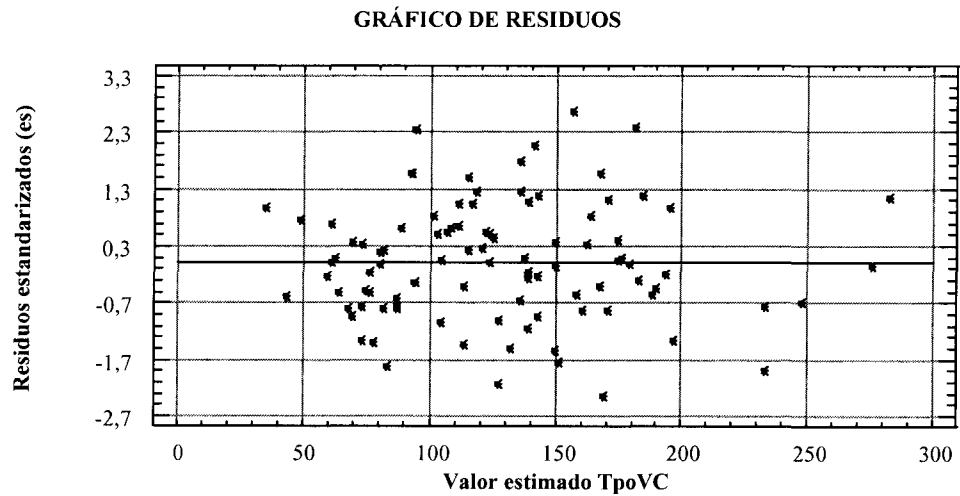


Figura N° 43. Residuos estandarizados modelo (32) de tiempo viaje cargado.

La gráfica muestra un comportamiento homocedástico de la varianza de los residuos, cumpliéndose el supuesto.

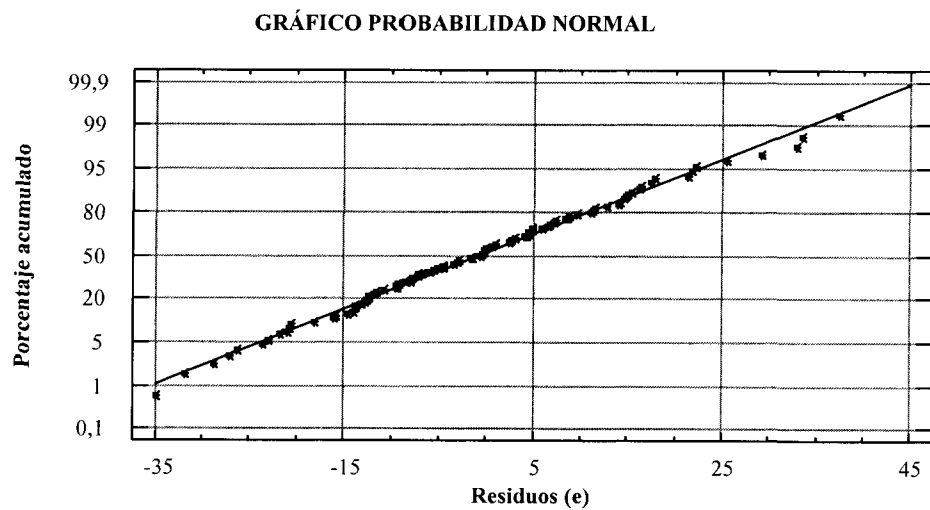


Figura N° 44. Probabilidad normal modelo (32) de tiempo viaje cargado.

El supuesto de normalidad se cumple, ya que la gráfica muestra que los residuos corresponden aproximadamente a una línea recta.

APÉNDICE N° 15. Resumen estadístico del tiempo de acomodo de viaje cargado del madereo con cadena

La variable temporal de acomodo de viaje cargado no registró variables explicativas que pudiesen estimarla por medio de una regresión, debiendo recurrir al ajuste de fdp.

Cuadro N° 39. Resumen estadístico de tiempo de acomodo de viaje cargado.

Parámetro	Tiempo Acomodo Viaje Cargado
Tamaño muestra	99
Mínimo [s]	10
Máximo [s]	336
Promedio [s]	35
Desviación estándar [s]	43

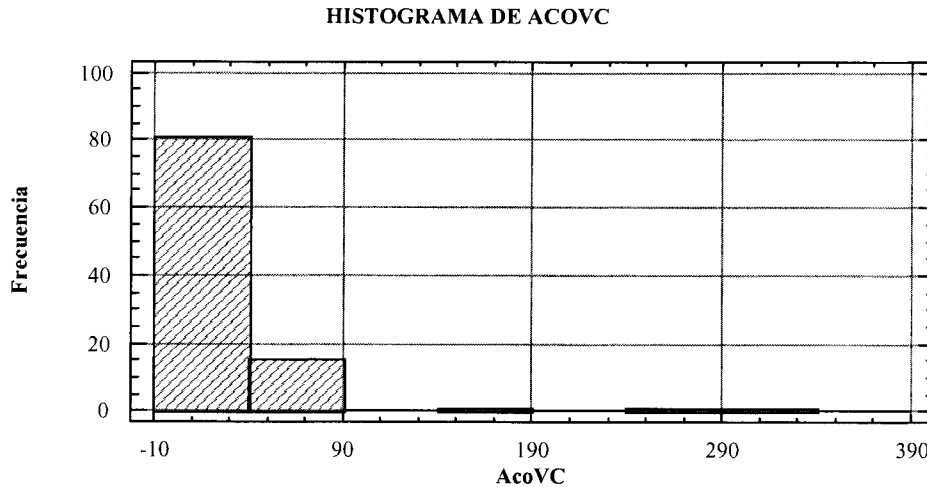


Figura N° 45. Histograma de tiempo de acomodo de viaje cargado (AcoVC).

El Cuadro N° 40 muestra los parámetros asociados a los cuatro mejores ajustes de fdp, para la variable temporal de acomodo de viaje cargado.

Cuadro N° 40. Funciones de distribución de probabilidad de acomodo de viaje cargado.

Distribución de Probabilidad	Parámetro	Acomodo de Viaje Cargado
Log-logistic	Mínimo Parámetro de forma Parámetro de escala (Valor-p)	10 1,93968 14,6811 (0,923)
Pearson 5	Mínimo Alpha Beta (Valor-p)	5,17548 2,50853 42,2819 (0,647)
Person 6	Mínimo Beta p q (Valor-p)	10 17,6389 2,44191 2,93614 (0,488)
Lognormal	Mínimo Media Desviación estándar (Valor-p)	8,73399 2,78115 0,890567 (0,45)

Para la estimación del valor esperado del tiempo de acomodo de viaje cargado se utilizaron los parámetros asociados a la distribución log-logistic, ya que ésta presentó el mayor valor-p de los cuatro ajustes realizados.

APÉNDICE N° 16. Modelos ajustados de tiempo de descarga del maderero con cadena

Cuadro N° 41. Modelos ajustados de descarga.

N°	Modelos de Tiempo de Descarga (valor-p)	Valor-p K-S	R²aj
33	$Tpo = \beta_0 + \beta_1 Trozas$ **(0,000) **(0,000)	0,082 n.s	14,195
34	$Tpo = \beta_0 + \beta_1 Trozas*Vol$ **(0,000) **(0,000)	0,019 *	16,654
35	$Tpo = \beta_0 + \beta_1 VolSm$ **(0,000) **(0,000)	0,061 n.s	16,980

n.s : No significativo estadísticamente.

* : Significativo estadísticamente (valor-p 0.05).

** : Altamente significativo estadísticamente (valor-p 0.01).

La mayoría de los modelos cumplieron el supuesto de normalidad, ya que el valor-p es mayor a 0,05. Además, los modelos al tener una sola variable explicativa, no presentaron problemas de multicolinealidad. La mayoría de los modelos presentaron heterocedasticidad en sus gráficos de residuos estandarizados; una medida para solucionar este problema es transformar el modelo aplicando logaritmo natural en sus variables.

Cuadro N° 42. Modelos transformados de descarga.

N°	Modelos Transformados de Tiempo de Descarga (valor-p)	Valor-p K-S	R²aj
33t	$Ln(Tpo) = \beta_0 + \beta_1 Ln(Trozas)$ **(0,000) **(0,000)	0,516 n.s	19,175
34t	$Ln(Tpo) = \beta_0 + \beta_1 Ln(Trozas*Vol)$ **(0,000) **(0,000)	0,389 n.s	22,561
35t	$Ln(Tpo) = \beta_0 + \beta_1 Ln(VolSm)$ **(0,000) **(0,000)	0,680 n.s	22,681
35ta	$Ln(Tpo) = \beta_0 + \beta_1 Ln(VolSm)$ **(0,000) **(0,000)	0,674 n.s	37,771

Los modelos transformados cumplieron con todos los supuestos de MCO. El modelo (35t) seleccionado presentó el mayor R^2_{aj} . Además, el gráfico de residuos estandarizados del modelo seleccionado muestra la presencia de tres valores atípicos alejados del resto, los cuales al ser eliminados provocaron mejoras en el modelo, reportadas en el modelo (35ta).

El modelo original para el tiempo de descarga en bosque es el siguiente:

$$\text{TpoDes} = 14,1071 + 18,746 * \text{VolSm} \quad (35)$$

Valor-p 0,0000 0,0000
Error estándar 2,66768 4,08639

$R^2_{aj} = 16,9804$ Error estándar de estimación = 7,40796 $n = 99$

Donde:

TpoDes : Tiempo de descarga [s].

VolSm : Volumen Smalian [m³].

Test K-S_{Cal} = 0,13263 Valor-p = 0,061433

Análisis de Varianza

Sou	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Model	1154,87	1	1154,87	21,04	0,0000
Residual	5323,15	97	54,8778		
Total (Corr.)	6478,02	98			

Matriz de correlación

	TpoDesc	VolSm
TpoDesc	1,0000	
VolSm	-0,9603	1,0000

Valore atípicos

Row	Leverage	Mahalanobis Distance	DFITS
5	0,024168	1,41256	0,769179
9	0,0257051	1,56938	0,444841
15	0,0118173	0,170188	0,497604
99	0,0770664	7,10986	0,0948693

Residuos inusuales

Row	Y	Predicted Y	Residual	Studentized Residual
5	54,0	21,828	32,172	4,89
9	41,0	21,6135	19,3865	2,74
15	55,0	24,4507	30,5493	4,55
68	42,0	26,0821	15,9179	2,20

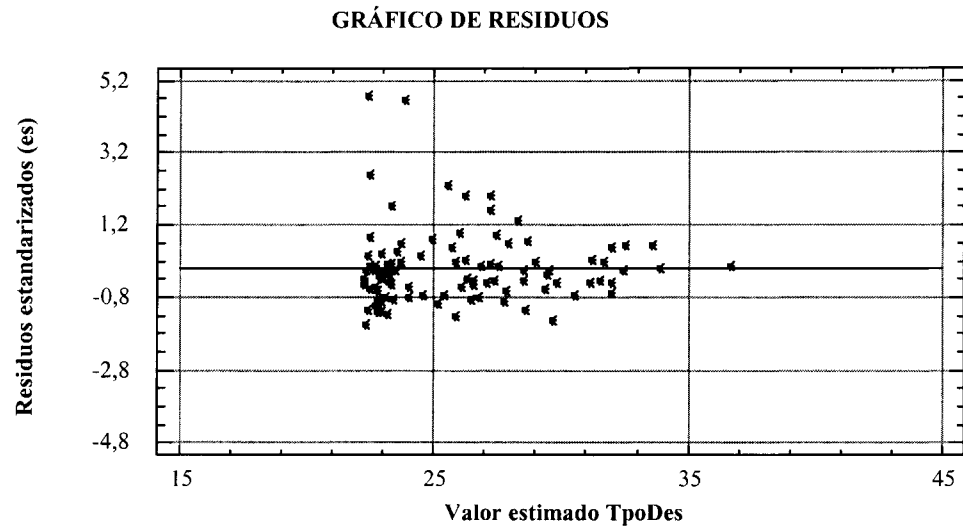


Figura N° 46. Residuos estandarizados modelo (35) de tiempo de descarga.

La gráfica muestra un comportamiento relativamente heterocedástico de la varianza de los residuos, violando el supuesto de homocedasticidad. Una medida remedial a este problema es aplicar logaritmo natural en sus variables.

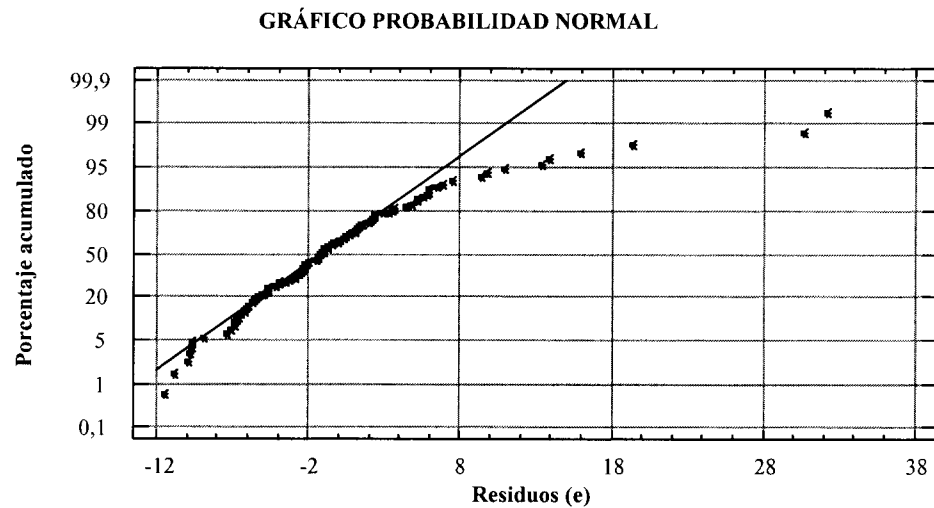


Figura N° 47. Probabilidad normal modelo (35) de tiempo de descarga.

El supuesto de normalidad se cumple, ya que la gráfica muestra que los residuos corresponden aproximadamente a una línea recta.

El comportamiento heterocedasticos de la varianza de los residuos, Figura N° 45, hizo necesario aplicar transformaciones de tipo logaritmo natural en sus variables.

El modelo (35t) transformado y seleccionado de tiempo de descarga en bosque es el siguiente:

$$\ln(\text{TpoDes}) = 3,46235 + 0,501833 * \ln(\text{VolSm}) \quad (35t)$$

Valor-p	0,0000	0,0000
Error estándar	0,0539214	0,0920085

$R^2_{aj} = 22,6814$ Error estándar de estimación = 0,265879 $n = 99$

Donde:

$\ln(\text{TpoDes})$: Logaritmo natural de tiempo de descarga [s].
 $\ln(\text{VolSm})$: Logaritmo natural de volumen Smalian [m³].

Test K-S $_{cal} = 0,072211$ Valor-p = 0,680275

Análisis de Varianza

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Model	2,10296	1	2,10296	29,75	0,0000
Residual	6,8571	97	0,0706918		
Total (Corr.)	8,96007	98			

Matriz de correlación

	$\ln(\text{TpoDes})$	$\ln(\text{VolSm})$
$\ln(\text{VolSm})$	0,8686	1,0000

Valores atípicos

Row	Leverage	Mahalanobis Distance	DFITS
5	0,0272142	1,72383	0,665522
9	0,0298603	1,99581	0,49259
15	0,0109782	0,08691	0,353351
25	0,0388744	2,93353	-0,442945
73	0,0268813	1,68972	-0,288303

Residuos inusuales

Row	Y	Predicted Y	Residual	Studentized Residual
5	3,98898	3,0172	0,971782	3,98
9	3,71357	3,00306	0,71051	2,81
15	4,00733	3,16396	0,843376	3,35
23	2,63906	3,18609	-0,547034	-2,10
25	2,3979	2,96092	-0,563027	-2,20

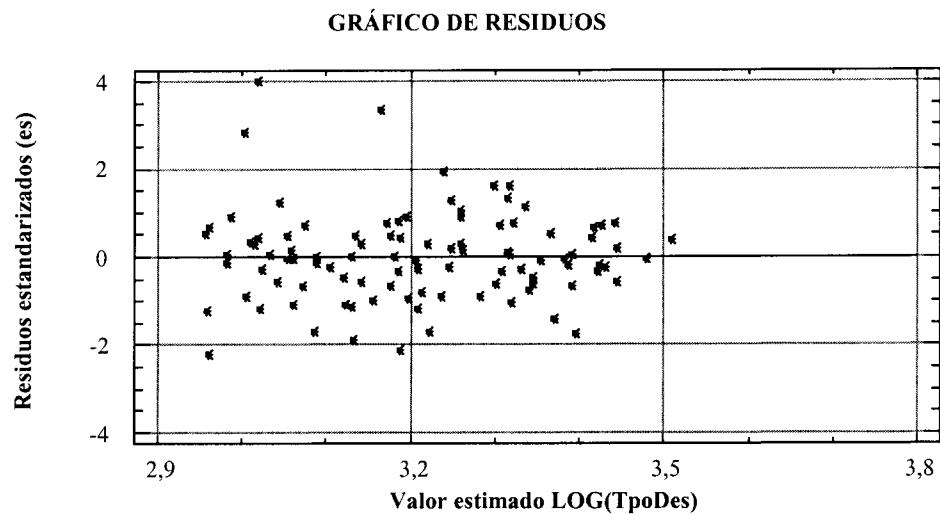


Figura N° 48. Residuos estandarizados modelo (35t) de tiempo de descarga.

La gráfica muestra un comportamiento homocedástico de la varianza de los residuos, además muestra tres puntos atípicos muy alejados del resto.

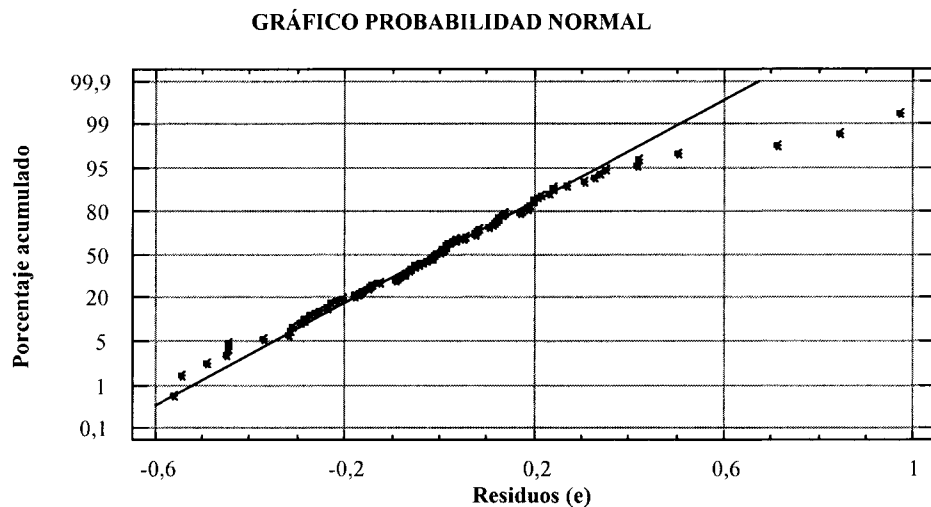


Figura N° 49. Probabilidad normal modelo (35t) de tiempo de descarga.

El supuesto de normalidad se cumple, ya que la gráfica muestra que los residuos corresponden aproximadamente a una línea recta.

El modelo presentó tres datos atípicos muy alejados del resto, por lo cual se procede a eliminarlos y ajustar nuevamente el modelo.

El modelo (35ta) seleccionado, sin los datos atípicos (5, 9 y 15), de tiempo de descarga en bosque es el siguiente:

$$\text{Ln (TpoDes)} = 3,48282 + 0,595393 * \text{Ln(VolSm)} \quad (35\text{ta})$$

Valor-p	0,0000	0,0000
Error estándar	0,044898	0,077737

$R^2_{aj} = 37,7707$ Error estándar de estimación = 0,220249 $n = 96$

Donde:

Ln(TpoDes) : Logaritmo natural de tiempo de descarga [s].

Ln(VolSm) : Logaritmo natural de volumen Smalian [m³].

Test K-S $_{Cal} = 0,0737036$ Valor-p = 0,674125

Análisis de Varianza

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Model	2,84565	1	2,84565	58,66	0,0000
Residual	4,55992	94	0,0485098		
Total (Corr.)	7,40557	95			

Matriz de correlación

	TpoDesc	Ln(VolSm)
TpoDesc	1,0000	
Ln(VolSm)	0,8656	1,0000

Residuos inusuales

Row	Y	Predicted Y	Residual	Studentized Residual
20	2,63906	3,15505	-0,515996	-2,42
22	2,3979	2,8879	-0,490009	-2,33
39	2,63906	3,09106	-0,452000	-2,10
65	3,73767	3,21599	0,52168	2,44
70	2,94444	3,40263	-0,458187	-2,15

Valores atípicos

Row	Leverage	Mahalanobis Distance	DFITS
22	0,0414649	3,07684	-0,48358
70	0,0270376	1,62269	-0,358278

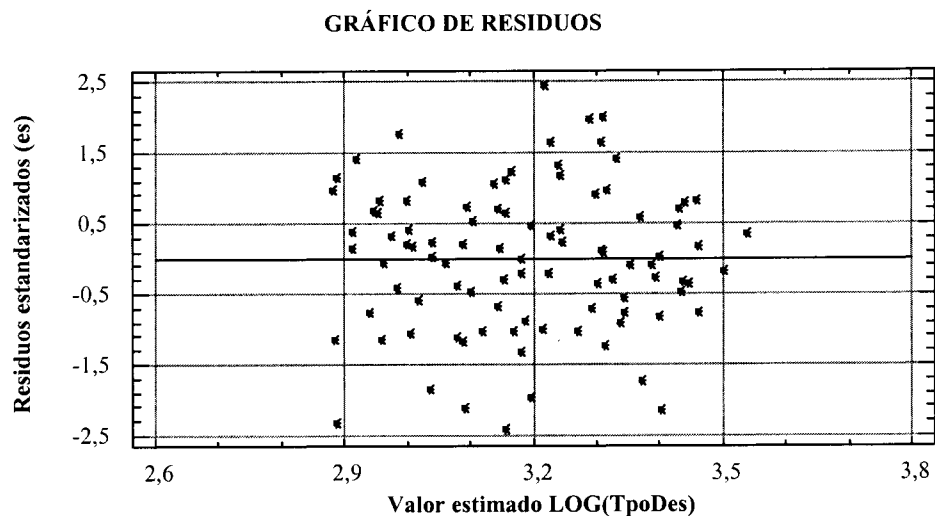


Figura N° 50. Residuos estandarizados modelo (35ta) de tiempo de descarga.

La gráfica muestra un comportamiento homocedástico de la varianza de los residuos, cumpliéndose el supuesto.

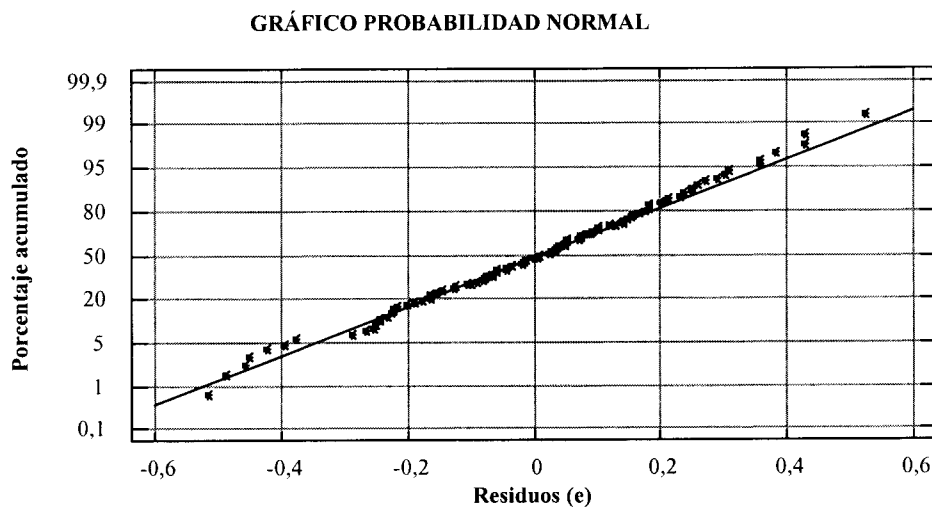


Figura N° 51. Probabilidad normal modelo (35ta) de tiempo de descarga.

El supuesto de normalidad se cumple, ya que la gráfica muestra que los residuos corresponden aproximadamente a una línea recta.

APÉNDICE N° 17. Resumen estadístico del tiempo de acomodo de descarga del maderero con cadena

La variable temporal de acomodo de descarga no registró variables explicativas que pudiesen estimarla por medio de una regresión, debiendo recurrir al ajuste de fdp.

Cuadro N° 43. Resumen estadístico de tiempo de acomodo de descarga.

Parámetro	Tiempo acomodo descarga
Tamaño muestra	99
Mínimo [s]	23
Máximo [s]	120
Promedio [s]	51
Desviación estándar [s]	17

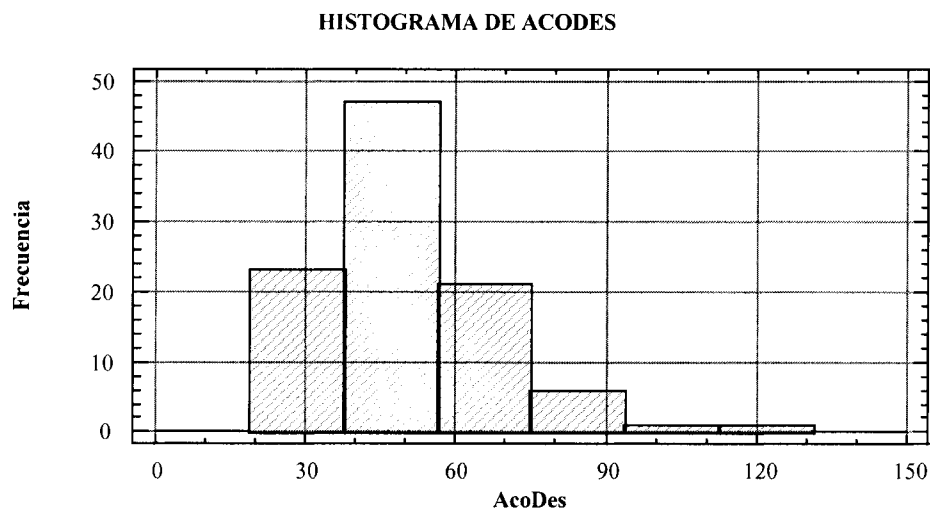


Figura N° 52. Histograma de tiempo de acomodo de descarga (AcoDes).

El Cuadro N° 44 muestra los parámetros asociados a los cuatro mejores ajustes de fdp, para la variable temporal de acomodo de descarga.

Cuadro N° 44. Funciones de distribución de probabilidad de acomodo de descarga.

Distribución de Probabilidad	Parámetro	Acomodo de Descarga
Log-logistic	Mínimo Parámetro de forma Parámetro de escala (Valor-p)	4,84938 4,97406 43,0906 (0,868)
Logistic	Media Beta (Valor-p)	49,0171 9,06035 (0,867)
Beta	Mínimo Máximo p q (Valor-p)	23 120 1,99051 5,13734 (0,827)
Lognormal	Mínimo Media Desviación estándar (Valor-p)	3,00977 3,80345 0,339383 (0,804)

Para la estimación del valor esperado del tiempo de acomodo de descarga se utilizaron los parámetros asociados a la distribución log-logistic, ya que ésta presentó el mayor valor-p de los cuatro ajustes realizados.

APÉNDICE N° 18. Cálculos del madereo con carro

Cuadro N° 45. Valores estimados de tiempo de viaje vacío por tramos del madereo con carro.

(*) Modelo TpoVV con todos los datos (3.1) (3.2)			(**) Modelo TpoVV sin dato atípico		
Binvv = 0	dist	PendAb	(*) TpoVV	Prom observ	(**)Tpo calc
	75	15	75,94	80,94	77,10
	105	17	109,77	106,94	113,11
suma			185,71	187,88	190,22
Binvv = 1	66	13	47,03	46,71	46,74
	67	14	48,17	42,94	47,92
	85	12	60,89	77,71	61,14
	93	2,5	56,52	55,47	56,52
	100	16	74,56	70,47	75,48
suma			287,16	293,29	287,79
Coeficientes de regresión (*)			Coeficientes de regresión (**)		
	0,429	Binvv :1		0,353	Binvv :1
	0,596	Binvv : 0		0,498	Binvv : 0
	1,055	Dist		1,097	Dist
	0,108	PendAb		0,113	PendAb
			calculado	observado	
Tiempo total con todos los decimales			472,40	481,18	
Tiempo total con 3 decimales			472,87	481,18	

Cuadro N° 46. Valores estimados de tiempo de viaje cargado por tramos del madereo con carro.

(*) Modelo TpoVC (4.1) (4.2)				
Binvc = 1	dist	PendAb	(*) TpoVC	Prom observ
	75	15,00	151,38	153,47
	105	17,00	190,13	188,12
suma			341,50	341,59
Binvc = 0	66	13,00	39,18	34,29
	67	14,00	42,92	45,65
	85	12,00	57,78	58,88
	93	2,50	41,82	41,94
	100	16,00	85,02	86,19
suma			266,71	266,96
Coeficientes de regresión (*)				
	-48,217	Binvv :0	1,117	Dist
	48,685	Binvv : 1	2,621	PendAb
	-20,4	Troza		
			calc	observ
Total calc con todos los decimales			608,20	608,54
Total calc con 3 decimales			608,21	608,54

Cuadro N° 47. Valores estimados de tiempo de viaje vacío y cargado del maderero con carro.

Distancia tramo	Pend	TpoVV (3.1)	TpoVV (3.2)	TpoVC (4.1)	TpoVC (4.2)
66	2,5	54,68	39,36	11,66	108,56
70	2,5	58,18	41,88	16,13	113,03
75	2,5	62,58	45,04	21,71	118,61
80	2,5	66,99	48,22	27,30	124,20
85	2,5	71,41	51,40	32,88	129,78
90	2,5	75,85	54,60	38,47	135,37
95	2,5	80,30	57,80	44,05	140,95
100	2,5	84,77	61,01	49,64	146,54
105	2,5	89,24	64,24	55,22	152,12
66	7	61,11	43,99	23,45	120,35
70	7	65,03	46,81	27,92	124,82
75	7	69,94	50,34	33,51	130,41
80	7	74,86	53,89	39,09	135,99
85	7	79,81	57,45	44,68	141,58
90	7	84,77	61,02	50,26	147,16
95	7	89,75	64,60	55,85	152,75
100	7	94,74	68,19	61,43	158,33
105	7	99,74	71,79	67,02	163,92
66	12	64,78	46,63	36,56	133,46
70	12	68,92	49,61	41,03	137,93
75	12	74,13	53,36	46,61	143,51
80	12	79,35	57,12	52,20	149,10
85	12	84,59	60,89	57,78	154,68
90	12	89,85	64,67	63,37	160,27
95	12	95,13	68,47	68,95	165,85
100	12	100,41	72,28	74,54	171,44
105	12	105,72	76,10	80,12	177,02
66	17	67,26	48,41	49,66	146,56
70	17	71,57	51,51	54,13	151,03
75	17	76,97	55,40	59,72	156,62
80	17	82,39	59,31	65,30	162,20
85	17	87,84	63,22	70,89	167,79
90	17	93,30	67,15	76,47	173,37
95	17	98,77	71,10	82,06	178,96
100	17	104,26	75,05	87,64	184,54
105	17	109,77	79,01	93,23	190,13

Cuadro N° 48. Cálculo del rendimiento promedio para el total de distancia (591 metros) recorrida en el madereo con carro.

Modelos de regresión	Estimado	Ocurrencia [%]	Observado
Tpovv total	472,87	11,0	481,18
Tpovc total	608,21	14,0	608,54
AcoVV	171,00	4,0	170,50
AcoVC	157,00	3,7	153,00
Carga	1385,00	32,0	1383,40
AcoCarg	156,00	3,6	158,65
Descarga	1190,00	28,0	1192,00
AcoDes	136,00	3,0	137,77
Tiempo total	4276,08		4284,94
Volsm * 3600 (2,73 * 3600)	9828,00		9828,00
Rendimiento [m³/HPM] (9828 / Tiempo total)	2,30		2,29

APÉNDICE N° 19. Cálculos del madereo con cadena

Cuadro N° 49. Valores estimados de tiempo de viaje vacío y cargado del madereo con cadena.

Dist	Pend	TpoVV (5.1)	TpoVV (5.2)	TpoVV (5.3)	TpoVV (5.4)	TpoVV (5.1) (5.3)	TpoVV (5.2) (5.4)	TpoVC (9)
12	2	30,69	18,68	17,95	5,93	20,37	8,35	34,80
32	2	58,17	46,16	45,43	33,41	47,85	35,83	69,60
52	2	85,65	73,64	72,91	60,89	75,33	63,31	104,40
72	2	113,13	101,12	100,39	88,37	102,81	90,79	139,20
92	2	140,61	128,60	127,87	115,85	130,29	118,27	174,00
112	2	168,09	156,08	155,35	143,33	157,77	145,75	208,80
132	2	195,57	183,56	182,83	170,81	185,25	173,23	243,60
154	2	225,80	213,78	213,05	201,04	215,48	203,46	281,88
12	7	36,70	24,68	23,95	11,93	26,37	14,36	34,80
32	7	64,18	52,16	51,43	39,41	53,85	41,84	69,60
52	7	91,66	79,64	78,91	66,89	81,33	69,32	104,40
72	7	119,14	107,12	106,39	94,37	108,81	96,80	139,20
92	7	146,62	134,60	133,87	121,85	136,29	124,28	174,00
112	7	174,10	162,08	161,35	149,33	163,77	151,76	208,80
132	7	201,58	189,56	188,83	176,81	191,25	179,24	243,60
154	7	231,81	219,79	219,06	207,04	221,48	209,46	281,88
12	12	42,70	30,69	29,96	17,94	32,38	20,36	34,80
32	12	70,18	58,17	57,44	45,42	59,86	47,84	69,60
52	12	97,66	85,65	84,92	72,90	87,34	75,32	104,40
72	12	125,14	113,13	112,40	100,38	114,82	102,80	139,20
92	12	152,62	140,61	139,88	127,86	142,30	130,28	174,00
112	12	180,10	168,09	167,36	155,34	169,78	157,76	208,80
132	12	207,58	195,57	194,84	182,82	197,26	185,24	243,60

Continuación

Dist	Pend	TpoVV (5.1)	TpoVV (5.2)	TpoVV (5.3)	TpoVV (5.4)	TpoVV (5.1) (5.3)	TpoVV (5.2) (5.4)	TpoVC (9)
154	12	237,81	225,79	225,06	213,05	227,49	215,47	281,88
12	17	48,71	36,69	35,96	23,94	38,38	26,37	34,80
32	17	76,19	64,17	63,44	51,42	65,86	53,85	69,60
52	17	103,67	91,65	90,92	78,90	93,34	81,33	104,40
72	17	131,15	119,13	118,40	106,38	120,82	108,81	139,20
92	17	158,63	146,61	145,88	133,86	148,30	136,29	174,00
112	17	186,11	174,09	173,36	161,34	175,78	163,77	208,80
132	17	213,59	201,57	200,84	188,82	203,26	191,25	243,60
154	17	243,82	231,80	231,07	219,05	233,49	221,47	281,88
12	22	54,71	42,70	41,97	29,95	44,39	32,37	34,80
32	22	82,19	70,18	69,45	57,43	71,87	59,85	69,60
52	22	109,67	97,66	96,93	84,91	99,35	87,33	104,40
72	22	137,15	125,14	124,41	112,39	126,83	114,81	139,20
92	22	164,63	152,62	151,89	139,87	154,31	142,29	174,00
112	22	192,11	180,10	179,37	167,35	181,79	169,77	208,80
132	22	219,59	207,58	206,85	194,83	209,27	197,25	243,60
154	22	249,82	237,80	237,07	225,06	239,50	227,48	281,88
12	27	60,72	48,70	47,97	35,95	50,39	38,38	34,80
32	27	88,20	76,18	75,45	63,43	77,87	65,86	69,60
52	27	115,68	103,66	102,93	90,91	105,35	93,34	104,40
72	27	143,16	131,14	130,41	118,39	132,83	120,82	139,20
92	27	170,64	158,62	157,89	145,87	160,31	148,30	174,00
112	27	198,12	186,10	185,37	173,35	187,79	175,78	208,80
132	27	225,60	213,58	212,85	200,83	215,27	203,26	243,60
154	27	255,83	243,81	243,08	231,06	245,50	233,48	281,88
12	30	64,32	52,30	51,57	39,56	54,00	41,98	34,80
32	30	91,80	79,78	79,05	67,04	81,48	69,46	69,60
52	30	119,28	107,26	106,53	94,52	108,96	96,94	104,40
72	30	146,76	134,74	134,01	122,00	136,44	124,42	139,20
92	30	174,24	162,22	161,49	149,48	163,92	151,90	174,00
112	30	201,72	189,70	188,97	176,96	191,40	179,38	208,80
132	30	229,20	217,18	216,45	204,44	218,88	206,86	243,60
154	30	259,43	247,41	246,68	234,67	249,10	237,09	281,88

Cuadro N° 50. Valores estimados de tiempo de viaje vacío y cargado del maderero con cadena para los rangos observados de distancia y pendiente.

Dist Obser	Pend Obser	TpoVV (5.1)	TpoVV (5.2)	TpoVV (5.3)	TpoVV (5.4)	TpoVV (5.1-5.3)	TpoVV (5.2-5.4)	TpoVV Obser	TpoVC (9)	TpoVC Obser
39	2	67,8	55,8	55,0	43,0	57,5	45,4	71	81,8	70
27	3	52,5	40,5	39,8	27,7	42,2	30,2	64	60,9	61
20	3	42,9	30,9	30,1	18,1	32,6	20,5	47	48,7	60
27	3	52,5	40,5	39,8	27,7	42,2	30,2	63	60,9	71
36	3	64,9	52,9	52,1	40,1	54,5	42,5	52	76,6	74
28	4	55,1	43,1	42,3	30,3	44,8	32,7	65	62,6	64
34	4	63,3	51,3	50,6	38,6	53,0	41,0	68	73,1	78
42	4	74,3	62,3	61,6	49,6	64,0	52,0	53	87,0	75
45	5	79,6	67,6	66,9	54,9	69,3	57,3	54	92,2	115

Continuación

Dist Obser	Pend Obser	TpoVV (5.1)	TpoVV (5.2)	TpoVV (5.3)	TpoVV (5.4)	TpoVV (5.1-5.3)	TpoVV (5.2-5.4)	TpoVV Obser	TpoVC (9)	TpoVC Obser
51	5	87,9	75,9	75,1	63,1	77,6	65,5	76	102,7	110
36	5	67,3	55,3	54,5	42,5	56,9	44,9	37	76,6	69
40	5	72,8	60,8	60,0	48,0	62,4	50,4	49	83,5	57
17	5	41,2	29,1	28,4	16,4	30,8	18,8	33	43,5	35
31	7	62,8	50,8	50,1	38,0	52,5	40,5	68	67,9	56
53	7	93,0	81,0	80,3	68,3	82,7	70,7	73	106,1	114
61	8	105,2	93,2	92,5	80,5	94,9	82,9	81	120,1	124
62	8	106,6	94,6	93,9	81,8	96,3	84,3	86	121,8	130
63	9	109,2	97,2	96,4	84,4	98,8	86,8	80	123,5	124
56	9	99,6	87,5	86,8	74,8	89,2	77,2	73	111,4	121
65	10	113,1	101,1	100,4	88,4	102,8	90,8	100	127,0	112
34	10	70,5	58,5	57,8	45,8	60,2	48,2	69	73,1	53
74	10	125,5	113,5	112,7	100,7	115,2	103,1	88	142,7	160
74	10	125,5	113,5	112,7	100,7	115,2	103,1	94	142,7	139
86	10	142,0	130,0	129,2	117,2	131,7	119,6	117	163,6	176
92	10	150,2	138,2	137,5	125,5	139,9	127,9	113	174,0	175
100	11	162,4	150,4	149,7	137,7	152,1	140,1	119	187,9	180
126	11	198,1	186,1	185,4	173,4	187,8	175,8	155	233,2	206
72	12	125,1	113,1	112,4	100,4	114,8	102,8	126	139,2	135
88	12	147,1	135,1	134,4	122,4	136,8	124,8	115	167,0	190
57	12	104,5	92,5	91,8	79,8	94,2	82,2	93	113,1	92
78	13	134,6	122,6	121,8	109,8	124,3	112,2	112	149,6	155
84	13	142,8	130,8	130,1	118,1	132,5	120,5	116	160,1	148
38	14	80,8	68,8	68,1	56,1	70,5	58,5	66	80,0	83
104	15	172,7	160,7	160,0	148,0	162,4	150,4	145	194,9	209
96	15	161,7	149,7	149,0	137,0	151,4	139,4	139	181,0	215
38	16	83,2	71,2	70,5	58,5	72,9	60,9	45	80,0	80
65	18	122,7	110,7	110,0	98,0	112,4	100,4	98	127,0	96
52	19	106,1	94,1	93,3	81,3	95,7	83,7	90	104,4	105
26	19	70,3	58,3	57,6	45,6	60,0	48,0	68	59,2	56
27	19	71,7	59,7	59,0	47,0	61,4	49,4	32	60,9	61
64	19	122,6	110,5	109,8	97,8	112,2	100,2	78	125,3	132
78	19	141,8	129,8	129,0	117,0	131,5	119,5	118	149,6	149
79	19	143,2	131,2	130,4	118,4	132,8	120,8	126	151,4	126
88	19	155,5	143,5	142,8	130,8	145,2	133,2	124	167,0	161
12	20	52,3	40,3	39,6	27,5	42,0	30,0	46	34,8	49
35	20	83,9	71,9	71,2	59,1	73,6	61,6	56	74,8	68
58	20	115,5	103,5	102,8	90,8	105,2	93,2	84	114,8	137
56	20	112,8	100,7	100,0	88,0	102,4	90,4	81	111,4	127
90	20	159,5	147,5	146,7	134,7	149,2	137,1	113	170,5	158
134	20	219,9	207,9	207,2	195,2	209,6	197,6	201	247,1	237
101	20	174,6	162,6	161,9	149,8	164,3	152,3	144	189,7	183
32	21	81,0	69,0	68,2	56,2	70,7	58,6	95	69,6	75
43	21	96,1	84,1	83,4	71,3	85,8	73,8	98	88,7	98
90	21	160,7	148,7	147,9	135,9	150,4	138,3	129	170,5	187
98	21	171,7	159,7	158,9	146,9	161,4	149,3	137	184,4	202
150	21	243,1	231,1	230,4	218,4	232,8	220,8	238	274,9	274
126	21	210,1	198,1	197,4	185,4	199,8	187,8	191	233,2	222
154	22	249,8	237,8	237,1	225,1	239,5	227,5	232	281,9	298

Continuación

Dist Obser	Pend Obser	TpoVV (5.1)	TpoVV (5.2)	TpoVV (5.3)	TpoVV (5.4)	TpoVV (5.1-5.3)	TpoVV (5.2-5.4)	TpoVV Obser	TpoVC (9)	TpoVC Obser
39	23	93,0	81,0	80,3	68,2	82,7	70,7	61	81,8	85
50	23	108,1	96,1	95,4	83,4	97,8	85,8	75	100,9	113
46	23	102,6	90,6	89,9	77,9	92,3	80,3	73	94,0	128
70	23	135,6	123,6	122,9	110,8	125,3	113,3	90	135,7	126
72	23	138,4	126,3	125,6	113,6	128,0	116,0	96	139,2	137
71	23	137,0	125,0	124,2	112,2	126,7	114,6	92	137,5	139
42	24	98,3	86,3	85,6	73,6	88,0	76,0	89	87,0	78
59	24	121,7	109,7	108,9	96,9	111,4	99,4	145	116,6	132
42	24	98,3	86,3	85,6	73,6	88,0	76,0	88	87,0	76
72	25	140,8	128,7	128,0	116,0	130,4	118,4	135	139,2	122
58	25	121,5	109,5	108,8	96,8	111,2	99,2	137	114,8	118
34	25	88,5	76,5	75,8	63,8	78,2	66,2	84	73,1	62
29	25	81,7	69,7	68,9	56,9	71,3	59,3	65	64,4	57
34	25	88,5	76,5	75,8	63,8	78,2	66,2	90	73,1	78
83	26	157,1	145,1	144,3	132,3	146,7	134,7	153	158,3	150
70	26	139,2	127,2	126,5	114,4	128,9	116,9	126	135,7	162
77	26	148,8	136,8	136,1	124,1	138,5	126,5	102	147,9	236
82	26	155,7	143,7	143,0	130,9	145,4	133,4	124	156,6	195
54	26	117,2	105,2	104,5	92,5	106,9	94,9	115	107,9	117
60	26	125,5	113,5	112,7	100,7	115,1	103,1	134	118,3	137
85	27	161,0	149,0	148,3	136,3	150,7	138,7	161	161,8	167
89	27	166,5	154,5	153,8	141,8	156,2	144,2	158	168,8	135
92	27	170,6	158,6	157,9	145,9	160,3	148,3	145	174,0	180
90	27	167,9	155,9	155,1	143,1	157,6	145,5	161	170,5	158
63	27	130,8	118,8	118,0	106,0	120,5	108,4	140	123,5	131
70	27	140,4	128,4	127,7	115,6	130,1	118,1	141	135,7	154
73	27	144,5	132,5	131,8	119,8	134,2	122,2	143	140,9	171
46	27	107,4	95,4	94,7	82,7	97,1	85,1	89	94,0	89
93	28	173,2	161,2	160,5	148,4	162,9	150,9	158	175,7	177
97	28	178,7	166,7	166,0	153,9	168,4	156,4	170	182,7	178
95	28	176,0	163,9	163,2	151,2	165,6	153,6	161	179,2	179
72	28	144,4	132,3	131,6	119,6	134,0	122,0	160	139,2	155
74	28	147,1	135,1	134,4	122,3	136,8	124,8	131	142,7	129
105	29	190,9	178,9	178,2	166,1	180,6	168,6	170	196,6	177
78	29	153,8	141,8	141,1	129,0	143,5	131,5	145	149,6	127
32	29	90,6	78,6	77,9	65,8	80,3	68,3	62	69,6	56
37	29	97,5	85,5	84,7	72,7	87,1	75,1	65	78,3	58
52	29	118,1	106,1	105,3	93,3	107,8	95,7	88	104,4	89
57	29	124,9	112,9	112,2	100,2	114,6	102,6	90	113,1	107
103	30	189,4	177,3	176,6	164,6	179,0	167,0	165	193,1	190
68	30	141,3	129,2	128,5	116,5	130,9	118,9	136	132,2	110
Promedio		123,4	111,4	110,6	98,6	113,1	101,1	106,03	127,2	128,10

Cuadro N° 51. Valores estimados de tiempo de carga más acomodo y descarga del madereo con cadena.

	Tpo carga más acomodo de carga (8)			TpoCar (7)	Tiempo Descarga	
VolSm	(8.1)	(8.2)	Ocurrencia	Ocurrencia	(12)	(11)
0,36	37,33	91,52	74,72	72,50	19,10	17,72
0,55	45,19	110,78	90,45	89,40	23,62	22,81
0,75	55,25	135,44	110,58	111,47	27,60	27,43
0,95	67,55	165,60	135,20	138,98	31,08	31,57
1,1	78,54	192,54	157,20	163,99	33,45	34,45
VolSm promedio						
0,63	48,97	120,05	98,02	97,65	25,29	24,73

Cuadro N° 52. Valores estimados de tiempo de carga más acomodo y descarga del madereo con cadena para los rangos observados del volumen Smalian.

VolSm Observado	TpoCar (8.1)	TpoCar (8.2)	TpoCar (ocurrencia)	TpoCar Obserado	TpoDesc (12)	TpoDesc Observado
0,43	40,13	98,38	80,32	57	20,92	18
0,57	46,04	112,88	92,16	45	24,02	24
0,56	45,87	112,46	91,82	34	23,94	27
0,56	45,65	111,93	91,38	58	23,84	29
0,41	39,33	96,42	78,72	138	20,43	54
0,51	43,25	106,02	86,56	99	22,66	20
0,49	42,56	104,34	85,19	70	22,30	21
0,36	37,50	91,93	75,06	130	19,21	22
0,40	38,88	95,32	77,82	270	20,14	41
0,45	40,81	100,05	81,68	62	21,33	16
0,53	44,15	108,25	88,38	50	23,12	25
0,52	43,87	107,55	87,81	80	22,98	26
0,51	43,62	106,94	87,31	70	22,86	23
0,61	47,90	117,43	95,87	111	24,84	20
0,55	45,27	110,98	90,61	130	23,66	55
0,65	49,98	122,53	100,04	42	25,70	36
0,60	47,57	116,62	95,22	42	24,70	23
0,44	40,58	99,47	81,22	34	21,19	21
0,41	39,41	96,63	78,89	56	20,48	15
0,52	43,65	107,00	87,36	29	22,87	17
0,41	39,08	95,80	78,21	25	20,27	22
0,38	38,24	93,76	76,55	56	19,73	19
0,58	46,41	113,79	92,90	50	24,19	14
0,45	40,82	100,07	81,70	34	21,33	21
0,37	37,64	92,28	75,34	66	19,31	11
0,53	44,14	108,22	88,36	36	23,12	20
0,41	39,37	96,53	78,81	35	20,46	23
0,40	38,90	95,36	77,85	38	20,15	16
0,46	41,19	100,99	82,45	45	21,55	18
0,47	41,76	102,38	83,59	28	21,87	14
0,45	40,71	99,80	81,48	92	21,27	22
0,42	39,84	97,66	79,74	64	20,75	21
0,37	37,54	92,02	75,13	71	19,24	14
0,47	41,89	102,70	83,85	33	21,94	22

Continuación

VolSm Observado	TpoCar (8.1)	TpoCar (8.2)	TpoCar (ocurrencia)	TpoCar Observado	TpoDesc (12)	TpoDesc Observado
0,43	40,20	98,57	80,47	40	20,97	29
0,60	47,57	116,62	95,21	42	24,70	18
0,39	38,37	94,07	76,81	24	19,81	25
0,37	37,65	92,30	75,36	63	19,32	23
0,46	41,31	101,27	82,68	56	21,61	26
0,42	39,48	96,80	79,03	50	20,53	19
0,47	41,86	102,63	83,80	46	21,92	21
0,52	43,75	107,26	87,57	46	22,92	14
0,38	38,23	93,73	76,53	37	19,72	20
0,51	43,28	106,10	86,63	39	22,68	17
0,41	39,24	96,21	78,55	38	20,38	22
0,62	48,41	118,67	96,89	135	25,06	16
0,54	44,80	109,82	89,67	182	23,44	18
0,58	46,42	113,81	92,92	135	24,20	27
0,57	46,31	113,54	92,70	87	24,15	22
0,79	57,59	141,18	115,27	80	28,36	24
0,62	48,32	118,45	96,71	107	25,02	27
0,78	57,11	140,01	114,31	91	28,21	23
0,56	45,86	112,43	91,79	83	23,94	20
0,44	40,59	99,51	81,25	92	21,20	24
0,67	50,81	124,56	101,69	144	26,02	28
0,59	46,86	114,89	93,80	114	24,39	31
0,75	55,23	135,40	110,54	121	27,60	21
0,87	62,14	152,35	124,38	83	29,69	30
0,87	62,10	152,25	124,31	129	29,68	25
0,59	47,00	115,23	94,08	167	24,45	19
0,78	56,68	138,96	113,46	173	28,07	38
0,74	54,84	134,44	109,76	129	27,47	28
0,64	49,22	120,66	98,52	140	25,39	20
0,65	49,83	122,16	99,73	75	25,64	24
0,77	56,26	137,94	112,62	122	27,94	26
0,72	53,68	131,61	107,46	177	27,07	41
0,82	59,53	145,94	119,15	151	28,94	33
0,64	49,41	121,12	98,89	184	25,47	42
0,83	59,88	146,80	119,86	156	29,05	20
0,60	47,53	116,52	95,13	133	24,68	24
0,72	53,80	131,91	107,70	152	27,11	23
0,75	55,16	135,22	110,40	179	27,57	42
0,87	62,58	153,42	125,26	121	29,81	19
0,75	55,17	135,26	110,43	123	27,58	28
0,70	52,46	128,61	105,01	89	26,64	21
0,65	49,99	122,54	100,05	170	25,70	27
0,74	54,93	134,67	109,95	160	27,50	39
0,67	50,72	124,36	101,53	213	25,99	33
0,58	46,40	113,75	92,87	179	24,18	30
0,73	54,37	133,30	108,83	162	27,31	25
0,80	58,29	142,91	116,68	109	28,57	28
0,73	54,23	132,96	108,56	168	27,26	33

Continuación

VolSm Observado	TpoCar (8.1)	TpoCar (8.2)	TpoCar (ocurrencia)	TpoCar Obserado	VolSm Observado	TpoCar (8.1)
0,67	50,96	124,93	102,00	133	26,08	27
0,79	57,61	141,23	115,31	99	28,36	25
0,66	50,72	124,33	101,51	105	25,98	34
0,96	68,36	167,59	136,83	255	31,28	27
0,96	68,52	167,99	137,16	114	31,32	33
0,92	65,47	160,51	131,04	257	30,57	28
0,86	61,53	150,84	123,15	217	29,52	28
0,93	65,98	161,75	132,06	232	30,70	37
1,03	73,26	179,62	146,65	215	32,38	32
0,92	65,73	161,14	131,56	139	30,63	29
0,91	65,05	159,49	130,21	129	30,46	36
0,94	66,70	163,51	133,50	212	30,87	29
0,91	64,74	158,71	129,57	179	30,38	34
0,96	68,11	166,99	136,34	123	31,22	38
0,76	55,54	136,17	111,17	156	27,70	34
0,85	61,13	149,87	122,36	170	29,41	29
1,10	78,22	191,77	156,57	209	33,39	37
Promedio	49,66	121,75	99,41	108,28	24,96	25,86

Cuadro N° 53. Valores estimados de rendimiento del maderero con cadena, asociados a los modelos de tiempo de viaje vacío.

Distancia	Pendiente	Rend (5.1)	Rend (5.2)	Rend (5.3)	Rend (5.4)	Rend (5.1-5.3)	Rend (5.2-5.4)
12	2	6,4	6,7	6,7	6,9	6,6	6,9
32	2	5,5	5,6	5,6	5,8	5,6	5,8
52	2	4,8	4,9	4,9	5,0	4,9	5,0
72	2	4,2	4,3	4,3	4,4	4,3	4,4
92	2	3,8	3,8	3,9	3,9	3,8	3,9
112	2	3,4	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5
132	2	3,1	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2
154	2	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9
12	7	6,3	6,5	6,6	6,8	6,5	6,7
32	7	5,4	5,5	5,6	5,7	5,5	5,7
52	7	4,7	4,8	4,8	4,9	4,8	4,9
72	7	4,2	4,3	4,3	4,4	4,2	4,3
92	7	3,7	3,8	3,8	3,9	3,8	3,9
112	7	3,4	3,4	3,5	3,5	3,4	3,5
132	7	3,1	3,1	3,2	3,2	3,1	3,2
154	7	2,8	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9
12	12	6,2	6,4	6,4	6,7	6,4	6,6
32	12	5,3	5,5	5,5	5,6	5,4	5,6
52	12	4,6	4,8	4,8	4,9	4,7	4,9
72	12	4,1	4,2	4,2	4,3	4,2	4,3
92	12	3,7	3,8	3,8	3,9	3,8	3,8
112	12	3,4	3,4	3,4	3,5	3,4	3,5
132	12	3,1	3,1	3,1	3,2	3,1	3,2

Continuación

Distancia	Pendiente	Rend (5.1)	Rend (5.2)	Rend (5.3)	Rend (5.4)	Rend (5.1-5.3)	Rend (5.2-5.4)
154	12	2,8	2,9	2,9	2,9	2,8	2,9
12	17	6,1	6,3	6,3	6,6	6,3	6,5
32	17	5,2	5,4	5,4	5,6	5,4	5,5
52	17	4,6	4,7	4,7	4,8	4,7	4,8
72	17	4,1	4,2	4,2	4,3	4,1	4,2
92	17	3,7	3,7	3,7	3,8	3,7	3,8
112	17	3,3	3,4	3,4	3,5	3,4	3,4
132	17	3,0	3,1	3,1	3,2	3,1	3,1
154	17	2,8	2,8	2,8	2,9	2,8	2,9
12	22	6,0	6,2	6,2	6,4	6,2	6,4
32	22	5,2	5,3	5,3	5,5	5,3	5,4
52	22	4,5	4,6	4,6	4,8	4,6	4,7
72	22	4,0	4,1	4,1	4,2	4,1	4,2
92	22	3,6	3,7	3,7	3,8	3,7	3,8
112	22	3,3	3,4	3,4	3,4	3,3	3,4
132	22	3,0	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1
154	22	2,8	2,8	2,8	2,9	2,8	2,8
12	27	5,9	6,1	6,1	6,3	6,1	6,3
32	27	5,1	5,2	5,2	5,4	5,2	5,4
52	27	4,5	4,6	4,6	4,7	4,6	4,7
72	27	4,0	4,1	4,1	4,2	4,1	4,1
92	27	3,6	3,7	3,7	3,7	3,7	3,7
112	27	3,3	3,3	3,3	3,4	3,3	3,4
132	27	3,0	3,0	3,1	3,1	3,0	3,1
154	27	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8
12	30	5,9	6,1	6,1	6,3	6,0	6,2
32	30	5,1	5,2	5,2	5,4	5,2	5,3
52	30	4,4	4,5	4,6	4,7	4,5	4,6
72	30	4,0	4,0	4,0	4,1	4,0	4,1
92	30	3,6	3,6	3,6	3,7	3,6	3,7
112	30	3,3	3,3	3,3	3,4	3,3	3,4
132	30	3,0	3,0	3,0	3,1	3,0	3,1
154	30	2,7	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8
Promedio							
66,5	19,5	4,18	4,27	4,28	4,37	4,26	4,35

APÉNDICE N° 20. Cálculos costos del madereo

Para el cálculo del costo horario se utilizó la metodología de Rodríguez (1984). Se estimó el costo para 1500, 2000 y 2500 horas anuales de uso del tractor (debido a que las prácticas pueden o no ser continuas durante el año), con el fin de asumir el costo de inversión de la máquina, con una vida útil de 3 años. Se asume un valor de reventa igual a cero y una jornada de trabajo de 8 horas. El cálculo del costo horario está de

acuerdo a los valores recolectados mostrados en el Cuadro N° 54. Se utiliza un valor de \$400 por litro de petróleo, un valor promedio de \$ 700.000 para el recambio de los cuatro neumáticos, con una duración promedio de 3000 horas. Se asume una tasa de interés de 12% y un factor de reparación del tractor de 90%.

Cuadro N° 54. Valores operacionales del tractor agrícola.

Ítem	[\$]
Inversión tractor	1.400.000
Patente anual	27.000
Aceite y filtro mensual	14.000
Consumo combustible 25 litros día	10.000
Alimento diario (2 personas)	3.000
Sueldo diario (chofer y estrobero)	8.000
Valor neumáticos	700.000

Cuadro N° 55. Cálculo del costo horario del tractor agrícola.

Ítem	1500 horas	2000 horas	2500 horas
Interés [\$ /h]	56	42	34
Depreciación [\$ /h]	156	117	93
Patente [\$ /h]	18	14	11
Reparación [\$ /h]	140	105	84
Neumáticos [\$ /h]	233	233	233
Combustible [\$ /h]	1250	1250	1250
Aceite y filtro [\$ /h]	73	73	73
Sueldo y alimentos [\$ /h]	1375	1375	1375
Costo Horario [\$ /HPM]	3301	3209	3153

APÉNDICE N° 21. Base de datos del maderero con tractor agrícola

Cuadro N° 56. Planilla de datos del viaje vacío y cargado del maderero con carro.

Tramo	Dist	PendAb	TpoVV	AcoVV	Pen AbBin	Binvv	TpoVC	AcoVC	Pen AbBin	Binvc	VolSm	Troza
1	66	13	49	207	13	1	34	79	0	0	3,04	93
1	66	13	31	119	13	1	28	95	0	0	3,27	110
1	66	13	48	63	13	1	38	61	0	0	2,85	77
1	66	13	55	135	13	1	32	139	0	0	3,01	106
1	66	13	49	241	13	1	38	340	0	0	2,77	104
1	66	13	45	275	13	1	34	127	0	0	2,26	91
1	66	13	43	173	13	1	29	315	0	0	2,74	107
1	66	13	46	193	13	1	39	225	0	0	2,89	105
1	66	13	49	189	13	1	27	130	0	0	2,64	104
1	66	13	42	158	13	1	30	150	0	0	2,19	114
1	66	13	46	148	13	1	36	155	0	0	2,59	97
1	66	13	46	182	13	1	39	125	0	0	2,81	99
1	66	13	49	158	13	1	35	83	0	0	2,56	107
1	66	13	45	160	13	1	41	135	0	0	2,70	100
1	66	13	49	207	13	1	34	173	0	0	2,62	91
1	66	13	50	135	13	1	35	139	0	0	2,74	115
1	66	13	52	155	13	1	34	130	0	0	2,70	110
3	67	14	41	207	14	1	41	79	0	0	3,04	93
3	67	14	41	119	14	1	39	95	0	0	3,27	110
3	67	14	43	63	14	1	45	61	0	0	2,85	77
3	67	14	47	135	14	1	42	139	0	0	3,01	106
3	67	14	44	241	14	1	47	340	0	0	2,77	104
3	67	14	42	275	14	1	43	127	0	0	2,26	91
3	67	14	40	173	14	1	47	315	0	0	2,74	107
3	67	14	42	193	14	1	50	225	0	0	2,89	105
3	67	14	49	189	14	1	54	130	0	0	2,64	104
3	67	14	55	158	14	1	47	150	0	0	2,19	114
3	67	14	44	148	14	1	42	155	0	0	2,59	97
3	67	14	43	182	14	1	53	125	0	0	2,81	99
3	67	14	42	158	14	1	41	83	0	0	2,56	107
3	67	14	40	160	14	1	51	135	0	0	2,70	100
3	67	14	37	207	14	1	46	173	0	0	2,62	91
3	67	14	43	135	14	1	45	139	0	0	2,74	115
3	67	14	37	155	14	1	43	130	0	0	2,70	110
6	75	15	104	207	0	0	180	79	15	1	3,04	93
6	75	15	100	119	0	0	144	95	15	1	3,27	110
6	75	15	107	63	0	0	169	61	15	1	2,85	77
6	75	15	86	135	0	0	154	139	15	1	3,01	106
6	75	15	80	241	0	0	145	340	15	1	2,77	104
6	75	15	74	275	0	0	161	127	15	1	2,26	91
6	75	15	87	173	0	0	155	315	15	1	2,74	107
6	75	15	75	193	0	0	150	225	15	1	2,89	105
6	75	15	85	189	0	0	159	130	15	1	2,64	104
6	75	15	73	158	0	0	150	150	15	1	2,19	114
6	75	15	73	148	0	0	148	155	15	1	2,59	97

Continuación

Tramo	Dist	PendAb	TpoVV	AcoVV	Pen AbBin	Binvv	TpoVC	AcoVC	Pen AbBin	Binvc	VolSm	Troza
6	75	15	74	182	0	0	159	125	15	1	2,81	99
6	75	15	77	158	0	0	141	83	15	1	2,56	107
6	75	15	68	160	0	0	166	135	15	1	2,70	100
6	75	15	75	207	0	0	146	173	15	1	2,62	91
6	75	15	71	135	0	0	138	139	15	1	2,74	115
6	75	15	67	155	0	0	144	130	15	1	2,70	110
0	85	12	84	207	12	1	64	79	0	0	3,04	93
0	85	12	75	119	12	1	61	95	0	0	3,27	110
0	85	12	103	63	12	1	70	61	0	0	2,85	77
0	85	12	105	135	12	1	67	139	0	0	3,01	106
0	85	12	103	241	12	1	55	340	0	0	2,77	104
0	85	12	58	275	12	1	53	127	0	0	2,26	91
0	85	12	59	173	12	1	43	315	0	0	2,74	107
0	85	12	67	193	12	1	55	225	0	0	2,89	105
0	85	12	96	189	12	1	69	130	0	0	2,64	104
0	85	12	68	158	12	1	58	150	0	0	2,19	114
0	85	12	71	148	12	1	64	155	0	0	2,59	97
0	85	12	63	182	12	1	51	125	0	0	2,81	99
0	85	12	58	158	12	1	63	83	0	0	2,56	107
0	85	12	73	160	12	1	54	135	0	0	2,70	100
0	85	12	89	207	12	1	63	173	0	0	2,62	91
0	85	12	71	135	12	1	55	139	0	0	2,74	115
0	85	12	78	155	12	1	56	130	0	0	2,70	110
2	93	2,5	50	207	2,5	1	35	79	0	0	3,04	93
2	93	2,5	45	119	2,5	1	33	95	0	0	3,27	110
2	93	2,5	64	63	2,5	1	33	61	0	0	2,85	77
2	93	2,5	69	135	2,5	1	31	139	0	0	3,01	106
2	93	2,5	65	241	2,5	1	44	340	0	0	2,77	104
2	93	2,5	47	275	2,5	1	45	127	0	0	2,26	91
2	93	2,5	57	173	2,5	1	69	315	0	0	2,74	107
2	93	2,5	62	193	2,5	1	39	225	0	0	2,89	105
2	93	2,5	46	189	2,5	1	50	130	0	0	2,64	104
2	93	2,5	55	158	2,5	1	43	150	0	0	2,19	114
2	93	2,5	61	148	2,5	1	43	155	0	0	2,59	97
2	93	2,5	63	182	2,5	1	39	125	0	0	2,81	99
2	93	2,5	53	158	2,5	1	34	83	0	0	2,56	107
2	93	2,5	39	160	2,5	1	42	135	0	0	2,70	100
2	93	2,5	52	207	2,5	1	45	173	0	0	2,62	91
2	93	2,5	57	135	2,5	1	40	139	0	0	2,74	115
2	93	2,5	58	155	2,5	1	48	130	0	0	2,70	110
4	100	16	62	207	16	1	84	79	0	0	3,04	93
4	100	16	65	119	16	1	77	95	0	0	3,27	110
4	100	16	62	63	16	1	101	61	0	0	2,85	77
4	100	16	71	135	16	1	67	139	0	0	3,01	106
4	100	16	67	241	16	1	81	340	0	0	2,77	104
4	100	16	107	275	16	1	88	127	0	0	2,26	91
4	100	16	66	173	16	1	81	315	0	0	2,74	107
4	100	16	70	193	16	1	82	225	0	0	2,89	105
4	100	16	74	189	16	1	95	130	0	0	2,64	104

Continuación

Tramo	Dist	PendAb	TpoVV	AcoVV	Pen AbBin	Binvv	TpoVC	AcoVC	Pen AbBin	Binvc	VolSm	Troza
4	100	16	58	158	16	1	90	150	0	0	2,19	114
4	100	16	73	148	16	1	98	155	0	0	2,59	97
4	100	16	70	182	16	1	148 *	125	0	0	2,81	99
4	100	16	68	158	16	1	91	83	0	0	2,56	107
4	100	16	70	160	16	1	89	135	0	0	2,70	100
4	100	16	69	207	16	1	87	173	0	0	2,62	91
4	100	16	72	135	16	1	81	139	0	0	2,74	115
4	100	16	74	155	16	1	87	130	0	0	2,70	110
5	105	17	144	207	0	0	175	79	17	1	3,04	93
5	105	17	92	119	0	0	173	95	17	1	3,27	110
5	105	17	109	63	0	0	191	61	17	1	2,85	77
5	105	17	106	135	0	0	176	139	17	1	3,01	106
5	105	17	170	241	0	0	205	340	17	1	2,77	104
5	105	17	52 *	275	0	0	184	127	17	1	2,26	91
5	105	17	91	173	0	0	178	315	17	1	2,74	107
5	105	17	103	193	0	0	205	225	17	1	2,89	105
5	105	17	70	189	0	0	181	130	17	1	2,64	104
5	105	17	127	158	0	0	190	150	17	1	2,19	114
5	105	17	107	148	0	0	195	155	17	1	2,59	97
5	105	17	113	182	0	0	189	125	17	1	2,81	99
5	105	17	115	158	0	0	198	83	17	1	2,56	107
5	105	17	93	160	0	0	192	135	17	1	2,70	100
5	105	17	114	207	0	0	189	173	17	1	2,62	91
5	105	17	99	135	0	0	191	139	17	1	2,74	115
5	105	17	113	155	0	0	186	130	17	1	2,70	110

(*) Valores atípicos.

Cuadro N° 57. Planilla de datos de carga, acomodo de carga, descarga, acomodo de carga, acomodo viaje vacío y acomodo de viaje cargado, del maderero con carro.

ciclo	TpoCar	AcoCar	VolSm	Trozas	TpoDesc	AcoDesc	AcoVV	AcoVC
1	1380	48	2,19	114	1190	180	207	79
2	1382	128	2,26	91	1073	125	119	95
3	1435	129	2,56	107	1158	111	63	61
4	1262	183	2,59	97	1173	175	135	139
5	1729	77	2,62	91	1087	105	241	340
6	1255	142	2,64	104	1269	132	275	127
7	1490	112	2,70	110	1113	163	173	315
8	1666	95	2,70	100	1177	122	193	225
9	1344	82	2,74	115	1190	99	189	130
10	1290	180	2,74	107	1139	123	158	150
11	1497	301	2,77	104	1221	129	148	155
12	1460	146	2,81	99	1335	265	182	125
13	1114	170	2,85	77	1234	112	158	83
14	1239	152	2,89	105	991	62	160	135
15	1515	199	3,01	106	1439	138	207	173
16	1255	245	3,04	93	914	122	135	139
17	1205	308	3,27	110	1561	179	155	130

Cuadro N° 58. Planilla de datos del viaje vacío y cargado del maderero con cadena.

Ciclo	Dist	PendAb	TpoVV	Acovv	PenAb *Bin	Binvv	BinRet	TpoVC	AcoVC	PendAb *Bin	Binvc	Troza	VolSm
1	72	25	135	250	25	1	1	122	22	0	0	16	0,43
2	83	26	153	254	26	1	1	150	12	0	0	14	0,57
3	85	27	161	33	27	1	1	167	22	0	0	16	0,56
4	89	27	158	26	27	1	1	135	34	0	0	17	0,56
5	92	27	145	25	27	1	1	180	20	0	0	14	0,41
6	70	26	126	81	26	1	1	162	13	0	0	16	0,51
7	77	26	102	30	26	1	1	236 *	18	0	0	15	0,49
8	82	26	124	27	26	1	1	195	16	0	0	15	0,36
9	90	27	161	41	27	1	1	158	13	0	0	15	0,40
10	93	28	158	44	28	1	1	177	23	0	0	16	0,45
11	52	19	90	20	19	1	1	105	13	0	0	18	0,53
12	105	29	170	111	29	1	1	177	15	0	0	14	0,52
13	103	30	165	61	30	1	1	190	25	0	0	17	0,51
14	97	28	170	82	28	1	1	178	18	0	0	17	0,61
15	95	28	161	264	28	1	1	179	39	0	0	18	0,55
16	65	10	100	27	10	1	1	112	17	0	0	13	0,65
17	26	19	68	31	0	0	1	56	16	19	1	13	0,60
18	27	3	64	28	0	0	1	61	22	3	1	16	0,44
19	12	20	46	19	0	0	0	49	25	20	1	16	0,41
20	32	21	95	15	0	0	0	75	27	21	1	15	0,52
21	35	20	56	22	0	0	1	68	22	20	1	16	0,41
22	42	24	89	21	0	0	1	78	20	24	1	14	0,38
23	43	21	98	182	0	0	1	98	14	21	1	12	0,58
24	54	26	115	38	0	0	0	117	21	26	1	16	0,45
25	58	25	137	15	0	0	0	118	19	25	1	15	0,37
26	59	24	145	25	0	0	0	132	32	24	1	16	0,53
27	60	26	134	14	0	0	1	137	48	26	1	16	0,41
28	63	27	140	28	0	0	1	131	41	27	1	17	0,40
29	68	30	136	57	0	0	1	110	17	30	1	13	0,46
30	70	27	141	9	0	0	0	154	66	27	1	17	0,47
31	73	27	143	32	0	0	1	171	31	27	1	16	0,45
32	72	28	160	16	0	0	1	155	42	28	1	17	0,42
33	74	28	131	107	0	0	1	129	21	28	1	16	0,37
34	78	29	145	50	0	0	1	127	11	29	1	17	0,47
35	28	4	65	9	0	0	1	64	44	4	1	14	0,43
36	31	7	68	28	0	0	1	56	23	7	1	17	0,60
37	72	12	126	59	12	1	1	135	11	0	0	15	0,39
38	78	13	112	28	13	1	1	155	10	0	0	16	0,37
39	84	13	116	62	13	1	0	148	13	0	0	16	0,46
40	20	3	47	11	3	1	0	60	21	0	0	16	0,42
41	27	3	63	15	3	1	0	71	13	0	0	15	0,47
42	34	4	68	29	4	1	0	78	24	0	0	14	0,52
43	39	2	71	34	2	1	0	70	17	0	0	14	0,38
44	34	10	69	49	0	0	1	53	45	10	1	17	0,51
45	38	14	66	20	0	0	1	83	32	14	1	18	0,41
46	36	3	52	64	0	0	1	74	18	3	1	25	0,62
47	42	4	53	62	0	0	1	75	55	4	1	25	0,54
48	45	5	54	253	0	0	1	115	32	5	1	20	0,58
49	51	5	76	94	5	1	1	110	19	0	0	28	0,57

Continuación

Ciclo	Dist	PendAb	TpoVV	Acovv	PenAb *Bin	Binvv	BinRet	TpoVC	AcoVC	PendAb *Bin	Binvc	Troza	VolSm
50	53	7	73	24	7	1	1	114	70	0	0	24	0,79
51	61	8	81	39	8	1	1	124	336	0	0	25	0,62
52	62	8	86	32	8	1	0	130	172	0	0	27	0,78
53	63	9	80	35	9	1	1	124	46	0	0	25	0,56
54	74	10	88	43	10	1	0	160	28	0	0	19	0,44
55	56	9	73	43	9	1	1	121	29	0	0	25	0,67
56	74	10	94	42	10	1	1	139	256	0	0	22	0,59
57	27	19	32	26	19	1	1	61	40	0	0	28	0,75
58	38	16	45	54	16	1	1	80	38	0	0	28	0,87
59	39	23	61	44	23	1	1	85	18	0	0	33	0,87
60	86	10	117	31	10	1	1	176	20	0	0	20	0,59
61	92	10	113	26	10	1	1	175	34	0	0	29	0,78
62	100	11	119	43	11	1	1	180	15	0	0	31	0,74
63	126	11	155	59	11	1	1	206	22	0	0	27	0,64
64	88	12	115	77	0	0	1	190	34	12	1	27	0,65
65	104	15	145	55	0	0	1	209	40	15	1	30	0,77
66	96	15	139	259	0	0	1	215	14	15	1	23	0,72
67	58	20	84	59	20	1	1	137	26	0	0	26	0,82
68	90	21	129	29	21	1	1	187	24	0	0	23	0,64
69	98	21	137	30	21	1	1	202	27	0	0	28	0,83
70	65	18	98	27	18	1	1	96	58	0	0	28	0,60
71	50	23	75	35	23	1	1	113	35	0	0	24	0,72
72	56	20	81	21	20	1	1	127	38	0	0	26	0,75
73	64	19	78	54	19	1	1	132	27	0	0	30	0,87
74	90	20	113	52	20	1	1	158	31	0	0	27	0,75
75	46	23	73	83	23	1	1	128	69	0	0	26	0,70
76	70	23	90	48	23	1	1	126	19	0	0	28	0,65
77	72	23	96	77	23	1	1	137	23	0	0	26	0,74
78	71	23	92	51	23	1	1	139	35	0	0	24	0,67
79	78	19	118	40	19	1	1	149	21	0	0	26	0,58
80	36	5	37	52	0	0	1	69	24	5	1	27	0,73
81	40	5	49	61	0	0	1	57	18	5	1	24	0,80
82	17	5	33	42	0	0	0	35	19	5	1	42	0,73
83	32	29	62	110	0	0	0	56	23	29	1	40	0,67
84	34	25	84	139	0	0	0	62	20	25	1	32	0,79
85	37	29	65	34	0	0	1	58	21	29	1	30	0,66
86	79	19	126	173	0	0	1	126	23	19	1	34	0,96
87	57	12	93	44	0	0	1	92	24	12	1	33	0,96
88	46	27	89	61	27	1	1	89	39	0	0	33	0,92
89	52	29	88	40	0	0	1	89	29	29	1	30	0,86
90	57	29	90	52	0	0	1	107	50	29	1	37	0,93
91	29	25	65	38	0	0	0	57	25	25	1	33	1,03
92	34	25	90	15	0	0	0	78	18	25	1	28	0,92
93	42	24	88	44	0	0	0	76	19	24	1	36	0,91
94	134	20	201	186	20	1	1	237	28	0	0	35	0,94
95	150	21	238	162	21	1	1	274	32	0	0	42	0,91
96	154	22	232	150	22	1	1	298	28	0	0	39	0,96
97	88	19	124	186	19	1	1	161	46	0	0	31	0,76
98	101	20	144	148	20	1	1	183	56	0	0	37	0,85
99	126	21	191	171	21	1	1	222	68	0	0	42	1,10

(*) Valor atípico.

Cuadro N° 59. Planilla de datos de carga, descarga y acomodos del maderero con cadena.

Ciclo	TpoCar	AcoCar	Bin	Trozas	VolSm	TpoDes	AcoDes
1	36	21	1	16	0,43	18	49
2	45	0	0	14	0,57	24	34
3	34	0	0	16	0,56	27	37
4	58	0	0	17	0,56	29	33
5	108	30	1	14	0,41	54	29
6	76	23	1	16	0,51	20	52
7	70	0	0	15	0,49	21	48
8	42	88	1	15	0,36	22	36
9	90	180	1	15	0,40	41	58
10	62	0	0	16	0,45	16	59
11	50	0	0	18	0,53	25	45
12	44	36	1	14	0,52	26	46
13	40	30	1	17	0,51	23	59
14	70	41	1	17	0,61	20	120
15	48	82	1	18	0,55	55	73
16	42	0	0	13	0,65	36	55
17	23	19	1	13	0,60	23	26
18	34	0	0	16	0,44	21	47
19	56	0	0	16	0,41	15	30
20	29	0	0	15	0,52	17	43
21	25	0	0	16	0,41	22	67
22	35	21	1	14	0,38	19	65
23	50	0	0	12	0,58	14	75
24	34	0	0	16	0,45	21	53
25	22	44	1	15	0,37	11	34
26	36	0	0	16	0,53	20	63
27	35	0	0	16	0,41	23	80
28	38	0	0	17	0,40	16	100
29	45	0	0	13	0,46	18	60
30	28	0	0	17	0,47	14	84
31	56	36	1	16	0,45	22	40
32	64	0	0	17	0,42	21	48
33	58	13	1	16	0,37	14	51
34	33	0	0	17	0,47	22	50
35	40	0	0	14	0,43	29	61
36	42	0	0	17	0,60	18	47
37	24	0	0	15	0,39	25	58
38	63	0	0	16	0,37	23	71
39	56	0	0	16	0,46	26	64
40	50	0	0	16	0,42	19	48
41	46	0	0	15	0,47	21	59
42	46	0	0	14	0,52	14	81
43	37	0	0	14	0,38	20	85
44	39	0	0	17	0,51	17	65
45	38	0	0	18	0,41	22	82
46	90	45	1	25	0,62	16	49
47	84	98	1	25	0,54	18	43

Continuación

Ciclo	TpoCar	AcoCar	Bin	Trozas	VolSm	TpoDes	AcoDes
48	58	77	1	20	0,58	27	45
49	62	25	1	28	0,57	22	49
50	67	13	1	24	0,79	24	37
51	60	47	1	25	0,62	27	38
52	62	29	1	27	0,78	23	46
53	62	21	1	25	0,56	20	48
54	80	12	1	19	0,44	24	51
55	105	39	1	25	0,67	28	49
56	84	30	1	22	0,59	31	50
57	98	23	1	28	0,75	21	37
58	65	18	1	28	0,87	30	40
59	83	46	1	33	0,87	25	64
60	70	97	1	20	0,59	19	29
61	102	71	1	29	0,78	38	52
62	80	49	1	31	0,74	28	42
63	72	68	1	27	0,64	20	53
64	58	17	1	27	0,65	24	34
65	99	23	1	30	0,77	26	23
66	97	80	1	23	0,72	41	39
67	73	78	1	26	0,82	33	67
68	121	63	1	23	0,64	42	62
69	107	49	1	28	0,83	20	59
70	43	90	1	28	0,60	24	76
71	75	77	1	24	0,72	23	31
72	89	90	1	26	0,75	42	26
73	98	23	1	30	0,87	19	44
74	68	55	1	27	0,75	28	55
75	74	15	1	26	0,70	21	54
76	75	95	1	28	0,65	27	35
77	74	86	1	26	0,74	39	48
78	103	110	1	24	0,67	33	39
79	104	75	1	26	0,58	30	24
80	70	92	1	27	0,73	25	36
81	85	24	1	24	0,80	28	26
82	53	115	1	42	0,73	33	55
83	56	77	1	40	0,67	27	52
84	50	49	1	32	0,79	25	47
85	70	35	1	30	0,66	34	40
86	76	179	1	34	0,96	27	35
87	62	52	1	33	0,96	33	36
88	61	196	1	33	0,92	28	37
89	98	119	1	30	0,86	28	45
90	82	150	1	37	0,93	37	42
91	109	106	1	33	1,03	32	53
92	89	50	1	28	0,92	29	49
93	73	56	1	36	0,91	36	39
94	54	158	1	35	0,94	29	29

Continuación

Ciclo	TpoCar	AcoCar	Bin	Trozas	VolSm	TpoDes	AcoDes
95	79	100	1	42	0,91	34	51
96	58	65	1	39	0,96	38	60
97	74	82	1	31	0,76	34	39
98	90	80	1	37	0,85	29	50
99	88	121	1	42	1,10	37	73