

## Evaluación y optimización de la tecnología para la transportación de madera en la Empresa Agroforestal Guanahacabibes

### Evaluation and optimization of the technology for wood transportation at the Guanahacabibes agroforestry company

José Carlos Rodríguez García <sup>I</sup>  <https://orcid.org/0000-0001-7317-8668>  
Jerson Manuel Rodríguez García <sup>II</sup>  <https://orcid.org/0000-0003-1773-5903>  
Daloyma Crespo Santoyo <sup>I</sup>  <https://orcid.org/0000-0003-2143-4222>  
Roberto Enrique Taño Lazo <sup>III</sup>  <https://orcid.org/0000-0002-4220-0305>

<sup>I</sup>- Centro de investigaciones y servicios ambientales. ECOVIDA. Km 2 ½ Carretera Luis Lazo. E-mails: [jcarlos@ecovida.cu](mailto:jcarlos@ecovida.cu), [daloyma@ecovida.cu](mailto:daloyma@ecovida.cu)

<sup>II</sup>- Museo de Historia Natural "Tranquilino Sandalio de Noda". E-mail: [jersonrodriguez1991@gmail.com](mailto:jersonrodriguez1991@gmail.com)

<sup>III</sup>- Universidad de Pinar del Río Hermanos Saiz Montes de Oca, Facultad de Ciencias Técnicas, Departamento de Matemática, Calle Martí final No. 270. E-mail: [robe@upr.edu.cu](mailto:robe@upr.edu.cu)

Fecha de recepción: 10 de mayo de 2021      Fecha de aceptación: 10 de agosto de 2021

**RESUMEN.** La investigación tuvo lugar en la Empresa Agroforestal Guanahacabibes, con el objetivo de proponer un sistema de acciones que posibiliten una correcta planificación de las actividades de extracción y transporte de la madera, minimizando los costos, en función de una mayor eficiencia y eficacia en la gestión de la maquinaria forestal a través de la optimización de los procesos tecnológicos. Se realizó un estudio de las diferentes metodologías para el transporte de la madera en un área de 12.8 ha y en una de 12.5 ha pero esta última a 14 km del aserrío, en el municipio Sandino. Se realizó un diagnóstico a los expertos donde se muestra como las dimensiones evaluadas difieren en cuanto a la puntuación, de forma general ninguna muestra estabilidad, lo que conlleva a realizar un análisis de las principales problemáticas que inciden en los diferentes procesos tecnológicos que intervienen en el aprovechamiento. Se demostró que el mayor aprovechamiento en la jornada está en la labor de Transportación de la madera con 88,04%. Se demostró que con tres camiones y la misma cantidad de litros de combustibles (6211,470 l) se puede transportar un total de 8090.20 m<sup>3</sup> de madera, 5930.20 m<sup>3</sup> por encima del plan mínimo de 2160 m<sup>3</sup>. Se empleó la norma cubana (NC 34-37) para la explotación de máquinas agrícolas y forestales y la (NC 38-43) sobre los cálculos económicos, además del diseño y aplicación de un modelo de programación lineal.

**Palabras clave:** madera, optimización, extracción, transporte, Guanahacabibes.

**ABSTRACT.** The research took place at the Guanahacabibes Agroforestry Company with the main objective to propose actions in order to improve the planning for the wood extraction and transportation, reducing cost in order to be more efficient at the agroforestry machinery management by the optimization of the technological process. Different methodologies for the wood transportation were studied in two areas of the municipality of Sandino. A diagnosis was made to the experts proving how the evaluated dimensions differ in terms of the score, stability, leading us to make an analysis of the main problems that affect the different technological processes related with the exploitation. It was shown that the greatest daily exploitation is in the Transportation of the wood with 88.04% and with three trucks and the same amount of

liters of fuel (6211,470 L) a total of 8090.20 m<sup>3</sup> of wood can be transported, 5930.20 m<sup>3</sup> above the minimum plan of 2160 m<sup>3</sup>. Se empleó la norma cubana (NC 34-37) para la explotación de máquinas agrícolas y forestales y la (NC 38-43) sobre los cálculos económicos, además del diseño y aplicación de un modelo de programación lineal.

**Key words:** wood, optimization, extraction, transportation, Guanahacabibes.

## INTRODUCCIÓN

Actualmente, el sector forestal se destaca como uno de los agentes más dinámicos en la economía cubana. Los factores productivos están en constante cambio y las actividades se tornan cada vez más competitivas y menos rentables. Esta situación ha llevado a las empresas del sector a desarrollar nuevas técnicas que les permitan mejorar la rentabilidad de sus inversiones, mediante el aumento en los rendimientos y la optimización de los sistemas productivos.

La baja eficiencia del aprovechamiento de la madera se debe, principalmente, a la poca atención dada a las actividades más costosas de dicho proceso: la extracción y el transporte de la madera, que representan alrededor de un 70% de los costos totales de aprovechamiento (Cándano 2003).

La eficiencia económica refleja los resultados finales de la producción en la entidad, expresa el efecto resultante de la utilización de los bienes en su conjunto a los diferentes niveles, o sea, es la obtención del máximo de producción por unidad de producto.

En este contexto, los modelos de optimización permiten encontrar buenas soluciones para problemas de gestión y planificación de actividades, tales como la selección de esquemas de manejo, la producción de rollizos y la asignación de transporte. Los problemas analizados por las empresas forestales están en correspondencia con la manera de invertir eficientemente sus recursos a un nivel de planificación estratégico (Barros y Weintraub 1982, García 1984), a un nivel táctico (Laroze y Greber 1991, Weintraub *et al.* 1994) y a un nivel operativo (Laroze 1997 y Weintraub *et al.* 1989).

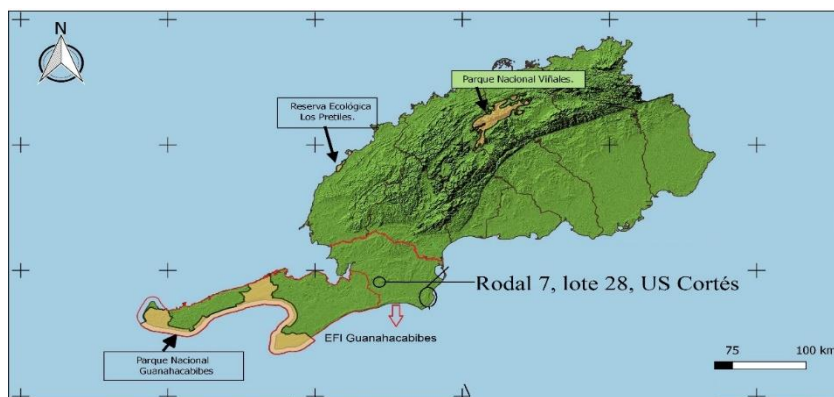
La Empresa Agroforestal Guanahacabibes pretende con la optimización de las tecnologías destinadas al transporte de la madera permitirce procesar un mayor volumen de madera, minimizando los costos y permitiendo una mejor gestión de los recursos energéticos empleados en dicha actividad durante el aprovechamiento.

La presente investigación tiene como objetivo optimizar los procesos tecnológicos de extracción y transporte de madera que permitan minimizar los costos, logrando una mayor

eficiencia en la gestión de la tecnología utilizada en el proceso de aprovechamiento de la madera.

## MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se desarrolló en la EFI Guanahacabibes (figura 1) ubicada a  $21^{\circ} - 56' - 30''$  LN,  $84^{\circ} - 13' - 40''$  en el extremo más occidental de Cuba, abarcando gran parte del municipio Sandino en la Provincia Pinar del Río. Sus límites geográficos son los siguientes: al norte con el municipio Mantua y el Golfo de Guanahacabibes; al sur con el Mar Caribe; al este con el municipio Guane y la Ensenada de Cortés y al oeste con el Canal de Yucatán.



**Figura 1.** Mapa del área de estudio, rodal 7, lote 28, US Cortés.

El método empleado para la evaluación fue diferenciado en cada caso, en consideración con las exigencias y objetivos específicos perseguidos. Se realizó un análisis previo de las áreas de trabajo, se localizaron las áreas naturales y las áreas plantadas, determinando los sitios que permitieran satisfacer la toma de información sujeta a las variables predictoras. Se realizó una encuesta aplicada a expertos en las dimensiones socioeconómicas, productivas y ecológicas. Se utilizaron las Normas Cubanas NC 34-37:85 y la NC 34-38:85, las cuales fueron actualizadas en el 2003 y evalúan parámetros tecnológicos, de explotación y económicos, obteniendo como resultado los cálculos de la utilización del tiempo de la jornada de trabajo y los costos de explotación de las máquinas, criterios necesarios para el uso eficiente y eficaz de las máquinas que permiten mejorar su productividad y que aporta los elementos necesarios para hacer una selección de la variante tecnológica apropiada para dichas condiciones y así obtener buenos resultados durante el proceso de transarte, determinado por los niveles de rentabilidad y las ganancias derivadas del aprovechamiento de madera. Se tuvo en cuenta el tipo de sistema de aprovechamiento forestal según la llegada de la madera hasta el acopiadero superior:

- Sistema de árboles completos

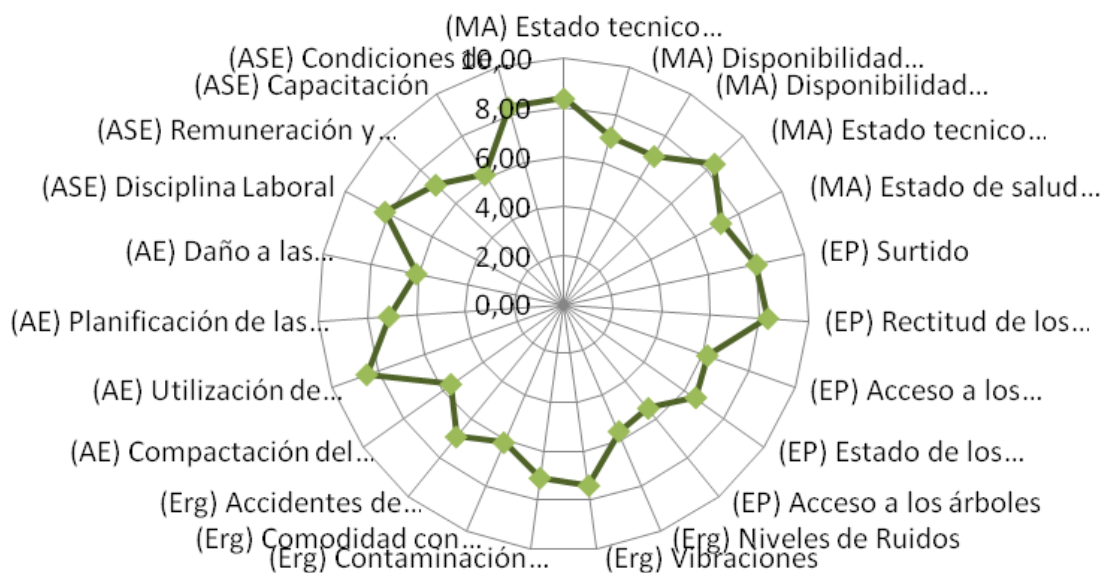
- Sistema de tronco entero
- Sistema de madera corta.

Los datos primarios fueron procesados a través de los sistemas automatizados disponibles como Stadist, Microsoft Word y Microsoft Excel.

- ✓ **WINQSB** (una aplicación versátil que permite la solución de una gran cantidad de problemas: administrativos, de producción, de recurso humano) para la resolución del modelo de Programación Lineal obtenido.
- ✓ **Microsoft Office 2013** para el procesamiento de los datos.

## RESULTADOS

Durante el diagnóstico a los expertos se muestra como las dimensiones evaluadas difieren en cuanto a la puntuación, de forma general ninguna muestra estabilidad, lo que conlleva a realizar un análisis de las principales problemáticas que inciden en los diferentes procesos tecnológicos que intervienen en el aprovechamiento.



**Figura 2.** Diagrama radial del diagnóstico a expertos.

Por ejemplo, (Fig. 2) al analizar el comportamiento de la **Maquinaria y Accesorios (MA)** cuyas variables más representativas son: el estado técnico, la fiabilidad y la disponibilidad de combustible y lubricante para la realización de sus operaciones tecnológicas, se evidencia que para el proceso de extracción de madera el uso de animales cada día alcanza mayor dimensión

al igual que en países de economía desarrollada como Alemania, Suecia, Finlandia, etc, se reporta el empleo de animales para la extracción de madera en talas selectivas, usualmente caballos; también los bueyes son muy usados en América Latina. Según algunos autores (Cordero, 1995) en Costa Rica los rendimientos de las yuntas de bueyes usando cadenas para el arrastre alcanzan los 2.93 metros cúbicos por hora a distancia de arrastre de 100 metros, y el costo total es de 1.48 dólares (USD) por metro cúbico.

### Utilización del tiempo de la jornada en la extracción y transporte de madera

#### Utilización del tiempo de la jornada en la carga de madera



**Figura 3. a)** Camión HOWO (Rabo tubo)

**3. b)** Cargador frontal

Durante este proceso en particular, lo más significativo a destacar es que se pierde mucho tiempo por causas organizativas, por la poca madera en los acopiaderos y por la falta de camiones para el transporte, lo que interrumpe el trabajo del cargador (Fig. 3 a\_b).

#### Utilización del tiempo de la jornada para los camiones de transporte de madera



**Figura 4. a)** Camion URAL cargado



**4. b)** Camión en el proceso de descarga.

La utilización del tiempo de la jornada de los camiones de transporte (Fig. 4 a\_b) refleja un 88.04% de utilización del tiempo y sólo un 11.95% de pérdidas provocadas por causas

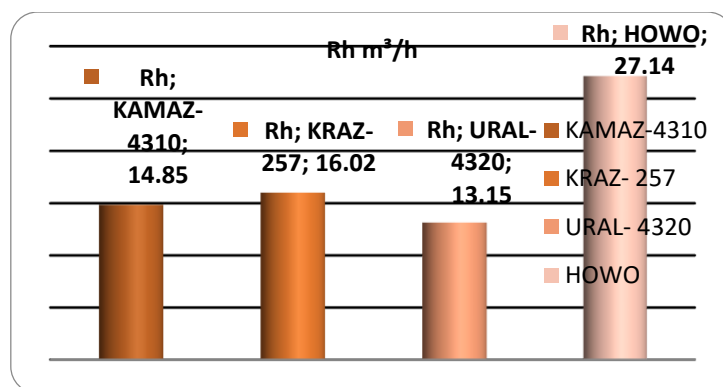
meteorológicas y por causas organizativas. Las pérdidas por causas organizativas aunque no son severas pueden disminuirse al garantizar mayores reservas de madera en los acopiaderos.

**Tabla 1.** Resultados de los cálculos del aprovechamiento de la jornada Laboral

Actividad desarrollada	Máquina o Herramienta	Causas	Valor	Pérdida (%)	Aprovechamiento (%)
			(min)		
Carga de madera	Pérdida de tiempo	Organizativas	65.5	13.64	86.36
Transporte de madera	Pérdida de tiempo de los camiones	Meteorológicas	0	18.22	81.78
		Organizativas	87.5		

**Productividad en el Transporte de la Madera**

Los estudios realizados muestran figura 5 que la Productividad en el Transporte de la Madera (P<sub>htm</sub>) es de 10.99 m<sup>3</sup>/h, que dadas las condiciones de trabajo existentes representa una limitante para el incremento de la productividad y no se ajusta al potencial del transporte, en el cual inciden además, los problemas con la distancia, las pendientes, la calidad de los caminos y los acopiaderos, el estado técnico y las carreteras. Según (Cándano 2000) la parte decisiva del aprovechamiento es la garantía del transporte para la materia prima, aunque no hay que descuidar la calidad de las construcciones de los caminos principales, secundarios y terciarios, así como los acopiaderos.

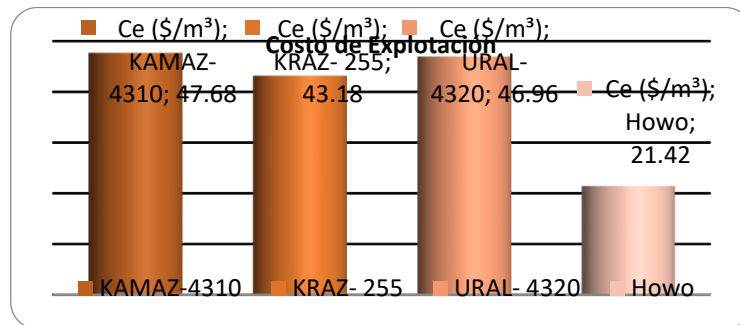


**Figura 5.** Rendimiento actual del transporte en (m<sup>3</sup>/h). Fuente: Elaboración propia.

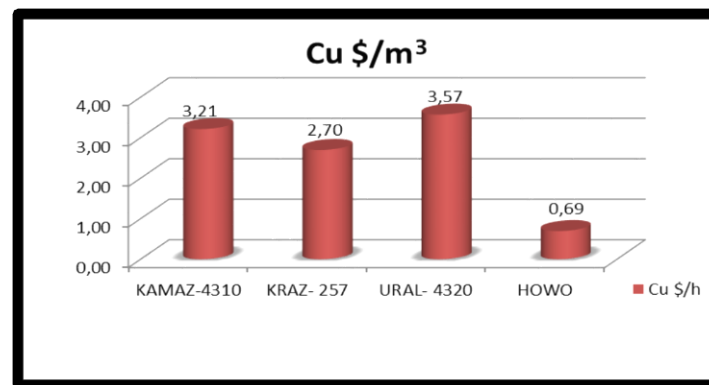
**Costo de explotación y costo unitario del transporte**

Los costos en la explotación del transporte (Fig. 6) son los más elevados debido a la distancia en que quedan los rodales naturales, al mal estado en que se encuentran los caminos de acceso

al acopiadero y los costos unitarios (Fig. 7) en que incurrieron cada uno de los camiones estudiados.



**Figura 6.** Costos unitarios para los camiones KAMAZ-4310, el KRAZ-257, el URAL-4320 y el HOWO.



**Figura 7.** Costos unitarios actuales

### Solución del Modelo Matemático de Programación Lineal para la optimización de la maquinaria destinada al transporte

Para confeccionar el modelo matemático, se parte de la definición de las variables de decisión que tiene dos etapas básicas: la conceptual y la dimensional.

La definición conceptual se refiere al significado de la variable en el contexto del problema.

La definición dimensional se refiere al aspecto cuantitativo, es decir, a las unidades de medida que van a ser utilizadas para operar con esta variable.

Posteriormente se definen las restricciones a cumplir, así como la función objetivo que expresa el propósito central que se persigue con la solución del problema, quedando el modelo de la siguiente forma:

#### Índices. Variables

X<sub>ij</sub>-Cantidad de viajes del camión i con el destino j.

i- Camiones;  $i= 1, \dots, 5$

j- Destinos;  $j= 1, 2, 3$

$C_j$ -  $m^3$ /viajes

$a_{ij}$ - Unidades  $R_i$ /viajes

$R_i$ - Recursos

$h_i$ - horas-hombre (h-h)

$l_i$ - litros de combustible

$D_i$ - demanda mínima de viajes

$P_i$ - plan mínimo de producción

**Función objetivo:** Maximizar la carga ( $m^3$ )

$$\text{Máx. } Z = \sum C_j X_{ij}$$

**S.A:**  $X_{ij} \geq 0$ ;  $i= 1, \dots, i$ ;  $j= 1, \dots, j$

Restricción: Disponibilidad de h-h

$$\sum a_{ij} X_{ij} \leq h_i$$

Restricción II: Disponibilidad de litros de combustible

$$\sum a_{ij} X_{ij} \leq l_i$$

Restricción III: Demanda mínima de viajes

$$\sum X_{ij} \geq D_i$$

Restricción IV: Plan mínimo de producción

$$\sum a_{ij} X_{ij} \geq P_i$$

### Aplicación práctica del modelo

#### I. Definición de las variables esenciales

$X_1$ : Cantidad de viajes del camión 1 (KAMAZ) desde la tala hacia la carretera.

$X_2$ : Cantidad de viajes del camión 2 (URAL) desde la tala hacia la carretera.

$X_3$ : Cantidad de viajes del camión 3 (HOWO) desde la carretera hacia el aserrío.



$X_4$ : Cantidad de viajes del camión 3 (HOWO) desde la tala hacia el aserrío.

$X_5$ : Cantidad de viajes del camión 4 (KRAZ) desde la tala hacia el aserrío.

### **Coefficientes:**

$C_1$ : 15 m<sup>3</sup>

$C_2$ : 15 m<sup>3</sup>

$C_3$ : 30 m<sup>3</sup>

$C_4$ : 30 m<sup>3</sup>

$C_5$ : 12 m<sup>3</sup>

### **II. Función Objetivo**

$$\text{Max } Z = 15 X_1 + 15 X_2 + 30 X_3 + 30 X_4 + 12 X_5$$

### **Sujeto a:**

$$X_{ij} \geq 0; i=1, \dots, i; j=1, \dots, j$$

### **III. Sistema de restricciones**

- **Disponibilidad de h-h**

$$3.6X_1 + 3.6X_2 + 2X_3 + 8.4 X_4 + 8.4 X_5 \leq 1352.29 \text{ h-h}$$

- **Disponibilidad de litros de combustible**

$$6.67X_1 + 6.67 X_2 + 27.37 X_3 + 34.55 X_4 + 32.11X_5 \leq 6211.47 \text{ L}$$

- **Demanda mínima de viajes**

$$X_1 + X_2 + X_3 + X_4 + X_5 \geq 288$$

- **Plan mínimo de carga hacia el aserrío Combate de Tenerife**

$$15X_1 + 15 X_2 + 30 X_3 + 30 X_4 + 12 X_5 \geq 2160 \text{ m}^3$$

### **Resolución e interpretación del modelo de programación lineal obtenido**

#### **I. Planteamiento del PL**

**Tabla 1.** Planteamiento del PL

Variable →	camión1	camión2	Camión3	Camión4	Camión5	Direction	R. H. S.
Maximize	15	15	30	30	12		
h-h	3.6	3.6	2	8.4	8.4	<=	972.8
Combutible	6.67	6.67	27.37	34.55	32.11	<=	6211.47
viajes	1	1	1	1	1	>=	288
M3 Madera	15	15	30	30	12	>=	2160
LowerBound	0	0	0	0	0		
UpperBound	M	M	M	M	M		
VariableType	Continuous	Continuous	Continuous	Continuous	Continuous		

## II. Reporte combinado

Tabla 2. Reporte combinado (solución 1)

	14:20:47		Friday	June	17	2016		
	Decision Variable	Solution Value	Unit Cost or Profit c(j)	Total Contribution	Reduced Cost	Basis Status	Allowable Min. c(j)	Allowable Max. c(j)
1	Camión 1	166,71	15,00	2500,69	0	basic	15,00	54,00
2	camión 2	0	15,00	0	0	at bound	-M	15,00
3	Camión 3 CHIN	186,32	30,00	5589,51	0	basic	8,33	61,55
4	Camión 4 CHIN	0	30,00	0	-22,38	at bound	-M	52,38
5	Camión 5	0	12,00	0	-38,15	at bound	-M	50,15
	Objective	Function	(Max.) =	8090,20	(Note:	Alternate	Solution	Exists!!)
	Constraint	Left Hand Side	Direction	Right Hand Side	Slack or Surplus	Shadow Price	Allowable Min. RHS	Allowable Max. RHS
1	h-h	972,80	<=	972,80	0	2,47	705,17	3352,52
2	Combutible	6211,47	<=	6211,47	0	0,92	2748,96	13312,77
3	viajes	353,03	>=	288,00	65,03	0	-M	353,03
4	M3 Madera	8090,20	>=	2160,00	5930,20	0	-M	8090,20

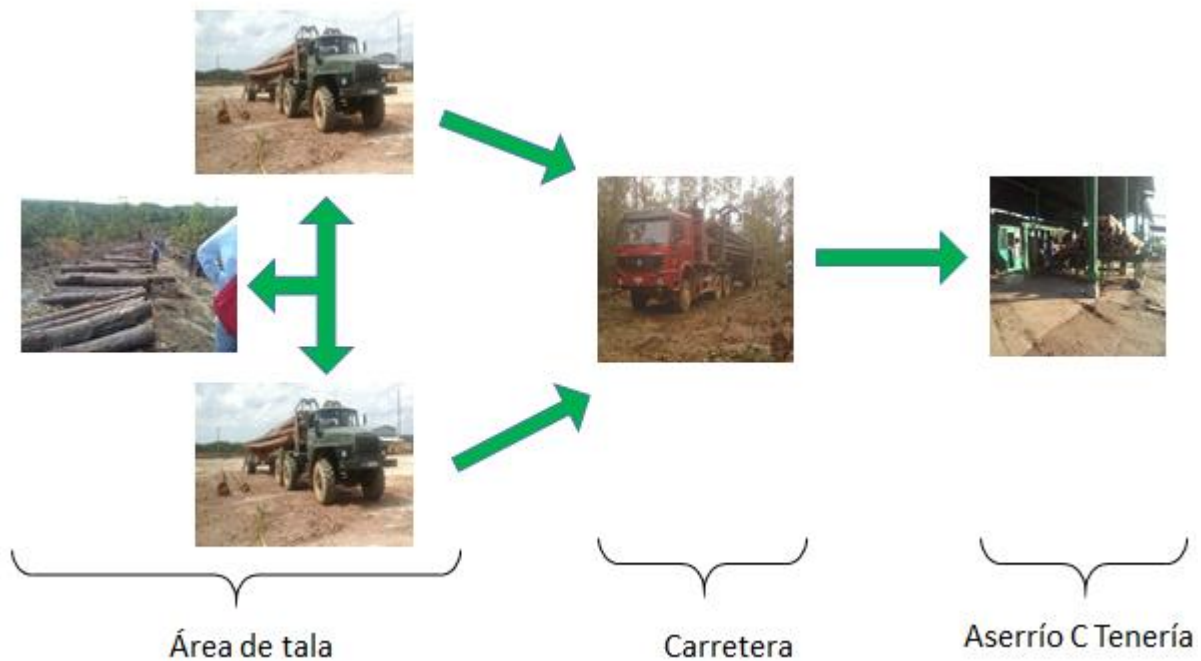
**Tabla 3.** Reporte combinado (solución 2) y tabla simple final

	14:21:18		Friday	June	17	2016		
	Decision Variable	Solution Value	Unit Cost or Profit c(j)	Total Contribution	Reduced Cost	Basis Status	Allowable Min. c(j)	Allowable Max. c(j)
1	Camión 1	0	15,00	0	0	at bound	-M	15,00
2	camión 2	166,71	15,00	2500,69	0	basic	15,00	54,00
3	Camión 3 CHIN	186,32	30,00	5589,51	0	basic	8,33	61,55
4	Camión 4 CHIN	0	30,00	0	-22,38	at bound	-M	52,38
5	Camión 5	0	12,00	0	-38,15	at bound	-M	50,15
	Objective	Function	(Max.) =	8090,20	(Note:	Alternate	Solution	Exists!!)
	Constraint	Left Hand Side	Direction	Right Hand Side	Slack or Surplus	Shadow Price	Allowable Min. RHS	Allowable Max. RHS
1	h-h	972,80	<=	972,80	0	2,47	705,17	3352,52
2	Combustible	6211,47	<=	6211,47	0	0,92	2748,96	13312,77
3	viajes	353,03	>=	288,00	65,03	0	-M	353,03
4	M3 Madera	8090,20	>=	2160,00	5930,20	0	-M	8090,20

		camión1	camión2	Camión3	Camión4	Camión5	Slack_h-h	Slack_Combustible	Surplus_viajes	Surplus_M3	Artificial_viajes	Artificial_M3	R. H. S.
Basis	C(j)	15,00	15,00	30,00	30,00	12,00	0	0	0	0	0	0	
Surplus_M3	0	0	0	0	22,38	38,15	2,47	0,92	0	1,00	0	-1,00	5930,20
Surplus_viajes	0	0	0	0	1,69	1,64	0,24	0,02	1,00	0	-1,00	0	65,03
Camión3 CHIN	30,00	0,00	0,00	1,00	0,80	0,70	-0,08	0,04	0	0	0	0	186,32
camión1	15,00	1,00	1,00	0,00	1,89	1,94	0,32	-0,02	0	0	0	0	166,71
	C(j)-Z(j)	0	0	0	-22,38	-38,15	-2,47	-0,92	0	0	0	0	8090,20
	* Big M	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1,00	-1,00	0

La solución muestra, que se obtienen un total 8090.20 m<sup>3</sup> de madera, 5930.20 m<sup>3</sup> por encima del plan del mes de 2160 m<sup>3</sup>; utilizando la totalidad de h-h y el combustible disponible, realizando 353.03 viajes. Además demuestra que para cumplir el plan mínimo de 2160 m<sup>3</sup> solo es necesario utilizar 705 h-h y 27.48.96 L de combustible.

Como propuesta final (figura 8), según los resultados obtenidos, se propone emplear los camiones de 15 m<sup>3</sup>, el Kamaz y el Ural, desde el área de tala hasta la carretera y el camión Howo de 30 m<sup>3</sup> desde la carretera al aserrío.



**Figura 8.** Propuesta final. Modelo de transporte

### **Análisis post-óptimo y sensibilidad del modelo corrido**

En el modelo cuantitativo obtenido, los distintos coeficientes pueden estar sujetos a cambios post-óptimos. La solución óptima es obtenida y se analiza la posibilidad de obtención de una nueva solución óptima cuando hayan cambiado, por ejemplo, las disponibilidades de los recursos ( $m^3$ , h-h, combustible y viajes), cambio en los coeficientes tecnológicos ( $a_{i,j}$ ), incorporación de una nueva variable (Nuevo producto  $X_j$ ) y adición de una nueva restricción.

Es necesario para el tomador de decisiones conocer en qué rango se pueden mover los distintos coeficientes mencionados, manteniéndose la solución óptima.

Los coeficientes y rangos necesarios para el análisis post-óptimo se encuentran en la tabla simple final.

### **DISCUSIÓN**

Durante el análisis de las encuestas se evidencia que los servicios de transportación no son garantizados en su totalidad y son las variables que, como el estado de salud de las yuntas de bueyes, no reflejan un estado satisfactorio para cumplir con los objetivos de sus operaciones.

En el caso de la extracción de madera de acuerdo con la información obtenida, esta operación constituye una de las más costosas dentro del aprovechamiento de madera, alrededor del 20%

de los costos totales. Las máquinas y medios usados para esta operación son muy variadas, pero si la empresa no garantiza los recursos necesarios, los resultados influirán negativamente en la productividad, resultados similares los obtuvieron (Cándano 1998; Cordero 1995 y Chirguin 1994).

El tiempo de explotación registrado para el cargador fue de 83.39% y es el de mayores pérdidas de tiempo dentro de la jornada con un 16.60%, comparados con los del transporte. Estos resultados coinciden con los obtenidos por (Rivas et al. 1990).

El rendimiento promedio del transporte es de 17.78 m<sup>3</sup>/h para los cuatro vehículos que se encontraban en dicha operación. El Howo mantuvo un rendimiento de 27.14 m<sup>3</sup>/h con una diferencia promedio de 12.47 m<sup>3</sup>/h con respecto al Kamaz, el Kraz y el URAL respectivamente, provocado especialmente por la capacidad de carga del mismo que duplica a la de los demás equipos, además de ser el de mejor estado técnico, estos resultados coinciden con lo planteado por (Cándano 2000).

Los camiones Kamaz, Kraz y Ural presentan costos por encima de los 40 \$/m<sup>3</sup>, mientras el Howo presenta la tasa más baja con tan solo 21.42 \$/m<sup>3</sup>; esto valores están por debajo de rendimientos a nivel internacional y coinciden con lo planteado por (Cándano 1998), por lo que para incrementar estos valores se deberán realizar acciones encaminadas a mejorar los caminos de acceso y la capacidad de carga de los camiones.

Los costos unitarios oscilan entre los 3 \$/m<sup>3</sup>, siendo el HOWO el de menor valor tan solo con 0.69 \$/m<sup>3</sup> y el URAL el de mayor con unos 3.57 \$/m<sup>3</sup>.

## CONCLUSIONES

Como resultado se demostró que el mayor aprovechamiento en la jornada está en la labor de Transportación de la madera con 88,04%.

Se lograron disminuir los costos unitarios: tuvieron un descenso promedio de 0.30 \$/m<sup>3</sup>, que representa una disminución del 13.64 % de los costos actuales, de 2.54 \$/m<sup>3</sup> a unos 2.20 \$/m<sup>3</sup>. La productividad promedio fue de 25,16 m<sup>3</sup>/h, con una diferencia de 7.37 m<sup>3</sup>/h con respecto a los 17.79 m<sup>3</sup>/h actuales, lo que significa un 30% mayor; en cuanto a los costos en dicha operación se encuentran entre los 43,18 y 47,68 \$/h con excepción del camión HOWO con tan solo 21.42 \$/h.

El modelo de programación lineal propuesto demuestra que con tres camiones y la misma cantidad de litros de combustibles (6211,470 l) se puede transportar un total de 8090.20 m<sup>3</sup> de madera, 5930.20 m<sup>3</sup> por encima del plan mínimo de 2160 m<sup>3</sup>.

## **BIBLIOGRAFÍA**

- BARROS, O. & WEINTRAUB, A., 1982. Planning for a Vertically Integrated Forest Industry. *Operations Research*, 30(6): 1168-1182.
- BARROS, O., A. WEINTRAUB. 1982. Planning for a vertically integrated forest industry. *Operations Research* 30: 11681183.
- Cándano, F. (1998). Propuesta para el perfeccionamiento de la tecnología de aprovechamiento de la madera en rodales de *Pinus caribaea* en la provincia de Pinar del río. Tesis presentada en opción al grado científico de Doctor en ciencias forestales. UPR. Pinar del Río. 117 pp.
- Cándano, F. (2000). Os custos das operações de exploração. Monografía. Departamento de Engenharia Florestal, UFMT, Mato Grosso, Brasil. 37 p.
- Cándano, F. (2004). Aprovechamiento Forestal. pp.. 3 - 45.
- Cándano, F. 1998. Optimización de los costos de los sistemas de aprovechamiento de madera en bosques de coníferas en la provincia Pinar del Río. Tesis de Doctorado en Ciencias Forestales, Universidad de Pinar del Río, Cuba. 127 p.
- CARNIERI, C.; GAVINHO, L. G. & MAESTRI, R., 1991. Um Sistema de Planejamento Florestal. In: II Encontro de Planejamento Florestal. Anais. Curitiba.
- Cordero, W and A. Howard. (1995). Use of oxen in logging operations in rural areas of Costa Rica. IUFRO XX World Congress 6-12 August 1995. Tampere, Finland. 12 p.
- Cordero, W. (1995). Uso de bueyes en operaciones de aprovechamiento forestal en áreas rurales de Costa Rica. Estudio Monográfico de Explotación Forestal. No.3. Roma, Italia. 33 p.
- Cordero, W. y Meza, A. 1992. Algunas Notas sobre Prácticas de Aprovechamiento Forestal Mejorado. In: V Curso Intensivo Internacional de Silvicultura y Manejo de Bosques Naturales Tropicales. CATIE. 52 p.

- FAO. (1988b). Intermediate technology in forest harvesting. Agricultural tractor and Forest trailer with mechanical crone. Project: GCP/ INT/ 343/ SWE Forest Industries Division. Rome, Italy.40 p.
- FAO. 2006. La labor de la FAO (Transporte, manipulación y empaquetado de los productos forestales) disponible en: <http://www.fao.org/docrep/95511s/95511s04.htm>
- Garófalo, M. 2003. Tratamiento multicriterio en la planificación operativa del proceso de aserrado de la madera.
- LAROZE, A. 1997. Sistema Maxben 2.1. Manual del Usuario. Forestal Mininco S.A.
- LAROZE, A., B. GREBER. 1991. Multi-level harvest planning and log merchandising using goal programming, p. 24-30 in Proceedings of the 1991 Symposium on Systems Analysis in Forest Resources. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, General Technical Report SE-74. Southeastern Forest Experiment Station, Charleston, SC.
- Norma Cubana - 34 - 37: 1985. Máquinas agropecuarias y forestales: Metodología para la evaluación tecnológico-explotativa. 5 p.
- Norma Cubana -34- 38: 1985. Máquinas agropecuarias y forestales: Metodología para la evaluación económica. 8 p.

-----

**Conflicto de intereses:**

Los autores declaran no tener conflictos de intereses.

**Contribución de los autores:**

Los autores han participado en la redacción del trabajo y análisis de los documentos.