

# PLANIFICACION DE LA COSECHA MECANIZADA DE MONTES DE *PINUS* SPS. EN AREAS SUBTROPICALES

## HARVESTING PLANNING FOR *PINUS* SPS. PLANTATIONS IN SUBTROPICAL AREAS

Patricio M. Mac Donagh<sup>1</sup>, Jorge R. Malinovski<sup>2</sup> y Edilson de Oliveira<sup>3</sup>

### RESUMEN

El presente trabajo presenta una forma de planificación de la cosecha de madera para plantaciones a nivel industrial de *Pinus taeda* (L.) en su área de mayor difusión en el Mercosur. Para esto se emplean las simulaciones elaboradas a partir del SisPinus, rendimientos obtenidos con las empresas, y dos metodologías de costo horario. Se plantean dos densidades iniciales (2000 y 2500 pl/ha) con dos regímenes de manejo para tres calidades de sitio. El trabajo abarca unas 3200 ha, considerando 200 ha por rodal. Los destinos considerados son laminado, aserrado y celulosa. El sistema de aprovechamiento fue definido en corte con motosierra, extracción con tractor agrícola, desrame en reja, trozado en patio de acumulación, carga mecanizada, y transporte con camión y acoplado. A partir de los resultados obtenidos se concluye que el SisPinus es una herramienta válida para la planificación de la cosecha. Las diferencias en las metodologías del costo horario se atribuyen a la forma de amortización de los medios de producción. Entre cada una de las operaciones realizadas la de mayor costo fue el transporte, seguida de la extracción, el corte y finalmente la carga. En estas condiciones el costo por metro cúbico es independiente de los regímenes estudiados, y varía en función de la calidad de sitio y del sistema de manejo empleado. Consecuentemente se necesita el mismo número de medios de producción para 2000 que para 2500 pl/ha.

### ABSTRACT

This work presents a harvesting planning form for pine plantations (*Pinus taeda* L.) to be applied in the Mercosur area. Growing simulation are employed through the SisPinus program, yields from private firms, and two methodologies for the hourly cost. Two initial densities (2000 and 2500 plants per hectare), with two management for three sites qualities, are the initial situation for this study. The total working area is about 3200 hectares, considering 200 hectares by each treatment. The destiny of the wood will be pulp, sawnwood and plywood. The harvesting system was define by cut with chainsaw, logging with agricultural tractor, gate delimiting, crosscut in the yield, mechanized load and transport with truck and boogie. The results indicate that the SisPinus is an appropriate tool for harvesting planing. The differences in the hourly cost methodologies are retaliated with the depreciation form. Among the operations the bigger cost was the transport, followed by the extraction, the cut and finally the load. In this conditions the cubic meter cost is independent of the densities, and varies with the site qualities and with the management. So the two densities studied employ the same number of machines and workers.

Palabras índices adicionales: Cosecha de madera, planificación, mecanización.

Recepción: 29-09-95  
Aprobación: 05-06-96

<sup>1</sup>Profesor Adjunto, Departamento de Silvicultura, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad Nacional de La Plata, CIC PBA, calle 60 y 118, La Plata, C.P. 1900, Argentina.

<sup>2</sup>Profesor Titular, Departamento de Silvicultura y Manejo, Sector de Ciencias Agrarias, Universidad Federal do Paraná, Curitiba, Paraná, Brasil.

<sup>3</sup>Investigador EMBRAPA, Curitiba, Paraná, Brasil.

## INTRODUCCION

En el proceso de producción forestal la cosecha de madera representa la fase de producción mecánica y es el eslabón de unión entre la fase de producción biológica y la fase de producción industrial. En este sentido trabaja con variables ambientales, locales, antrópicas, físicas y económicas intentando cumplir requisitos preestablecidos de tipo industrial, económico-financieros y empresariales.

De esta manera la globalización de la economía y de los procesos, el aumento de competencia a nivel internacional, y la determinación de patrones de calidad son factores determinantes a la hora de la toma de decisiones.

Dadas las características propias de la producción forestal como son grandes volúmenes de madera de un relativo bajo valor individual, que precisan ser cortados y transportados del bosque hasta la industria con el requisito de cumplir con un abastecimiento homogéneo a lo largo del año, el costo por unidad debería ser el más bajo posible.

Según Conway (1976) el objetivo primario de la explotación forestal es la economía de las operaciones.

En este contexto el planeamiento operacional busca anticipar los problemas y establecer rutinas y alternativas que lleven al cumplimiento de las metas de producción.

Existen trabajos de sistematización, con su respectivo programa de computación, para fases parciales de la cosecha. Uno de los más desarrollados se refiere al transporte, a partir del algoritmo SIMPLEX, de programación lineal, y conocido como el "problema del transporte" (Buongiorno y Giles, 1987). Además se pueden mencionar trabajos como el SIBRACEF (Machado, 1989), basado en análisis multivariado, y el de Seixas F. (1992). Ambos trabajos permiten la elección de la composición de la flota de transporte más adecuada. Para la optimización de la extracción con skidder el programa conocido como "SKID PC" (Olsen y Gibbons, 1983) basa su funcionamiento en la elección de un número restringido de tractores (seis), la caracterización del suelo por el índice de cono, y pondera la pendiente y la distancia por cada uno de los tramos transitados.

En lo que respecta al análisis de sistemas, existen programas que son aplicables local-

mente, y para sistemas pre-definidos (Koger, 1988; Sessions y Sessions, 1986). En el caso de su aplicación a los sistemas de cosecha forestal más comúnmente usados en plantaciones de *Pinus* sps. en áreas subtropicales existen datos parciales, con metodologías disímiles, lo cual complica la planificación (Moreira, 1992; Hakkila y col., 1992).

El objetivo de este trabajo es presentar una planificación de la cosecha de madera para plantaciones de *Pinus taeda* (L.) en situaciones del sur de Brasil y NE de Argentina que visan un abastecimiento a nivel industrial. Como objetivos particulares se destacan la utilización de un sistema de simulación de crecimiento y rendimientos forestales (SisPinus) para el planeamiento de la cosecha de madera, y la demostración de la influencia de los costos y de la inversión necesaria en la elección de los regímenes de manejo y densidades iniciales considerados.

## MATERIALES Y METODOS

### 1.1. Area de estudio

El área de estudio se corresponde con plantaciones de *Pinus taeda* (L.) con fines industriales. En este sentido la superficie total de la explotación fue determinada en 3200 ha, considerando de 200 ha por rodal, y un 6 % de superficie destinada a caminos.

### 1.2. Plan de manejo

Para esta simulación fueron elegidas dos densidades iniciales, tres sitios, y dos manejos, a saber:

Densidades: 2000 pl/ha y 2500 pl/ha.

Sitios: 16, 21, 26 correspondientes a las curvas altura/edad EMBRAPA/CNPF (Oliveira, E., y Oliveira, Y., 1991).

Manejos:

a) Para la situación de 2000 pl/ha raleos a los 9, 12 y 16 años y corta final a los 22.

b) Para 2500 pl/ha raleos 7, 10, 13 y 16 años y corta final a los 22.

En los dos manejos el primer raleo fue sistemático cada 3 hileras, y selectivo al 30 % en las restantes.

Una restricción importante del SisPinus (Oliveira, E., y Oliveira, Y., 1991) es que consi-

dera una sobrevivencia inicial de 100 %. La elección de estos tipos de manejo se basó en el relavamiento realizado por Malinovski y Fenner (1991).

### 1. 3. Planeamiento de la infraestructura

En lo que se refiere al clima el número de días posibles de trabajo a campo es de 220, sin fuertes restricciones en lo que respecta al calor. Las restricciones del relieve están relacionadas al sistema de cosecha adoptado, con un límite de pendiente positiva del orden del 30%; por encima de este nivel los tractores agrícolas aquí considerados no tienen operatividad.

En lo que respecta al destino de la madera se definen las dimensiones comerciales de la siguiente manera: laminado diámetro mínimo mayor a 25 cm con corteza (c/c); aserradero diámetro mínimo mayor a 15 cm c/c, y celulosa diámetro mínimo mayor a 8 cm c/c; el resto es considerado energía.

### 1. 4. Definición del sistema de cosecha

El corte es realizado con motosierra de acuerdo a la metodología Nordfor (Narkonen, 1982), con caída direccionada; el mismo motosierrista efectúa el desrame. La extracción es realizada por tractores agrícolas adaptados que poseen una garra para la manipulación de la madera. El trozado es realizado en el patio por un motosierrista. La carga con tractores agrícolas con grúa hidráulica. El transporte secundario con camiones de tipo 6\*4 con remolque de dos ejes.

Este sistema fue adoptado por ser uno de los más comunes en el sur de Brasil y en el NE de Argentina, y por poseer parte de sus datos en relavamiento realizado por Malinovski y Fenner (1991). Para el presente artículo se compararán los costos horarios obtenidos a través de las empresas encuestadas por Malinovski y Fenner (1991) y los elaborados según la metodología FAO/ECE/KWF (Malinovski, 1983).

Los rendimientos fueron basados en el mismo levantamiento (Malinovski y Fenner, 1991) con la salvedad de que estos datos eran promedios, lo que condujo a realizar estimaciones ponderadas a un nivel más detallado para cada una de las operaciones.

#### 1. 4. 1. Volteo

Para la estimación de los rendimientos se emplearon los diámetros medios obtenidos por el SisPinus y valores de la literatura (Santanna, 1989; Malinovski y Fenner, 1991; Moreira, 1992; Hakkilap *et al.*, 1992), asumiendo que todos los motosierristas recibieron un entrenamiento adecuado. Los costos por metro cúbico y al costo horario de la motosierra los datos fueron extraídos del Sistema III del trabajo de Malinovski y Fenner (1991), donde se emplea una motosierra Husqvarna 162 SG®; para los cálculos según la metodología FAO/ECE/KWF (Malinovski, 1983) se utilizó una motosierra Sthill 034®.

#### 1. 4. 2. Transporte primario

La distancia media de extracción del Sistema III (S III) es de 110 metros. Los valores mencionados, de la literatura (Hakkilap *et al.*, 1992; Santanna, 1989) varían de 110 a 150 metros. Para este análisis se asume una distancia media de extracción de 110 metros. Los rendimientos fueron estimados en función de los datos simulados de altura media comercial y volumen comercial. Estos valores estimados fueron corregidos con datos de la literatura (Oliveira y Oliveira, 1991; Malinovski y Fenner, 1991; Moreira, 1992; Hakkilap *et al.*, 1992).

En el S III la extracción es realizada con tractor agrícola Valmet® convencional (4\*2) con potencia de 73 KW con garra hidráulica trasera y lámina frontal. El costo horario calculado según la metodología FAO/ECE/KWF (Malinovski, 1983) fue desarrollado para un tractor de 73 KW cv similar al anterior.

#### 1. 4. 3. Patios

En el sistema adoptado una de las tareas a realizar en el patio es el trozado de la madera que en este caso es llevado a cabo por un operario con motosierra más un ayudante. El rendimiento en S III fue de 6,6 m<sup>3</sup>/hora y el costo de 0,17 \$/m<sup>3</sup>. En la literatura revisada los datos que existen acerca de rendimientos del trozado en los patios son similares a los aquí expresados (Moreira, 1992; Malinovski y Fenner, 1991; MacDonagh, 1994).

#### 1. 4. 4. Carga

En el S III, y en este análisis es realizado con un tractor agrícola Valmet® de 59 KW de diseño convencional adaptado con una grúa hidráulica. Para la estimación de los rendimientos fue realizada una media ponderada según productos: para laminación y aserradero 30 m<sup>3</sup>/hora, y para celulosa y energía 20 m<sup>3</sup>/hora. El costo horario fue estimado en 20 \$/hora.

#### 1. 10. Transporte

El transporte en el S III es realizado por contratistas, con un camión tipo 4\*2 de 15 Tn de capacidad de carga, con 3,2 m<sup>3</sup>/hora de rendimiento y un costo de 2,85 \$/m<sup>3</sup>. Para esta simulación la composición elegida fue de un camión tipo 6\*4 con un remolque de 2 ejes. Los valores de rendimientos señalados son compatibles con la distancia de transporte (30 km). Los datos fueron referenciados en base a los trabajos de Moreira (1987), Borges (1987), Duratex (1987), Sella y Carvalho (1989) y Hakila *et al.* (1992). Los costos horarios por la metodología FAO/ECE/KWF (8) fueron para la composición antes mencionada de 31,19 \$/hora. El rendimiento fue elaborado a partir de una media ponderada en función de los productos con variaciones de 12 m<sup>3</sup>/hora para aserrado y laminado y 10 m<sup>3</sup>/hora para celulosa. La capacidad de carga se estimó en función de los pesos recomendados por ejes (Vargas, 1989).

Para dimensionar el número de equipos necesarios se realizó un Análisis de Sistemas, de acuerdo al número de horas anuales de trabajo para cada operación y considerando 200 has por rodal. En este caso los rendimientos utilizados corresponden a los promedios de cada operación especificados en la Tabla 2.

## RESULTADOS

Las Tablas 1 y 6 muestran los resultados dasométricos elaborados por el SisPinus para densidades de 2000 y 2500 plantas por hectárea. Las Tablas 2 y 7 presentan la estimación de los rendimientos de las operaciones de cosecha relacionadas por sitio y por intervención para las dos densidades analizadas. Según el

Tabla 1: Características dasométricas del rodal para una densidad de 2000 pl/ha.

Sitio	Año interv.	Arb. cort.	$\overline{DAP}$ (cm)	$\overline{H}$ (m)	$\overline{V}$ (m <sup>3</sup> )	Vol/la/as (m <sup>3</sup> )	Vol/ce/re (m <sup>3</sup> )	V <sub>T</sub> (m <sup>3</sup> )
16	9	796	11,40	8,12	0,05	7,00	30,10	37,10
16	12	361	12,54	9,50	0,06	2,70	18,00	20,70
16	16	247	17,34	12,89	0,15	18,80	17,30	36,10
16	22	589	26,12	19,08	0,49	253,20	34,40	287,60
21	9	782	14,31	11,57	0,09	34,30	42,70	77,00
21	12	352	15,11	13,42	0,12	14,80	25,70	40,50
21	16	235	20,62	17,97	0,28	47,80	19,00	66,80
21	22	574	30,87	25,62	0,91	486,30	34,40	520,70
26	9	717	17,03	14,95	0,18	78,50	48,50	127,00
26	12	319	16,89	17,30	0,18	30,00	28,70	58,70
26	16	215	22,93	23,00	0,44	77,50	17,60	95,10
26	22	559	34,34	31,95	1,40	748,20	35,40	783,60
Totales						1799,10	351,80	2150,90

Observaciones: Año interv.= año de intervención; Arb. cort.= árboles cortados;  $\overline{DAP}$  = diámetro medio;  $\overline{H}$  = altura media;  $\overline{V}$  = Volumen medio; Vol/la/as= Volumen destinado a laminado y aserrado; Vol/ce/re= Volumen destinado a celulosa y residuos; V<sub>T</sub> = Volumen total.

S III (Malinovski y Fenner, 1991) los rendimientos fueron: corte 2,25 m<sup>3</sup>/hora, extracción 6,6 m<sup>3</sup>/hora carga 42 m<sup>3</sup>/hora; y transporte 3,2 m<sup>3</sup>/hora. Las Tablas 3 y 8 expresan para cada caso los costos por metro cúbico de acuerdo a los costos horarios obtenidos en las empresas. Estos costos fueron 3,67 \$/hora para la motosierra, 11,88 \$/hora para el tractor agrícola modificado, 15 \$/hora para el camión y 12 \$/hora para el cargador.

Tabla 2: Rendimientos (m<sup>3</sup>/h) de las operaciones para la densidad de 2000 pl/ha.

Sitio	Año int.	Corte	Extracción	Carga	Transporte
16	9	2,00	5,00	21,80	8,70
16	12	2,00	7,00	21,30	8,50
16	16	4,00	10,00	25,10	10,10
16	22	8,00	15,00	28,80	11,50
21	9	2,00	5,00	24,50	9,80
21	12	3,00	8,00	23,60	9,40
21	16	5,00	12,00	27,20	10,90
21	22	10,00	15,00	29,30	11,70
26	9	2,50	6,00	26,20	10,40
26	12	3,50	10,00	25,20	10,10
26	16	7,00	15,00	28,10	11,30
26	22	12,00	18,00	29,50	11,80
Medias		5,08	10,50	25,88	10,35

Observaciones

Año int. = año donde fue realizada la intervención.

Tabla 3: Costos operativos según datos de las empresas (\$/m<sup>3</sup>) para 2000 pl/ha.

Sitio	Año int.	Corte	Extrac.	Carga	Transp.	Total
16	9	1,84	2,37	0,55	1,72	6,48
16	12	1,84	1,69	0,56	1,77	5,86
16	16	0,92	1,19	0,48	1,49	4,07
16	22	0,46	0,79	0,42	1,30	2,97
21	9	1,84	2,37	0,49	1,53	6,23
21	12	1,22	1,48	0,51	1,59	4,81
21	16	0,73	0,99	0,44	1,38	3,54
21	22	0,37	0,79	0,41	1,28	2,85
26	9	1,47	1,98	0,46	1,44	5,35
26	12	1,05	1,19	0,47	1,49	4,19
26	16	0,52	0,79	0,43	1,33	3,07
26	22	0,31	0,66	0,41	1,27	2,64
Medias		1,05	1,36	0,47	1,47	4,34

Observaciones

Año int. = año donde fue realizada la intervención.

En las Tablas 4 y 9 los costos horarios son calculados con la metodología FAO/ECE/KWF (Malinovski, 1983). Los valores obtenidos fueron de 4,4 \$/hora para la motosierra, 23,4 \$/hora para el tractor agrícola modificado, 31,2 \$/hora para el camión y el costo del cargador fue estimado en 20 \$/hora.

Tabla 4: Costos operativos según la metodología FAO/ECE/KWF (\$/m<sup>3</sup>) para 2000 pl/ha.

Sitio	Año int.	Corte	Extrac.	Carga	Transp.	Total
16	9	2,20	4,68	0,92	3,59	11,38
16	12	2,20	3,34	0,94	3,67	10,15
16	16	1,10	2,34	0,79	3,09	7,33
16	22	0,55	1,56	0,69	2,71	5,52
21	9	2,20	4,68	0,82	3,18	10,88
21	12	1,47	2,93	0,85	3,32	8,56
21	16	0,88	1,95	0,74	2,86	6,43
21	22	0,44	1,56	0,68	2,67	5,35
26	9	1,76	3,90	0,76	3,00	9,42
26	12	1,26	2,34	0,79	3,09	7,48
26	16	0,63	1,56	0,71	2,76	5,66
26	22	0,37	1,30	0,68	2,64	4,99
Medias		1,25	2,68	0,78	3,05	7,76

Observaciones

Año int. = año donde fue realizada la intervención.

De la Tabla 5 surge que la demanda a satisfacer con 2000 pl/ha es de 430180 metros cúbicos, mientras que en el caso de 2500 pl/ha la demanda es de 429060 metros cúbicos (Tabla 10).

Tabla 5: Análisis de Sistemas para 2000 pl/ha.

	Rendim. (m <sup>3</sup> /h)			
Horas anuales	2200	2000	1800	1600
Vol. Total (m <sup>3</sup> )	430180	430180	430180	430180
1. Transporte	10,50	23100	21000	18900
1.1. N° equipos		18,62	20,49	22,76
2. Carga	25,90	56980	51800	46620
2.1. N° equipos		7,55	8,31	9,23
3. Extracción	10,50	23100	21000	18900
3.1. N° equipos		18,62	20,49	22,76
4. Corte	5	11000	10000	9000
4.1. N° equipos		39,11	43,02	47,79

## DISCUSION

De las Tablas 2 y 3 para 2000 pl/ha y 8 y 9 para 2500 surge la influencia del costo horario de la maquinaria en el valor del costo total por metro cúbico (C.T.). En el caso de 2000 pl/ha la diferencia de los promedios fue de 4,13 \$/m<sup>3</sup> para las empresas contra 7,76 \$/m<sup>3</sup> de los valores calculados. El valor de 4,13 \$/m<sup>3</sup> de la Tabla 2 es coincidente con el valor del denominado S III de 4,66 \$/m<sup>3</sup> (Malinovski y Fenner, 1991). Si se comparan con los datos de la literatura (Moreira, 1987; Hakkila et al., 1992), estos valores no coinciden. Las diferencias también fueron marcadas para los promedios de los costos totales en el caso de 2500 pl/ha, 4,51 \$/m<sup>3</sup> para los datos de las empresas y 8,03 \$/m<sup>3</sup> para los calculados. Los trabajos revisados que mencionan los costos de las empresas no siempre los discriminan, y cuando lo hacen estas diferencias pueden atribuirse a los seguros, en la inclusión o no de la tasa de interés y fundamentalmente a la amortización de los equipos. Esto se demuestra gráficamente a tra-

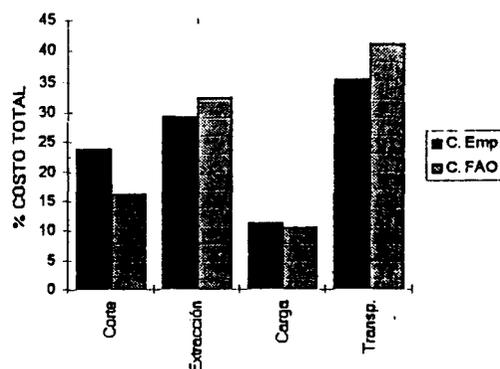


Figura 1: Variaciones del porcentaje del costo total para 2000 pl/ha en función de las metodologías empleadas. Donde: C. Emp.: Costo horario según datos de las empresas. C. FAO: Costo horario según datos de la metodología FAO/ECE/KWF. Transp.: Transporte.

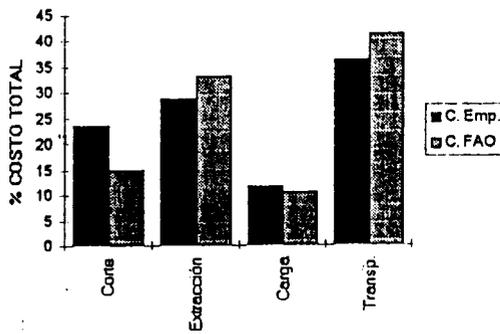


Figura 2: Variaciones del porcentaje del Costo total para 2500 pl./ha en función de las metodologías empleadas. Donde: C. Emp.: Costo horario según datos de las empresas. C. FAO: Costo horario según datos de la metodología FAO/ECE/KWF. Transp.: Transporte.

vés de las Figs. 1 y 2, correspondientes a cada una de las densidades evaluadas donde se comparan las metodologías de costos mencionadas.

Las diferencias de costo total de la madera entre la situación de 2000 y 2500 pl/ha son mínimas: 7,76 y 8,03 \$/m<sup>3</sup> respectivamente. Esto también sucede para cada una de las operaciones realizadas, tal como lo muestra la Fig. 3.

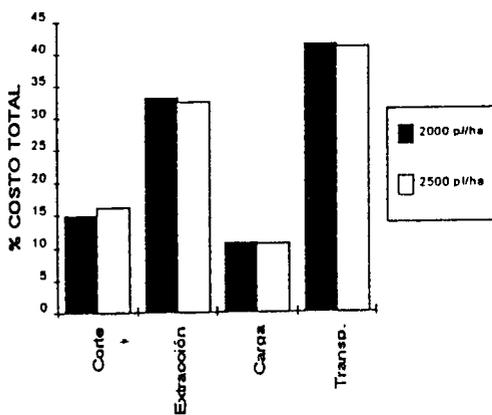


Figura 3: Variaciones del porcentaje del costo total para las densidades iniciales de 2000 y 2500 plantas por hectárea. Donde: Transp.: Transporte.

Del análisis de las Figs. 1 a 3 se desprende que independientemente de la densidad, o de la metodología de costo empleada, puede considerarse a la operación de transporte como la más onerosa (40 % del C.T.), seguida de la de extracción (30 % del C.T.). Ahora si comparamos las alternativas de costo horario aquí ana-

lizadas (Figs. 1 y 2), vemos que tanto para 2000 como para 2500 pl/ha la operación de corte es más cara según las empresas; mientras que extracción y transporte son más caras según FAO. Esto es lo que induce a pensar en diferencias importantes en lo que se refiere a la amortización de equipos, lo cual provocaría dificultades en los procesos de mecanización por parte de las empresas forestales.

Si se compara el volumen total a cortar en el año X (430090 m<sup>3</sup>) para 2000 pl/ha de densidad inicial con el de 2500 pl/ha (429060 m<sup>3</sup>), la diferencia es de 1030 m<sup>3</sup>, que puede explicarse por el mayor número de raleos en el caso de 2500 pl/ha, aunque en términos porcentuales sólo corresponden al 0,2 % del total del volumen a cortar en el caso de 2000 pl/ha. Estas diferencias de volumen total a ser cortado son relevantes en la toma de decisiones porque la

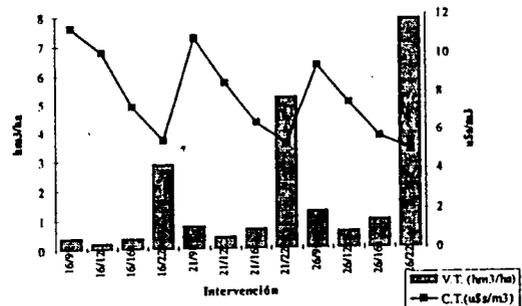


Figura 4: Variaciones del costo por metro cúbico para la situación de 2000 pl./ha en relación a las intervenciones y a los volúmenes producidos. Donde: V.T.: Volumen total en hectómetros cúbicos por hectárea cortados en cada intervención. C.T.: Costo Total en dólares estadounidenses por metro cúbico.

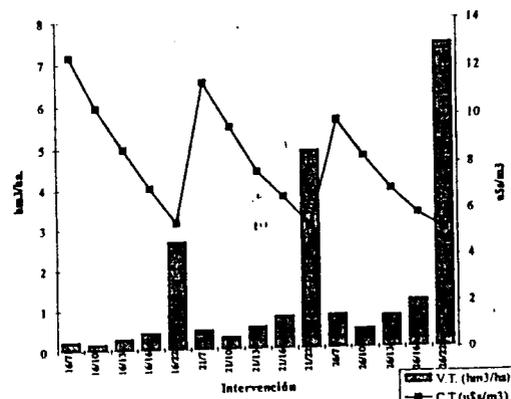


Figura 5: Variaciones del costo por metro cúbico para la situación de 2000 pl./ha en relación a las intervenciones y a los volúmenes producidos. Donde: V.T.: Volumen total en hectómetros cúbicos por hectárea cortados en cada intervención. C.T.: Costo Total en dólares estadounidenses por metro cúbico.

inversión para la plantación es bien diferente, entonces la programación financiera que sería la razón del mayor número de intervenciones deberá tener en cuenta la planificación de la explotación y sus costos. Esto es ilustrado en las Figs. 4 y 5 que representan las variaciones del costo por metro cúbico de madera, para cada intervención por cada sistema de manejo, en relación al volumen de madera producido en dicha operación.

Tabla 6: Características dasométricas para la densidad 2500 pl/ha.

Sitio	Año interv.	Arb. cort.	DAP (cm)	H (m)	V (m <sup>3</sup> )	Vol/la/as (m <sup>3</sup> )	Vol/ce/re (m <sup>3</sup> )	V <sub>T</sub> (m <sup>3</sup> )
16	7	998	8,99	6,51	0,02	0,20	22,50	22,70
16	10	450	10,66	8,08	0,04	0,50	15,10	15,60
16	13	314	14,90	10,99	0,09	7,70	20,50	28,20
16	16	233	18,63	13,69	0,18	25,10	16,40	41,50
16	22	502	27,16	19,26	0,53	238,40	28,30	266,70
21	7	993	11,35	9,01	0,05	8,70	39,50	48,20
21	10	437	12,95	11,44	0,07	6	25,30	31,30
21	13	304	17,89	15,06	0,18	30,10	25,20	55,30
21	16	229	22,22	18,60	0,35	62,10	17,40	79,50
21	22	493	32,18	25,73	0,99	459,70	28,10	487,80
26	7	927	13,59	11,89	0,09	31,40	51,70	83
26	10	406	14,57	14,79	0,12	14,80	32	46,80
26	13	282	19,93	19,37	0,29	55	25,50	80,50
26	16	216	24,89	22,69	0,54	101,90	15,80	117,70
26	22	483	35,82	32,16	1,53	710,90	29,50	740,40
Totales						1799,10	392,80	2191,90

Observaciones: Año interv. = año de intervención; Arb. cort. = árboles cortados; DAP = diámetro medio; H = altura media; V = Volumen medio; Vol/la/as = Volumen destinado a laminado y aserrado; Vol/ce/re = Volumen destinado a celulosa y residuos; V<sub>T</sub> = Volumen total.

Puede observarse la tendencia de las dos curvas representativas de los costos: cuanto mayor el volumen de madera cosechado menor el costo, tal es así que el menor valor obtenido corresponde a la corta final de las 2000 pl/ha con 783,6 m<sup>3</sup> producidos a un costo de 4,99 \$/m<sup>3</sup>.

De las Tablas del Análisis de Sistemas (5 y 10) se desprende el número de equipos necesarios, tomando como punto de partida el volumen total de corta en el año X. La opción del número de horas quedó en 1800 para corte, extracción y carga, y 2000 para transporte.

Si se relacionan el volumen que va a ser cortado en cada intervención y el número de equipos en función del Análisis de Sistemas resulta que los equipos necesarios para cada una de las situaciones consideradas es prácti-

Tabla 7: Rendimientos (m<sup>3</sup>/hora) de las operaciones para la densidad de 2500 pl/ha.

Sitio	Año int.	Corte	Extrac.	Carga	Transp.
16	7	1,8	4,5	20,20	8,10
16	10	2	7	20,30	8,10
16	13	2,5	9	22,70	9,10
16	16	3,5	12	25,90	10,40
16	22	8	15	28,90	11,60
21	7	2	5	21,80	8,70
21	10	2,5	7	21,90	8,80
21	13	3	10	25,40	10,10
21	16	4	12	27,80	11,10
21	22	10	15	29,40	11,80
26	7	2,5	6	23,80	9,50
26	10	3	9	23,20	9,30
26	13	4	11	26,80	10,70
26	16	6	14	28,70	11,50
26	22	12	16	29,60	11,80
Medias		4,45	10,17	25,09	10,04

Donde:

Año int. = año de intervención.

Tabla 8: Costos operativos según datos de las empresas (\$/m<sup>3</sup>) para 2500 pl/ha.

Sitio	Año int.	Corte	Extrac.	Carga	Transp.	Total
16	7	2,04	2,64	0,59	1,85	7,12
16	10	1,84	1,69	0,59	1,85	5,97
16	13	1,47	1,32	0,53	1,65	4,96
16	16	1,05	0,99	0,46	1,44	3,94
16	22	0,46	0,79	0,42	1,29	2,96
21	7	1,84	2,37	0,55	1,72	6,48
21	10	1,47	1,69	0,55	1,71	5,42
21	13	1,22	1,19	0,47	1,49	4,37
21	16	0,92	0,99	0,43	1,35	3,69
21	22	0,37	0,79	0,41	1,27	2,84
26	7	1,47	1,98	0,50	1,58	5,53
26	10	1,22	1,32	0,52	1,61	4,67
26	13	0,92	1,08	0,45	1,40	3,85
26	16	0,61	0,85	0,42	1,30	3,18
26	22	0,31	0,74	0,41	1,27	2,72
Medias		1,15	1,36	0,49	1,52	4,51

Observaciones

Año int. = año donde fue realizada la intervención.

camente el mismo, a excepción de los equipos de corte, 48 para 2000 pl/ha y 53 para 2500 pl/ha.

Ya que el costo de plantación es mayor para altas densidades, y que en este estudio el volumen total es prácticamente el mismo, teniendo el mismo costo por metro cúbico, y la misma inversión en la cosecha, no tendría sentido optar por la densidad de 2500 pl/ha.

La Fig. 6 representa el número de medios de producción necesarios por cada operación y por cada intervención, en donde se observa que la operación de corte es la que absorbe

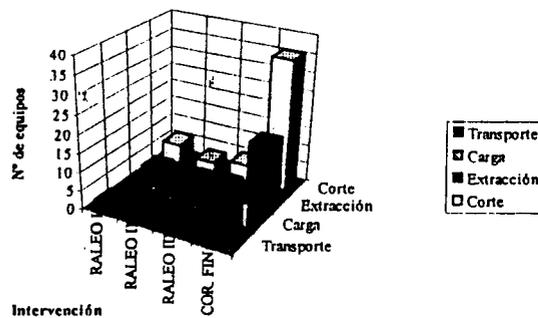


Figura 6: Disposición de los medios de producción por intervención y por operación para la situación de 2000 pl/ha.

mayor cantidad de mano de obra, seguida de las de extracción y de transporte. En cuanto a las intervenciones, es la corta final la que emplea más medios de producción en todas las operaciones.

Tabla 9: Costos operativos según la metodología FAO/ECE/KWF (\$/m<sup>3</sup>) para 2500 pl/ha.

Sitio	Año int.	Corte	Extrac.	Carga	Transp.	Total
16	7	2,44	5,20	0,99	3,85	12,49
16	10	2,20	3,34	0,98	3,85	10,38
16	13	1,76	2,60	0,88	3,43	8,67
16	16	1,26	1,95	0,77	3,00	6,98
16	22	0,55	1,56	0,69	2,69	5,49
21	7	2,20	4,68	0,92	3,59	11,38
21	10	1,76	3,34	0,91	3,55	9,56
21	13	1,47	2,34	0,79	3,09	7,68
21	16	1,10	1,95	0,72	2,81	6,58
21	22	0,44	1,56	0,68	2,64	5,32
26	7	1,76	3,90	0,84	3,28	9,78
26	10	1,47	2,60	0,86	3,36	8,28
26	13	1,10	2,13	0,76	2,92	6,89
26	16	0,73	1,67	0,69	2,71	5,82
26	22	0,37	1,46	0,68	2,64	5,15
Medias		1,37	2,69	0,81	3,16	8,03

Observaciones

Año int. = año donde fue realizada la intervención.

Tabla 10: Análisis de Sistemas para 2500 pl/ha.

	Rendimientos (m <sup>3</sup> /h)			
	2200	2000	1800	1600
Horas anuales				
Vol. Total (m <sup>3</sup> )	429060	429060	429060	429060
1. Transporte	10,04	22088	20080	18072
1.1 N° equipos		19,43	21,37	23,74
2. Carga	25,09	55198	50180	45162
2.1 N° equipos		7,77	8,55	9,50
3. Extracción	10,2	22440	20400	18360
3.1 N° equipos		19,12	21,03	23,37
4. Corte	4,5	9900	9000	8100
4.1 N° equipos		43,34	47,67	52,97

## CONCLUSIONES

- El SisPinus es una importante herramienta para la investigación de sistemas de cosecha, y puede proveer datos en cantidad y calidad suficientes para trabajos de planeamiento.
- La metodología de elaboración del costo horario y la forma de amortización pueden llegar a alterar sustancialmente el valor final de la madera. Es importante llegar a una metodología común de entendimiento.
- El transporte con camión del tipo 6 por 4 es la operación más cara, seguida de la extracción con tractor agrícola, luego el corte con motosierra, y finalmente la carga con tractor agrícola modificado.
- El costo por metro cúbico promedio es independiente de los dos regímenes de manejo estudiados, y varía fundamentalmente en función de la cantidad de madera producida. Consecuentemente, es dependiente de la calidad de sitio y del sistema de manejo empleado.
- Del Análisis de Sistemas se concluye que se requiere el mismo número de equipos para 2000 pl/ha que para 2500, siendo que el volumen total al año x es menor para la mayor densidad.
- En la situación de 2000 pl/ha es la operación de corte la que demanda mayor número de medios de producción, seguida del transporte, luego por la extracción y finalmente la carga. En lo que se refiere a las intervenciones, es el último corte quien absorbe la mayor cantidad de mano de obra.
- Se concluye también la importancia de trabajar con datos locales para poder obtener resultados más confiables. De cualquier manera la metodología es adecuada para la toma anticipada de decisiones, y es posible de sistematizar.

## LITERATURA CITADA

- BORGES J.F. 1987. A exploração de reflorestamentos na região amazônica. Simposio sobre Exploração, Transporte, Ergonomia e Segurança em Reflorestamentos. Curitiba, Brasil. pp 149-162.

2. BUONGIORNO J. and GILLES J. 1987. Forest Management and Economics. Ed. Macmillan, New York. 269 pp.
3. CONNWAY S. 1976. Logging Practices. Miller Freeman. San Francisco. 416 pp.
4. DURATEX. 1987. Racionalização das operações florestais de exploração em florestas de eucalipto. Simposio sobre Exploração, Transporte, Ergonomia e Segurança em Reflorestamentos. Curitiba, Brasil. pp 187-197.
5. HAKKILA P.; MALINOVSKI J. and SIREN M. 1992. Feasibility of logging mechanization in Brazilian forest plantations. Finnish Forest Research Institute. 68 pp.
6. KOGER J. 1988. Skidding, Trucking, and Landing Simulation. Dept. of Forest Resources. Mississippi State University.
7. MACDONAGH P. 1994. Avaliação tecnico-economica da extração de *Pinus* spp. utilizando tratores com garra no Sul do Brasil. Tesis de Maestría. Universidade Federal do Paraná. Brasil.
8. MALINOVSKI J. 1983. Metodologia do custo hora para maquinas florestais. IV Curso de Atualização sobre Sistemas de Exploração e Transporte Florestal. Curitiba, Brasil. pp 57-70.
9. MALINOVSKI J. Y FENNER P. 1991. Levantamento e análise dos Sistemas de Exploração utilizados em povoamentos de *Pinus* spp. no sul do Brasil. FUPEF do Paraná. 65 pp.
10. MOREIRA M. 1987. A utilização do transporte pesado em curtas distancias. Simposio sobre Exploração, Transporte, Ergonomia e Segurança em Reflorestamentos. Curitiba, Brasil. pp 218-238.
11. MOREIRA M. 1992. O desenvolvimento da mecanização na exploração florestal sob a ótica dos custos. VII Seminario de Atualização sobre Sistemas de Exploração e Transporte Florestal. Curitiba, Brasil. pp 161-171.
12. MACHADO C. 1989. SIBRACEF. Tesis Doctoral. Universidade Federal do Paraná. Brasil. 188 pp.
13. NARKONEN P. 1982. La motosierra: uso y mantenimiento. Asociación Forestal Nacional de Suecia. 67 pp.
14. OLIVEIRA E. e OLIVEIRA Y. 1991. SisPinus Desenvolvimento e perspectivas. Encontro Brasileiro de Planejamento e Economia Florestal, 2. Curitiba.
15. OLSEN E. and GIBBONS D. 1983. Predicting Skidder Productivity: A mobility model. Research Bulletin 43. Forest Research Lab. Oregon State University.
16. SANTANNA M. 1989. O planejamento florestal em exploração florestal com alto nivel de mecanização. VI Seminario de Atualização sobre Sistemas de Exploração e Transporte Florestal. Curitiba, Brasil. pp 23-36.
17. SEIXAS F. 1992. Uma metodologia de seleção e dimensionamento da frota de veiculos rodoviaros para o transporte principal da madeira. Tesis doctoral. Escola de Engenharia de Sao Carlos. USP. 106 pp.
18. SELLA R. y CARVALHO L. 1989. O planejamento da infraestrutura para o transporte florestal pesado. VI Seminario de Atualização sobre Sistemas de Exploração e Transporte Florestal. Curitiba, Brasil. pp 100-132.
19. SESSIONS J. and SESSIONS J.B. 1986. PACE, Production and Cost Evaluation Program.
20. VARGAS V. 1989. A adequação de planejamento para o transporte florestal. VI Seminario de Atualização sobre Sistemas de Exploração e Transporte Florestal. Curitiba, Brasil. pp 173-216.