

IDENTIFICACIÓN DE LAS CAUSAS QUE ALTERAN EL RENDIMIENTO DE LOS EQUIPOS DE EXTRACCIÓN DE MADERA. ESTUDIO DE TIEMPOS Y MOVIMIENTOS

IDENTIFICATION OF THE CAUSES THAT ALTER THE PERFORMANCE OF TEAMS LOGGING. STUDY TIME AND MOVEMENT

JOSE FRANCO ALVIS GORDO¹, MANUEL ALBERTO SOTELO MUÑOZ²

PALABRAS CLAVE

Aprovechamiento, tiempos y movimientos, rendimiento, manejo.

KEYWORDS

Harvesting time and post-movement, performance, handling.

RESUMEN

Los estudios de tiempos y movimientos permiten determinar las causas por las cuales se disminuye el rendimiento en los equipos de extracción forestal durante los procesos de cosecha, diagramando los movimientos rutinarios que permiten determinar los ciclos (unidad de producción), para conocer los rendimientos óptimos de cada equipo estudiado. Se realizó un análisis estadístico por medio de una regresión lineal múltiple, pudiendo predecir el comportamiento de variables y formular un modelo matemático que permite predecir el rendimiento de cada equipo, dependiendo de diferentes variables como pendiente, distancia de madereo y carga transportada. Se diseñó un modelo matemático que permite predecir rendimientos en operaciones de madereo hasta una distancia media de 250 metros, pendientes entre 30 y 45%, en plantaciones de Pinus Tecunumanii, Pinus oocarpa, Pinus patula y Eucalyptus grandis.

ABSTRACT

The time and motion studies to identify the causes that decrease the performance of logging equipment during the harvest, diagrams routine movements to determine the cycles (production unit) to get the optimum performance each group studied. Statistical analysis was performed using a multiple linear regression can predict the behavior of variables and formulate

Recibido para evaluación: 12 de marzo de 2009. Aprobado para publicación 17 de agosto

2 Profesor Unicauca
1 Estudiante Ingeniería Forestal

Correspondencia: falvis@unicauca.edu.co

a mathematical model that predicts the performance of each team, depending on different variables such as slope, distance Woodlot and cargo carried. We designed a mathematical model that predicts yields Woodlot operations to an average distance of 250 meters, slopes between 30 and 45% in plantations of Pinus tecunumanii, oocarpa Pinus, Pinus patula and Eucalyptus grandis.

INTRODUCCIÓN

Las operaciones de cosecha y transporte, son componentes esenciales de una actividad forestal sostenible, tanto si el objetivo del aprovechamiento se centra en los usos industriales de los productos del bosque, como en los no industriales. Aunque estas operaciones son tan antiguas como el uso de los bosques por la humanidad, la era industrial han alterado irrevocablemente la relación entre los seres humanos y los bosques [1].

El aprovechamiento forestal se realiza en muchas ocasiones de forma incorrecta y destructiva, debido principalmente a la falta de una adecuada planificación y a la escasa aplicación de técnicas de aprovechamiento forestal eficientes. En muchas ocasiones se utilizan equipos inadecuados y con trabajadores que no han sido capacitados de manera adecuada, además, sin la posibilidad de recibir incentivos que mejoren la producción y sin la supervisión correcta [2].

La disminución del rendimiento en los equipos de extracción de madera y en los procesos de cosecha forestal es muy frecuente, ocasionando múltiples inconvenientes de tipo económico, organizativo y de planeación, siendo necesario identificar las causas más frecuentes que alteran dicho rendimiento [3].

Se realizó un estudio de tiempos y movimientos en los procesos de cosecha forestal, buscando determinar las causas de la disminución en los rendimientos, con el fin de reducir y, posiblemente eliminar las ineficiencias en las operaciones de extracción de madera. Se realizó un seguimiento de tiempos improductivos para así determinar las causas más significativas por las cuales disminuye el rendimiento en la extracción mecanizada de madera, formulando un plan de manejo para optimizar el rendimiento en el proceso adelantado [4].

METODOLOGÍA

DESCRIPCION DE LOS EQUIPOS

EQUIPOS DE EXTRACCIÓN FORESTAL DE ARRASTRE

- **Tractor forestal de orugas FMC FT-180CA**

Posee transmisión con tres velocidades de avance y marcha atrás, orugas de acero, arco integral hidráulico con cuatro rodillos y cuchilla hidráulica de diferentes posiciones. Utiliza cable de acero 6*19, alma de fibra, con alta resistencia al desgaste y a la abrasión, diámetro de 5/8", peso aproximado de 0,74 kg/metro y soportan una carga de rotura nominal 14400 kg aproximadamente [5].

- **Tractor forestal VALMET 4X4**

Posee un motor de 70 HP con 4 velocidades de avance y marcha atrás. El Winche marca Farny, cuenta con un tambor de diámetro de 0.16 metros, con una capacidad de 35 metros. Utiliza cables de 6*19 (6 torones, 19 alambres por torón), alma de fibra, esta construcción se utiliza donde los cables se arrastran por el suelo sobre rodillos, siendo un factor importante la resistencia al desgaste y a la abrasión [6].

EQUIPOS DE EXTRACCIÓN FORESTAL POR CABLES AÉREOS

- **Torre de madereo Koller**

La fuente de potencia es un tractor agrícola de 70 HP que funciona con la configuración de cable aéreo vivo (con tambor de tensión y recuperación) de 5/8" de diámetro y 350 metros de longitud. El cable de arrastre es de 3/8"

de diámetro y 400 metros de longitud. Trabaja con un carrito Koller SKD 1, el modelo usado es K-300 que se utiliza para extraer madera con un alcance hasta de 350 metros y una capacidad de carga de 1 tonelada por ciclo.

- **Tracto-Koller**

Utiliza cable aéreo fijo, anclado en dos extremos y el cable de arrastre se envuelve en un tambor que reemplaza a una de las llantas traseras del tractor. Se utiliza para subir o bajar madera, con un alcance hasta de 700 metros. Trabaja con dos cables: uno aéreo de diámetro mínimo de 5/8" y uno de arrastre de 3/8" de diámetro. El tractor debe tener mínimo 70 HP, trabaja con un carrito hidráulico Koller SKA 1 modelo K-300 y una capacidad de carga de 1 tonelada por ciclo. [7]

- **Tractor agrícola de carrito mecánico**

Utiliza cable aéreo fijo, anclado en dos extremos, el cable de arrastre se envuelve en un tambor que reemplaza a una de las llantas traseras del tractor. Se utiliza para subir o bajar madera, con un alcance hasta de 550 metros, trabaja con dos cables: uno aéreo de diámetro mínimo de 5/8" y uno de arrastre de 3/8". El tractor debe tener mínimo 60 HP, trabaja con un carrito mecánico y una capacidad de carga de 0.7 tonelada por ciclo [8].

- **Winche nacional**

Funciona con dos cables: Uno aéreo fijo mínimo de 5/8" de diámetro, un cable de arrastre de 3/8" y tiene un alcance hasta de 550 metros. El equipo está constituido por un tambor con sistema de control mecánico y utiliza un carrito mecánico con una capacidad de carga de 0.6 toneladas por ciclo [9].

ESTUDIO DE TIEMPOS

Determinación del tamaño de la muestra

Para determinar el tamaño de la muestra se realizó un muestreo con una prueba piloto de 25 observacio-

nes, buscando conocer las características de operatividad de los sistemas de extracción forestal estudiados.

Se registraron los tiempos totales por ciclo, para cada uno de ellos, teniendo en cuenta diferentes condiciones de distancia, pendiente y carga transportada [10]. Con los datos obtenidos se realizó el cálculo del tamaño de la muestra, para lo cual se utilizó la siguiente fórmula:

$$n = \frac{\sigma^2 z^2}{E^2} \quad \text{Ec. (1)}$$

Se decidió trabajar con un nivel de confiabilidad del 95% y con un error 0.3 minutos, Los datos a reemplazar son los siguientes:

n = Numero de observaciones necesarias para un dato confiable [11].

$$s^2 = \sigma^2 = \text{Varianza.} \quad \text{Ec. (2)}$$

Z = 1.96 Valor de distribución de t, correspondiente a un 95% de confiabilidad.

E = Error permisible.

La realización del estudio de tiempos se inició con el cronometraje, estos datos se anotaron en una planilla de tiempos llevando el registro de variables independientes como distancia, pendiente, y carga transportada por ciclo [12].

Para la medición de la distancia en los sistemas de extracción de arrastre, se utilizó el método de cuerda pisada, que consiste en colocar una cuerda graduada que se extiende a lo largo del trayecto recorrido por cada viaje. Para los sistemas de extracción por cables se utilizó un perfil a escala (levantamiento topográfico) que se realiza a cada corredor de aprovechamiento.

Para la medición de la pendiente se tomó cada ruta de viaje en varios tramos y con un Nivel Abney se midió la pendiente en porcentaje a cada uno de estos tramos. La pendiente media se obtuvo sumando las pendientes de cada tramo y dividiéndola por el número de tramos [13].

ESTUDIO DE MOVIMIENTOS

Se realizó un diagrama de movimientos, con una representación gráfica de las secuencias dentro de un ciclo, identificando mediante símbolos de acuerdo con su naturaleza.

ESTUDIO DE RENDIMIENTO

Se procesó la información recogida y se calculó la eficacia de cada equipo de extracción forestal de la siguiente manera:

$$Eficacia = \frac{Rendimiento.real}{Rendimiento.ideal} * 100 \quad Ec. (3)$$

El rendimiento es una variable dependiente de las condiciones del entorno de producción [12]. Las variables independientes son pendiente del terreno, distancia y carga transportada, las cuales se calcularon e introdujeron en un modelo matemático, por lo tanto el rendimiento se mide en función de las variables independientes de la siguiente forma:

$$R = a + b (\text{distancia}) + c (\text{carga transportada}) + d (\text{pendiente}) \quad Ec. (4)$$

Donde: R = Producción en toneladas por hora.

a, b, c, d son parámetros del modelo de regresión múltiple que se calcularon mediante el uso un paquetes estadísticos.

Distancia, carga transportada y pendiente son las variables independientes que se tuvieron en cuenta para determinar el rendimiento.

RESULTADOS

Causas por las cuales se disminuye el rendimiento en los equipos de extracción forestal

En el presente estudio, el Winche nacional es el que

mayor tiempo improductivo presentó con 645.2 horas equivalentes a 3.3 meses y el equipo que menor tiempo improductivo presentó fue el tractor forestal FMC FT-18 CA con 268.7 horas equivalente a 1.4 meses. En los equipos de extracción forestal de arrastre la causa que mas presentó tiempos improductivos son las fallas mecánicas, y en los equipos de extracción por cables aéreos es la falta de evacuación. (Ver tabla 1, figuras 1 y 2).

ESTUDIO DE TIEMPOS

Determinación de los ciclos

Para el cálculo de los ciclos se tomaron datos promedio del estudio de tiempos realizado, de distancia en metros, pendiente en porcentaje y carga transportada en toneladas, determinando el rendimiento en toneladas día y toneladas hora en jornadas de 9 horas.

Tractor forestal FMC FT-180 CA

Ciclo = V. vacío 2.41 + T.carga 7.29 + V. cargado 5.94 + T. descarga 2.77 = 18.41 minutos. Por lo tanto: (540 min/día) / (18.41 min/ciclo) = 29.3 ciclos/día y se determinó su rendimiento: (29.3 ciclos/día) * (1.4 ton/ciclo) = 41.1 ton/día = 4.6 ton/hora. Ec. (5)

Tractor forestal Valmet 4x4

Ciclo = V. vacío 2.40 + T.carga 7.36 + V. cargado 4.34 + T. descarga 2.39 = 16.48 minutos. Por lo tanto: (540min/día) / (16.48 min/ciclo) = 32.8 ciclos/día y se determinó su rendimiento: (32.8 ciclos/día) * (0.72 ton/ciclo) = 23.6ton/día = 2.6 ton/hora. Ec. (6)

Torre de maderero Koller

Ciclo = V. vacío 1.92 + T.carga 2.07 + V. cargado 2.46 + T. descarga 1.18 = 7.63 minutos. Ec. (7)

Por lo tanto: (540min/día) / (7.63min/ciclo) = 70.8 ciclos/día y se determino su rendimiento: (70.8 ciclos/día) * (0.6 ton/ciclo) = 42 ton/día = 4.7 ton/hora. Ec. (8)

Tabla 1. Descripción de tiempos improductivos en horas para un período de seis meses

TIEMPOS IMPRODUCTIVOS	EQUIPO					
	FMC	Valmet	Torre K	Tracto-K	TACM	Winche
Lluvia	35.1	84.0	57.8	32.4	20.3	22,0
Instalación	0.0	0.0	93.3	181.8	106.7	121,0
Falla mecánica	126.0	236.5	36.5	7.5	15.0	164,5
Permiso	29.0	6.0	11.0	19.0	6.0	7,0
Visita	0.0	0.0	1.0	2.0	0.0	0,0
Capacitación	21.0	34.5	43.5	33.0	18.0	31,0
Evacuación	4.0	0.0	198.2	161.8	248.0	127,5
Mantenimiento	16.9	10.0	9.0	0.0	0.0	0,0
T. de equipo	6.0	5.0	22.5	55.0	18.0	29,0
P. de corredores	0.0	0.0	0.0	0.0	15.0	44,0
Programación	4.0	0.0	48.5	5.0	8.0	0,0
Falla cable	0.7	1.0	8.5	4.0	0.0	83,7
Falta de madera	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1,5
Orden	26.0	35.0	22.8	21.9	72.0	14,0
Total horas	268.7	412.0	552.6	550.4	526.9	645.2

Figura 1. Descripción de tiempos improductivos durante un semestre para seis equipos de extracción forestal.

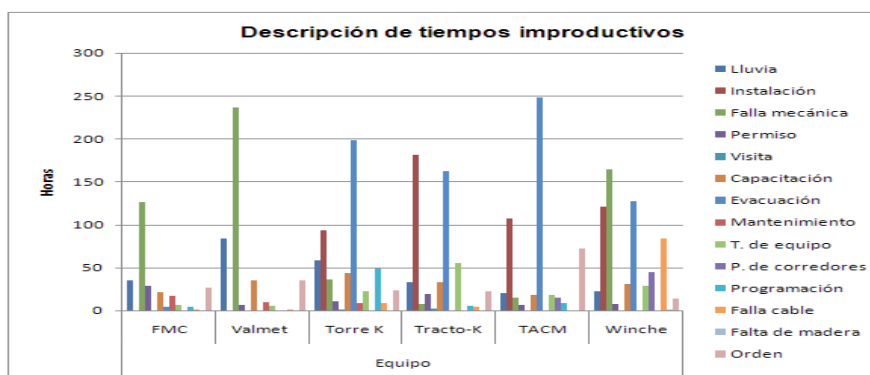
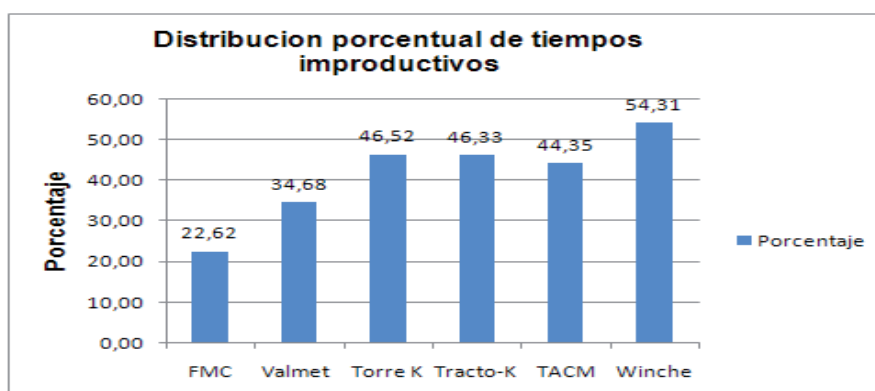


Figura 2. Distribución porcentual de tiempos improductivos durante un semestre para seis equipos de extracción forestal.



Tracto-Koller

Ciclo=V. vacío 2.64+T.carga 2.21+V. cargado 3.59+T. descarga 1.11 = 9.41 minutos. Ec. (9)

Por lo tanto: $(540\text{min/día}) / (9.41\text{min/ciclo}) = 57.4$ ciclos/día y se determino su rendimiento $(57.4 \text{ ciclos/día}) * (0.62 \text{ ton/ciclo}) = 35.6 \text{ ton/día} = 4 \text{ ton/hora}$. Ec. (10)

TACM

Ciclo=V. vacío 1.67+T.carga 3.59+V. cargado 2.28+T. descarga 1.20 = 8.73 minutos. Ec. (11)

Por lo tanto: $(540\text{min/día}) / (8.73 \text{ min/ciclo}) = 61.9$ ciclos/día y se determino su rendimiento: (61.9

ciclos/día) * (0.52 ton/ciclo) = 32.2 ton/día = 3.6 ton/hora. Ec. (12)

Winche nacional

Ciclo=V. vacío 1.02+T.carga 3.44+V. cargado 2.57+T. descarga 1.45 = 8.48 minutos. Ec. (13)

Por lo tanto: $(540\text{min/día}) / (8.48 \text{ min/ciclo}) = 63.7$ ciclos/día y se determino su rendimiento: $(63.7 \text{ ciclos/día}) * (0.37 \text{ ton/ciclo}) = 23.6 \text{ ton/día} = 2.6 \text{ ton/hora}$ [13]. Ec. (14)

Estudio de movimientos

Se realiza mediante la determinación del diagrama de movimientos para los equipos de arrastre. (Ver figuras 3 y 4)

Figura 3: Diagrama de movimientos para equipos de arrastre

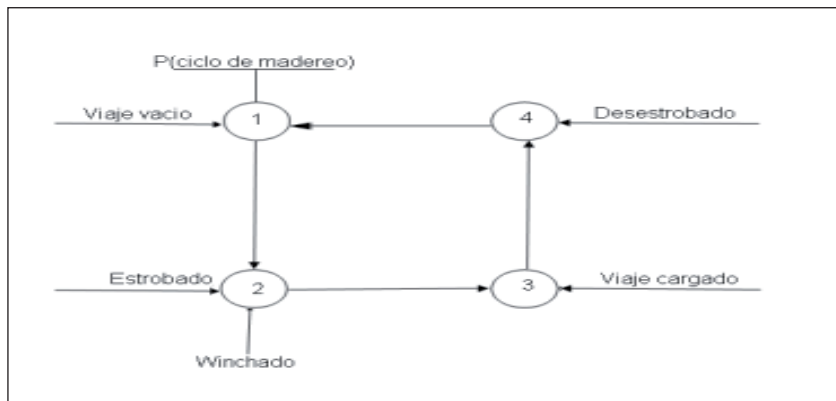
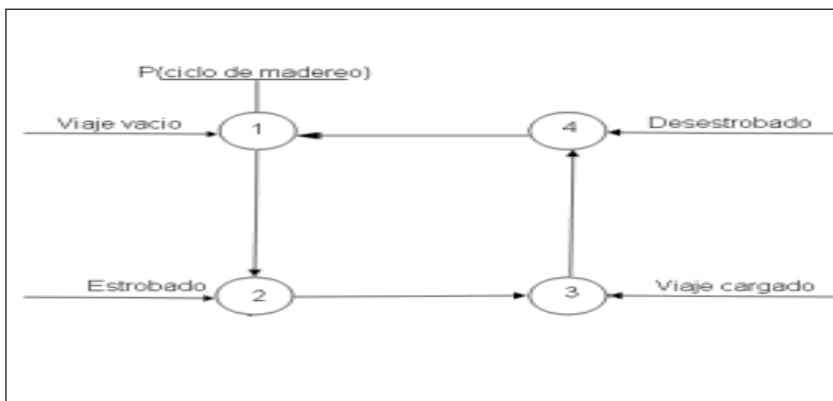


Figura 4: Diagrama de movimientos equipos de cables aéreos.



ESTUDIO DE RENDIMIENTO

El rendimiento de los equipos estudiados se determinó a través de la medición de la cantidad de madera extraída en toneladas por cada uno de los equipos, durante el periodo de tiempo que duró el estudio el cual tuvo una duración de 6 meses. (Ver tabla 2, figuras 5 y 6).

EFICACIA

Los valores de eficacia de los equipos de extracción estuvieron todos por encima del 60%, permitiendo determinar que son equipos que están rindiendo pero no en la proporción requerida (Ver tablas 3 y 4).

Tabla 2. Rendimiento ideal vs real de los equipos de extracción forestal para un periodo de seis meses.

Equipo	Toneladas extraídas					
	FMC	Valmet	Torre K	Tracto-K	TACM	Winche
Mensual (Ideal)	990	660	880	770	550	440
Periodo (6 meses) Ideal	5940	3960	5280	4620	3330	2640
Periodo (6 meses) Real	3961	3308	4460	3390	2013	1609

Figura 5. Rendimiento ideal vs real de los equipos de extracción forestal. (Ver tabla 2, figuras 5 y 6)

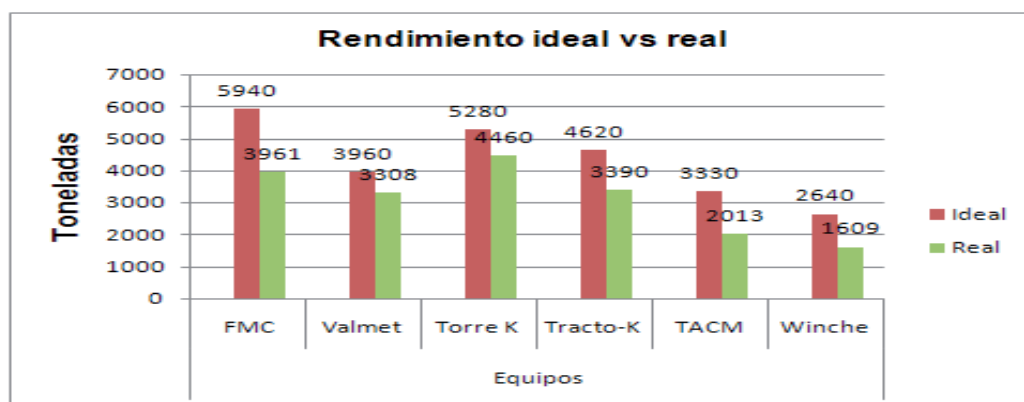


Figura 6. Rendimiento ideal vs promedio de los equipos de extracción forestal.

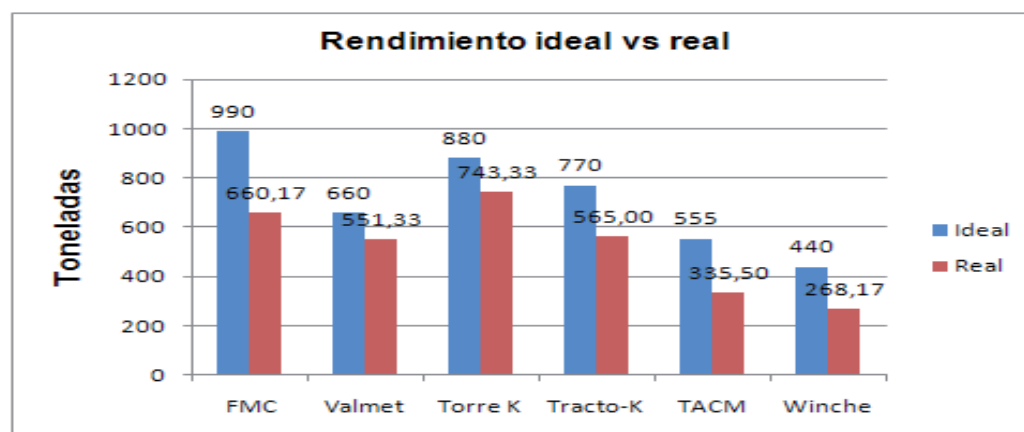


Tabla 3. Numero de observaciones realizadas para el estudio

Equipo	FMC	Valmet	Torre K	Tracto-K	TACM	Winche
Eficacia (%)	66,68	83,54	84,47	73,38	60,45	60,95

Tabla 4. Relación de toneladas extraídas en un periodo de seis meses

Equipo	Toneladas extraídas					
	FMC	Valmet	Torre K	Tracto-K	TACM	Winche
Horas laboradas	791.2	573	427.4	403.3	422.1	393.7
Toneladas Extraídas	3961	2308	2960	2628	1570	1270
Toneladas hora (ideal)	5	3.3	4.4	3.9	2.8	2.2
Toneladas hora (real)	5	4	6.9	6.5	3.7	3.2

Se realizó una regresión lineal que permite predecir el comportamiento de dichas variables; El modelo muestra los resultados de la regresión lineal múltiple para describir la relación entre toneladas hora y 3 variables independientes como: distancia de made-reo, pendiente del terreno y carga transportada. La ecuación del modelo ajustado es:

Para Tractor foresta FMC FT-180CA

$$\text{Ton hora} = - (6.91536) - (0.027498 \times \text{distancia media}) + (20.7736 \times \text{pendiente media}) + (9.42929 \times \text{carga transportada}) \quad \text{Ec. (15)}$$

Implementación del modelo: Este modelo está diseñado para predecir rendimientos en operaciones de made-reo hasta una distancia media de 250 metros, pendientes entre 0 y 30%; y plantaciones de *Pinus tecunumanii*, *oocarpa* y *patula*, este equipo está diseñado para extracción forestal con eficacia a una distancia media menor a 200 metros.

Para los demás equipos estudiados el modelo ajustado es el mismo, con diferencias en las variables independientes como: distancia de made-reo, pendiente del terreno y carga transportada. También varía en ocasiones las especies aprovechadas.

Dado que el p-valor en la tabla ANOVA es inferior a 0.01, existe relación estadísticamente significativa entre las variables para un nivel de confianza del 99% para los seis modelos [14].

Equipos de extracción por arrastre

$$\text{Distancia media} = (\text{distancia mínima} + \text{distancia máxima}) / 2 \quad \text{Ec. (16)}$$

$$\text{Pendiente media} = (\text{pendiente 1} + \text{pendiente 2} + \dots + \text{pendiente n}) / n \quad \text{Ec. (17)}$$

Equipos de extracción de cables aéreos

$$\text{Distancia media} = (2/3) \times (\text{distancia total de made-reo})$$

$$\text{Pendiente media} = (\text{pendiente 1} + \text{pendiente 2} + \dots + \text{pendiente n}) / n \quad \text{Ec. (18)}$$

Para todos los equipos se existen factores que influyen en la disminución de su rendimiento como son: La planeación, condiciones topográficas (ondulaciones del terreno), invierno, carácter técnico (técnicas inadecuadas), mano de obra (poco calificada), mantenimiento de maquinarias (correctivo y preventivo), órdenes impuestas, factores forestales (toneladas a extraer, toneladas por hectárea).

CONCLUSIONES

Relacionando el número de horas laboradas por número de toneladas extraídas se observa que el rendimiento en el tractor forestal FMC FT-180CA tiene un rendimiento de 5 toneladas hora, igualando el rendimiento ideal por hora para este equipo.

Los demás equipos presentan un rendimiento real por hora superior al rendimiento ideal, sin embargo, se puede apreciar que el rendimiento en toneladas extraídas para todos los equipos presenta una pérdida considerable.

Los equipos de extracción son eficaces, pero se debe tener en cuenta ciertos criterios que pueden disminuir dicho rendimiento como son tiempos perdidos no programados, tiempos no productivos programados, y condiciones del entorno como distancia de madereo, pendiente del lote y carga transportada.

Existen factores que influyen en el rendimiento de los equipos de extracción forestal como son: La planeación, las condiciones topográficas, las condiciones climáticas, los aspectos técnicos, la calificación de la mano de obra, el mantenimiento de la maquinaria y equipos, las órdenes impuestas y los factores forestales entre otros.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] DURAN, R., Fabio. Principios básicos generales sobre el aprovechamiento de bosques, Universidad del Tolima, Facultad de Ingeniería Forestal, Autores Universitarios, 1986.
- [2] Fundación Chile., Actas primer taller de producción forestal, Concepción de Chile, 1988.
- [3] Fundación Chile., Actas segundo taller de producción forestal, de Concepción de Chile, 1989.
- [4] TOLOSANA, E.; GONZÁLEZ, V.M.; DE LINARES, G. y VIGNOTE, El aprovechamiento maderero, Fundación Conde del Valle de Salazar, Madrid, 2000.
- [5] ISAZA R., Sistemas de aprovechamiento forestal en Antioquia Medellín, 1983. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Agronomía.
- [6] VIGNOTE, Martos, y GONZÁLEZ, M.A., (1993) Los tractores en la explotación forestal. 4 Edición, Madrid, 1993.
- [7] NIETO, R.; SORIA, J., Motores y maquinaria forestal, Junta de Andalucía Sevilla, 1990.
- [8] CABRERA, J., Transporte forestal terrestre, Instituto forestal, Santiago de Chile, 1979.
- [9] EERONHEIMO, O. y MÄKINEN, P., Desarrollo de cosecha forestal en las plantaciones de pino radiata en Chile de 1995.
- [10] MONTGOMERY, D., Diseño y análisis de experimentos, Iberoamérica S.A. México, 1991.
- [11] STELL, R; Torrie, J. Bioestadística: Principios y procedimientos, Mc Graw Hill, México, 1992.
- [12] Smurfit Kappa Cartón de Colombia, División Forestal, Zona sur, Inventarios precosecha, 2007.
- [13] ANAYA, CHRISTIANSEN. Aprovechamiento forestal. Instituto interamericano de cooperación para la agricultura, San José. Costa rica, 1986.
- [14] CABALLERO, M., Estadística práctica para dasonomos, Subsecretaría forestal y de la fauna, México, 1990.