

# **PLANIFICACIÓN DE CAMINOS FORESTALES EMPLEANDO SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICOS EN MISIONES, ARGENTINA.**

## **FOREST ROADS PLANNING WITH GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEMS IN MISIONES, ARGENTINA.**

**Luis Dalprá <sup>(1)</sup>**  
**Patricio Mac Donagh <sup>(2)</sup>**

(1) Ing. Forestal, Petrobras Energía, ldalpra@petrobrasenergia.com

(2) Profesor, Facultad de Ciencias Forestales, mdonagh@facfor.unam.edu.ar

### **SUMMARY**

The objective of the present work was to estimate the economic impact of the density and cost of maintenance of different types of roads on the cost of harvesting loblolly pine plantation and the logging distance, by means of the use of GIS tools. It were employed data of a company of the North of Misiones, in situations of thinnings, clearcuts and deforestation. A geographic information system was employed to process and to classify the variables. The conclusions were that the roads density was of 65.5 m/ha. The most common logging distance was 100 to 200 m for plantations. The possible reduction of costs due to planning roads gives a reduction cost in 0.7%. This reduction is enlarged to 2.4% if the existent machinery system was optimized. On the other hand, a better election of machines makes an improvement in cost of 18.1%. As maximum of 19.9% in was obtained if the extraction decreases distance to 100 m.

**Key words :** Forest harvesting, Forest roads, Geographic information systems

### **RESUMEN**

El objetivo del presenta trabajo fue estimar el impacto económico de la densidad y costo de mantenimiento de distintos tipos de caminos sobre el costo de extracción de madera y la distancia óptima de extracción, mediante el uso de herramientas GIS. Para ello se emplearon datos de una empresa del Norte de Misiones, en situaciones de talas rasas, raleos y desmontes. También se empleó un sistema de información geográfica para procesar y clasificar las variables. Las conclusiones fueron que densidad de caminos encontrada fue de 65,5 m/ha. La distancia de extracción está mayoritariamente concentrada dentro de los 100 a 200 m en la tala rasa. La posible reducción de costos a obtener por una planificación de caminos que lleve la DE a 100 m, mejora el costo de cosecha en 0,7 %. Esta reducción se amplía a 2,4 % si usamos los equipos existentes. En cambio, una mejor elección de equipos mejora el costo de cosecha en 18,1 %. Como máximo se estima mejorar el costo de cosecha en 19,9 % si se reduce la distancia de extracción a 100 m.

**Palabras clave :** Aprovechamiento, caminos forestales, sistemas de información geográfico.

## INTRODUCCIÓN

La planificación del trazado de caminos forestales es abordada con enfoques disímiles entre empresas situadas en una misma región. Existen empresas forestales que le asignan importancia al dedicarle a la planificación de caminos tiempo y recursos, y otras que simplemente delegan el trazado de los mismos a empresas de servicios durante el proceso de habilitación de rodales, sin una planificación previa. Determinar si el esfuerzo necesario (en horas hombre a campo y en gabinete, insumos como fotos aéreas, uso de equipo GIS, digitalización de caminos y otros atributos, etc.) para planificar la red caminera de rodales, se paga mediante la disminución de costos de extracción y por ende del costo de cosecha.

La planificación de la cosecha persigue de alguna manera la racionalización de las operaciones, la definición de sectores a ser trabajados, contribuye a facilitar las tareas de control, pero fundamentalmente tiende a contribuir a la disminución de los costos por unidad producida.

Según A. Laroze (2001), las diferencias en rentabilidad entre empresas forestales que emplean herramientas de planificación y optimización, y aquellas que no, puede llegar al orden del 40%.

Aedo (1996) encontró diferencias en los costos de maderero por medio de la optimización empleando sistemas de información geográfica, para operaciones forestales en Chile donde empleaban torres de maderero y transporte con camión.

Los costos de cosecha en plantaciones forestales de Misiones Argentina, están fuertemente influenciados por la distancia óptima de extracción y el costo de mantenimiento de caminos (Díaz y Mac Donagh, 2001).

Se reconoce habitualmente en el medio empresario que las tareas de cosecha de madera rinden márgenes de ganancia muy ajustados, siendo su estructura de costos y rendimientos bastante estudiados y conocidos. Por lo tanto, las expectativas de reducción de costos son, por lo general, muy realistas. Por ello, de los nuevos estudios específicos de costos y/o métodos se esperan en la mayoría de los casos, reducciones de montos unitarios muy pequeños, del orden de centavos por metro cúbico o tonelada de madera. A pesar de ello, los volúmenes de cosecha anuales que normalmente operan las empresas medianas y grandes, justifican las posibles reducciones del orden de centavos las cuales, multiplicadas por cientos de miles de toneladas, importan una suma considerable para cualquier presupuesto.

Según Machado et al. (1987), se tiene que en Brasil hay una densidad de 90,9 metros lineales de camino por hectárea de plantación forestal. Considera esta densidad como muy alta y además que los caminos son de bajo estándar técnico, consecuencia directa de la falta de planificación, la baja inversión y la inadecuada aplicación de los recursos disponibles en la empresa. Estima como raro el caso de empresas forestales brasileras que planifican su red de caminos en forma satisfactoria. Según Machado (op cit) esta planificación debe atender a las exigencias técnicas de cada empresa, las necesidades de los medios de producción, el sitio forestal, y a aspectos económicos, ecológicos y jurídicos.

En un estudio de Sessions et al. (1987) determinaron el óptimo espaciamiento entre líneas de saca (1 cada 3 hasta 1 cada 10 líneas) y el espaciamiento óptimo entre planchadas y caminos. El estudio se realizó sobre una plantación de *Pinus taeda* plantada a 2,5 m x 2,5 m con un raleo previsto a los 14 años y el corte final a los 30 años. El método empleado consistió en una solución numérica sencilla, de modo de evitar técnicas de optimización complejas. Para ello se valió de la técnica de dividir el espacio en celdas de tamaño entre 5 y 10 m de lado, de cálculos financieros para maximizar el valor presente neto del raleo y de la cosecha y del método para optimizar distanciamientos de caminos y planchadas desarrollado por Sessions y Guangda (basado en funciones de costo de maderero y extracción). Llegaron a la conclusión de que, en las condiciones del estudio, un corte de 1 cada 3 a 1 cada 4 líneas era

preferible y que la distancia óptima entre caminos era de 300 a 400 m y la de planchadas entre 200 a 240 metros. Asimismo concluyeron que el espaciamiento de caminos y planchadas que minimiza el costo de cosecha, para cada espaciamiento entre líneas, debe tener simultáneamente en consideración el costo de cosecha del raleo y de la tala rasa, así como el valor de los productos obtenidos y las respuestas de crecimiento del sitio.

## **Objetivos**

Se proponen como objetivo estimar el impacto económico de la densidad y costo de mantenimiento de distintos tipos de caminos sobre el costo de extracción de madera y la distancia óptima de extracción, mediante el uso de herramientas GIS.

## **Materiales y método**

### **Situaciones de estudio**

La definición de las situaciones del presente estudio se basó en la metodología para planificar caminos utilizados en la empresa Pecom Forestal (noroeste de la provincia de Mnes).

Se establecen tres situaciones de trabajo, 1, 2 y 3, en función del estado de cobertura y caminos existentes al inicio de la planificación. En las situaciones 1 y 2 se diseñan nuevos rodales sobre monte nativo. Aquí no existe trazado previo de caminos. La situación 3 se refiere a rodales de cosecha final, en la cual no se modifican los trazados de caminos existentes, los cuales se vuelven a reforestar sin que haya un retrazado de caminos. La premisa dominante al momento de la planificación es mantener la distancia de extracción entre 200 a 300 metros de los caminos (ya sean perimetrales, secundarios o principales). La distancia mencionada (200 a 300 m) es la que se estima como óptima económicamente para un Skidder en la operación de tala rasa, de acuerdo a la experiencia de los técnicos de la empresa.

Las vías de saca para los primeros raleos no se planifican. Éstas se ejecutan al momento del raleo eliminando los árboles (pinos) por medio de corte bajo para permitir el tránsito de equipos de extracción. La vía de saca se entiende como aquella vía de acceso para un camión liviano. A su vez existen “calles” cada 5 ó 6 líneas de plantación que colectan la madera hacia las vías de saca. Por estas calles transitan los equipos de extracción como por ejemplo el tractor con acoplado.

A su vez, en cuanto a la situación de nuevos rodales se tiene una situación históricamente más antigua (años 1997-2000) en donde se realizaban caminos perimetrales en todos los rodales, además de los caminos secundarios internos al rodal. Luego, se decidió no hacer más caminos perimetrales y poner énfasis en la planificación de los caminos secundarios al interior del rodal cuidando de que la distancia de extracción no superara en lo posible a la mencionada más arriba (200 a 300 m).

En el presente trabajo se determinó el largo de la red caminera de acuerdo a los tipos descriptos en cada situación. A lo anteriormente descrito se debe sumar que casi todos los rodales sobre monte nativo tienen escolleras cuyos ejes longitudinales están distanciados a cada 80 metros sobre el rodal. Son escolleras resultantes de empujar los restos leñosos que restan del desmonte (y que no se queman). Estas escolleras tienen largos y orientaciones variables según la pendiente predominante en cada sector del rodal (subrodal). Sin embargo en cada subrodal se mantienen paralelas entre sí, cambiando por lo general de orientación al otro lado de los caminos. Las escolleras ocupan alrededor del 13% de la superficie de los rodales y su ubicación y orientación determinan el sentido de extracción de las operaciones de raleos.

En los raleos se estima, sin embargo, poder realizar un corte transversal a las mismas en los lugares en los que se deban realizar vías de saca. En cuanto a la operación de tala rasa, se estima que las escolleras estarán suficientemente descompuestas, pudiendo planificarse esta tarea sin predeterminación de sentidos de extracción. Es decir, en la tala rasa se estima que la extracción de madera hacia los caminos se hará por el recorrido más corto, sin importar la orientación de las escolleras.

En función de lo anterior se plantean las siguientes situaciones:

- 1) Rodales nuevos sobre desmonte sin camino perimetral.

Presentan un solo tipo de camino: camino secundario de 0,207 \$/m de costo de mantenimiento. A los cuales se adicionan las vías de saca que se abren en oportunidad del primer raleo (costo de mantenimiento igual a cero).

- 2) Rodales nuevos sobre desmonte con camino perimetral. Dos tipos de caminos:

- a) Perimetral: 0,172 \$/m de costo de mantenimiento
- b) Secundario: de 0,207 \$/m de costo de mantenimiento

Más las vías de saca que se abren en oportunidad del primer raleo (sin costo de mantenimiento).

- 3) Talas rasas con trazados preexistentes. Poseen tres tipos de caminos:

- a) Perimetral: 0,172 \$/m de costo de mantenimiento
- b) Secundario: de 0,207 \$/m de costo de mantenimiento
- c) Principal: de 0,250 \$/m de costo de mantenimiento

## **Determinación de las superficies**

Para la determinación de la superficie, y por ende del volumen de madera a extraer, afectada a cada distancia de extracción (DE), se utilizaron las herramientas que se describen a continuación. Los rangos de DE considerados fueron: 100, 200, 300 y 400 metros. La herramienta usada fue ArcView 3.0a con la extensión “Xtools” (Peroutky et al, 1996 y 1998). Mediante la opción “Buffer selected features” se crearon las superficies abarcadas por los rangos de DE; se realizaron los buffer para cada DE de los caminos. Luego mediante “Identity” se superpusieron los buffer creados para restar las superficies que no interesan para el análisis o las superficies no productivas, por ejemplo, las superficies de las escolleras.

A través de la priorización de los sentidos de extracción se determinaron las superficies asociadas a cada DE y por tipo de camino. Para el caso de las vías de saca, el criterio es que éstas serán utilizadas hasta una DE de 100 metros. Si la distancia es superior a ésta la extracción se hará hacia un camino perimetral o secundario. En algunos casos se tuvo que realizar la planificación de DE de hasta 200 metros en vías de saca, ante la imposibilidad de hacerlo hacia caminos de mayor orden, debido a la forma geométrica del rodal.

De modo general se priorizó de la siguiente manera: minimizar la distancia de extracción teniendo en cuenta el obstáculo de las escolleras en los raleos y además, asumiendo que tiene más prioridad la extracción hacia caminos de superior orden. Es decir si toda la producción se pudiera sacar hacia un camino principal, éste sería el sentido de extracción predominante. Los caminos de mayor orden tienen una operabilidad mayor, haciendo la operación relativamente más independiente de las condiciones climáticas.

En el método de trabajo no se tuvieron en cuenta las siguientes características que también influyen sobre el costo de extracción: pendiente del terreno, pendiente de los caminos o sentido de tránsito y además se asumió que todos los caminos de igual orden tienen idéntico grado de conservación en todos los tramos. El tema de la pendiente se asumió de esta manera, dado que el área considerada para el estudio tiene pendientes que oscilan entre 1 y 5 %, lo cual lo hace casi homogéneamente mecanizable. Lo mismo se asumió respecto de la pendiente de los caminos y posibles sentidos de tránsito.

El costo de construcción de los caminos no se incluyó en el presente trabajo, dado que se considera como una inversión. En relación con el costo de mantenimiento de los caminos, se asumió como que se realizó una única operación de mantenimiento por cada camino (una sola pasada de motoniveladora, por ejemplo). Esto puede ser más o menos coincidente con la realidad dependiendo de las condiciones climáticas del periodo considerado y el volumen de madera extraído y transportado, lo cual depende entre otras cosas del tamaño de cada rodal.

La producción de madera por cada hectárea se consideró homogénea para todas las situaciones: 60 m<sup>3</sup>/ha, 150 m<sup>3</sup>/ha y 250 m<sup>3</sup>/ha para 1er, 2do raleo y tala rasa respectivamente.

En función de las características arriba mencionadas, se establecieron cuatro escenarios de trabajo, A,B,C y D, que se describen en la Tabla 1.

**Tabla 1: Escenarios analizados**

<i>Escenarios</i>	<i>Elección de equipos: basada en las máquinas que se están empleando</i>	<i>Elección de equipos optimizada por costos</i>
DE real: planificación rutinaria de la empresa	Escenario D	Escenario A
DE óptima (100m)	Escenario C	Escenario B

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En primera instancia se caracterizaron las situaciones presentadas, en cuanto a densidad de caminos y método de planificación de la red de caminos, los resultados se muestran en la Tabla 2.

**Tabla 2: Densidad de caminos por situación.**

<b>Rodal</b>	<b>Situación</b>	<b>Sup Rodal (ha)</b>	<b>Dens caminos escenario D (m/ha)</b>
SJ060	3	61.85	67.73
SJ062	3	109.59	70.49
SJ295	3	105.39	56.14
SJ338	2a	104.70	101.34
SJ339	2a	106.17	90.88
SJ367**	2b	94.12	37.03
SJ344	1	111.16	66.98
SJ346	1	108.35	47.72
SJ379	1	119.21	51.52
<b>Total</b>		<b>920.54</b>	

Donde: Sit. 3: reforestación; Sit. 2: desmonte con camino perimetral; Sit. 1: desmonte sin camino perimetral; \*\*: rodal sin escolleras.

Se observa en la Tabla 2 que existe una tendencia a una menor densidad de caminos en la situación 1 (rodal nuevos sin camino perimetral), que en las otras dos situaciones. Se encontraron valores máximos de hasta 101,3 m/ha, siendo la media de 65,5 m/ha, en contraste con lo presentado por Carvalho (2000), de 66,7 m/ha en la Fazenda Monte Alegre, Paraná, Brasil.

Por otra parte las estimaciones por medio del GIS de las superficies productivas para cada rodal, por situación, por cada distancia de extracción (DE) y por tipo de camino para la intervención de raleo se presentan en las Tablas 3 y 4 .

**Tabla 3: Superficie asociada a cada DE, para la intervención de raleo.**

Situación	Rodal	Sup Rodal	Intervención	Tipo camino	DE 100m (ha)	DE 200m (ha)	DE 300m (ha)	DE 400m (ha)
1	SJ344	111.1	Raleos	Secundario	40.14	3.80	8.97	
1	SJ344	111.1	Raleos	Via de saca	40.86	17.38		
1	SJ346	108.3	Raleos	Secundario	40.51	22.00	4.37	2.35
1	SJ346	108.3	Raleos	Via de saca	27.72	11.38		
1	SJ379	119.2	Raleos	Secundario	54.65	20.62	5.79	
1	SJ379	119.2	Raleos	Via de saca	26.82	11.31		
2	SJ338	104.7	Raleos	Perimetral	30.61			
2	SJ338	104.7	Raleos	Secundario	33.63	15.86	0.52	
2	SJ338	104.7	Raleos	Via de saca	24.07			
2	SJ339	106.1	Raleos	Perimetral	26.15			
2	SJ339	106.1	Raleos	Secundario	41.65	23.85	1.27	
2	SJ339	106.1	Raleos	Via de saca	12.47	0.78		

**Tabla 4: Superficie asociada a cada DE, para la intervención de tala rasa (\*).**

Situación	Rodal	Sup Rodal	Intervención	Tipo camino	DE 100m (ha)	DE 200m (ha)	DE 300m (ha)	DE 400m (ha)
1	SJ344	111.1	Corte final	Secundario	58.14	39.17	13.41	0.42
1	SJ346	108.3	Corte final	Secundario	42.42	38.90	18.98	8.03
1	SJ379	119.2	Corte final	Secundario	56.29	45.58	16.32	1.00
2	SJ338	104.7	Corte final	Perimetral	19.58			
2	SJ338	104.7	Corte final	Secundario	62.72	20.94	1.44	
2	SJ367	94.1	Todas	Perimetral	12.12	6.48		
2	SJ367	94.1	Todas	Secundario	36.78	28.69	6.86	3.19
2	SJ339	106.1	Corte final	Perimetral	29.87	7.131		
2	SJ339	106.1	Corte final	Secundario	48.19	19.68	1.28	
3	SJ062	109.5	Todas	Secundario	71.36	21.33	0.11	
3	SJ062	109.5	Todas	Principal	10.10	6.69		
3	SJ060	61.8	Todas	Secundario	32.96	13.82		
3	SJ060	61.8	Todas	Principal	9.83	5.24		
3	SJ295	105.3	Todas	Perimetral	15.54	12.04		
3	SJ295	105.3	Todas	Secundario	55.79	18.07	3.95	

(\*) Todas: se refiere a que la superficie afectada a raleos y tala rasa por cada DE, es igual en ambas intervenciones, debido a que no existen escolleras que obliguen a planificar la extracción en forma diferente para los raleos y para la tala rasa.

De la Tabla 4 se observa que, en promedio, el 62 % de la superficie (en tala rasa) está dentro de los 100 m de DE, 31 % dentro de 200 m, 6 % dentro de 300 m y 1 % dentro de 400 m de DE.

### Escenarios analizados

En la tabla 5, se presentan los resultados de costos por metro cúbico de los escenarios analizados.

**Tabla 5: Costo de extracción por escenario (\$/m3)**

Costo extracción \$/m3	<i>Elección equipos: real</i> (escenario)	<i>Elección equipos: óptima</i> (escenario)
<i>DE real</i>	2.95 (D)	1.24 (A)
<i>DE óptima (100 m)</i>	2.89 (C)	1.01 (B)

A continuación se muestran los análisis de diferencias entre escenarios, debidos a la DE y a la elección de los equipos, Tabla 6.

**Tabla 6: Diferencia de costos entre escenarios (\$/m3) debida a DE**

Diferencia en costo extracción \$/m3	<i>Elección equipos: real</i> (D-C)	<i>Elección equipos: óptima</i> (A-B)
<i>Debido a DE</i>	0.07	0.23

**Tabla 7: Diferencia de costos entre escenarios (\$/m3) debida a la elección de los equipos**

Diferencia en costo extracción \$/m3	<i>Debida a elección equipos</i>
<i>DE real (D-A)</i>	1.71
<i>DE óptima (C-B)</i>	1.88

Por lo tanto, la diferencia entre los escenarios D y C, en la situación de equipos real, es de 0,07 \$/m<sup>3</sup> (2,3%). El ahorro de pasar de un escenario real a una distancia de extracción de 100 m, sería de \$ 28 110 anuales sobre un presupuesto de \$ 1 250 191 y una producción de 423 448 m<sup>3</sup>. Si lo relacionamos con el costo (precio) promedio de cosecha del cuadro 8, vemos que la reducción de 0,07 \$/m<sup>3</sup> en el costo de extracción es el 0,7 % del costo de cosecha.

Asimismo, se observó que el 61 % de la superficie productiva se encuentra dentro de 100 m de DE para la operación de tala rasa. Esto significa que el objetivo de la planificación que se impuso la empresa (200 a 300 m de DE) se ha logrado y sobre pasado en gran medida. La diferencia se amplía a 0,23 \$/m<sup>3</sup>, si consideramos que usamos las máquinas con más bajo costo de extracción, en la comparación entre escenarios A y B. Esta reducción (0,23 \$/m<sup>3</sup>) es el 2,4 % del costo de cosecha promedio.

La diferencia en dinero originada a partir de la elección del equipo a utilizar gravita en mayor medida sobre el costo de extracción. Esto se observa para una distancia de extracción real (escenario D), el ahorro por elegir las máquinas de menor costo de extracción asciende a 1,71 \$/m<sup>3</sup> (57,9 % de diferencia sobre el escenario D). Esta reducción es el 18,1 % del costo de cosecha. La reducción se amplía a 19,9 % con DE de 100 m (reducción de 1,88 \$/m<sup>3</sup>).

## CONCLUSIONES

La densidad de caminos, 65,5 m/ha, es similar a la observada en la literatura citada, pero menor a la mencionada para Brasil.

La distancia de extracción está mayoritariamente concentrada dentro de los 100 a 200 m (93 % de la superficie productiva) en la tala rasa.

La posible reducción de costos a obtener por una planificación de caminos que lleve la DE a 100 m, mejora el costo de cosecha en 0,7 % (usando los equipos de extracción existentes). En dinero serían \$ 28 110 anuales para 920 ha. Esta reducción se amplía a 2,4 % si usamos los equipos descriptos en el escenario A.

En cambio, una mejor elección de equipos (para los caminos existentes en la realidad) mejora el costo de cosecha en 18,1 %. Como máximo se estima mejorar el costo de cosecha en 19,9 % si se reduce la distancia de extracción a 100 m.

## BIBLIOGRAFIA

**Carvalho, L. A.** A rede viária e sua interação com o meio ambiente. Klabin Paraná Papéis. En: XI Seminario de atualização, sistemas de colheita de madeira e transporte florestal. 29 de agosto a 1 setiembre de 2000. Curitiba, Paraná. Brasil. Pp: 54-72.

**Pecom Forestal.** Procedimiento operativo AFM-02-CAM. Título: Planificación, Construcción y Mantenimiento de Caminos Forestales. Edición: 0. Revisión: 1 de fecha 31/05/2003.

**Mac Donagh, P.** Ing Ftal M Sc. Docente e investigador. Facultad de Cs. Forestales, UnaM, Eldorado. Misiones. TE: 03751 431 526.

**Machado, C. C.; Malinowski, J. R..** A planificação da rede rodoviária em reflorestamentos. En: Simpósio sobre exploração, transporte, ergonomia e segurança em reflorestamentos. 5 a 10 de abril de 1987. Curitiba, Paraná. Brasil. Pp: 1-13.

**Peroutky, J; DeLaune, M.** Xtools. Script en Avenue. Oregon Department of Forestry.

<http://www.esri.com/company/free.html>. 1996 y 1998.

**Reis, H.** Ing Ftal. Responsable de Área Forestal. Empresa Forestal Pindó, Pto Esperanza. Misiones. TE: 03757 480 213.

**Sessions, J; Welker, J.** A method for determining optimal harvest road spacing, landing spacing, and thinning pattern. En: Simpósio sobre exploração, transporte, ergonomia e segurança em reflorestamentos. 5 a 10 de abril de 1987. Curitiba, Paraná. Brasil. Pp: 14-27.