

Productividad y costos del raleo de algarrobo blanco (*Prosopis alba*) en Santiago del Estero, Argentina. Una primera aproximación

Coronel de Renolfi Marta¹, Cardona Gabriela¹, Moglia Juana G², Gómez Adriana T³

¹*Cátedra de Economía y Administración Forestal, Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Nacional de Santiago del Estero. Avenida Belgrano (s) 1912, 4200 Santiago del Estero, Argentina*

Correo electrónico: mrenolfi@unse.edu.ar

²*Cátedra de Dendrología. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Nacional de Santiago del Estero. Avenida Belgrano (s) 1912, 4200 Santiago del Estero, Argentina*

³*Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) EEA Santiago del Estero. Jujuy 850, G4200CQR, Santiago del Estero, Argentina*

Recibido: 14/6/13 Aceptado: 20/5/14

Resumen

Se analizó la operación de raleo forestal en dos plantaciones experimentales de algarrobo blanco (*Prosopis alba*) en la zona de riego de la provincia de Santiago del Estero, Argentina, mediante un estudio de tiempos y movimientos para conocer la productividad operacional y los costos asociados al proceso de apeo con motosierra. Se midieron tiempos efectivos y operativos y se calculó volumen con corteza, eficiencia, productividad y costo directo del raleo. La muestra de 83 árboles completó un volumen abatido de 5,66 m³. El tiempo operativo promedio fue de 2,66 min/árbol, mientras que el tiempo efectivo medio fue de 1,36 min/árbol. Se halló gran variabilidad dimensional en los árboles de la muestra y un elevado grado de variabilidad en los tiempos de trabajo. Se verificó una fuerte correlación entre el tiempo efectivo de trabajo de la máquina y las variables diámetro y volumen de los árboles. La eficiencia operacional fue del 51 %. La productividad en el derribo fue de 1,54 m³/h (22,56 árboles/h). El costo unitario del raleo fue de 12,18 US\$/m³, equivalente a 64,56 \$/m³ (1 US\$ = 5,30 \$ en mayo 2013). Los resultados para eficiencia, productividad y costo del raleo son preliminares y constituyen el primer antecedente en la zona.

Palabras clave: raleo, estudio de tiempos, productividad, costos

Summary

Productivity and Costs of White Algarrobo (*Prosopis alba*) Thinning in Santiago del Estero, Argentina. An Initial Approach

Operation of forest thinning in two experimental plantations of white mesquite (*Prosopis alba*) was analyzed in the irrigation area of the Santiago del Estero province in Argentina, through a study of time and motion for operational productivity and costs of chainsaw felling process. Effective and operative times were measured, and volume with bark, efficiency, productivity, and direct cost of thinning were calculated. The 83 sampled trees completed a volume of 5.66 m³. The average operating time was 2.66 min/tree, while the average effective time was 1.36 min/tree. High dimensional variability of the sampled trees, and a high degree of variability in work times were found. A strong correlation between the uptime of the machine and the variables diameter and tree volume was verified. Operational efficiency was 51 %. Productivity in the felling was 1.54 m³/h (22.56 tree/h). The cost of thinning was 12.18 US\$/m³, equivalent to 64.56 \$/m³ (US\$ 1 = \$ 5.30 in may 2013). The results for efficiency, productivity, and cost of thinning are preliminary; and they are the first record in the area.

Keywords: thinning, time study, productivity, costs

Introducción

El algarrobo blanco (*Prosopis alba*) es un árbol de porte mediano de hasta 12 m de altura y un tronco de hasta 150 cm de diámetro (Tortorelli, 2009). Es una especie de amplia distribución geográfica que crece en forma natural al norte de Argentina, en el Parque Chaqueño. Pertenecen a esta región fitogeográfica las provincias de Santiago del Estero, Formosa, Chaco y parte de otras provincias (Santa Fe, San Luis, Jujuy, Salta, Tucumán, Catamarca, La Rioja, San Juan, Córdoba y Corrientes).

La Ley 25.080 (Argentina. Poder Legislativo, 1999) y su reforma, Ley 26.432 (Argentina. Poder Legislativo, 2008), incentivan la forestación de especies nativas y exóticas en todo el territorio nacional, mediante planes de subsidio. Para toda la región del Parque Chaqueño, y en particular para Santiago del Estero, el algarrobo blanco es la principal especie nativa promocionada para realizar plantaciones comerciales.

Los plantines de algarrobo blanco son originados a partir de semilla. El material de reproducción procede generalmente de rodales locales de origen nativo con características heterogéneas. Toda plantación originada a partir de este tipo de semilla presenta variabilidad en los rasgos morfológicos (López Lauenstein *et al.*, 2012; Verga *et al.*, 2009). Las diferencias en el comportamiento según el origen han generado, en varias provincias de la región, diversas investigaciones locales sobre biología, silvicultura y manejo forestal de esta especie (Atanasio *et al.*, 2012; Kees *et al.*, 2012; Vicentini *et al.*, 2012; Senilliani y Navall, 2006). Las investigaciones del algarrobo blanco implantado cobran mayor impulso desde la sanción de la mencionada ley.

En Argentina, el campo científico está avanzando en paquetes tecnológicos de manejo del algarrobal. Delvalle (2006) ensaya la intensidad del raleo en Chaco; Pérez (2012) describe la técnica de raleo para pequeños forestadores de Formosa; Ewens y Navall (2006) investigan sobre densidad de plantación y tratamiento de poda en Santiago del Estero. Sin embargo, aún falta conocer datos claves para el aprovechamiento de las forestaciones, como turno de corta y crecimientos esperados.

También falta avanzar en la investigación de aspectos económicos del algarrobo blanco tales como rendimientos y costos. Vega (2009) calcula rendimientos y costos de poda en Formosa. Para Santiago del Estero, los trabajos que abordan el tema de costos de implantación (Coronel de Renolfi *et al.*, 2010), de aserrado (Coronel de Renolfi *et al.*, 2012) y de vivero (Coronel de Renolfi *et al.*, 2013) confor-

man información de carácter incipiente. No obstante, todavía no existen antecedentes sobre estudios de rendimientos y costos del raleo.

En otros países, autores como Tolosana (1999), Nájera Luna (2010) y Villagómez Loza (2011), entre otros, reportan estudios de rendimientos y costos en cortas de mejora (raleos) y de aprovechamiento de algunas especies forestales.

En este contexto, y con el fin de aproximar información económica del tema, el objetivo del presente estudio es determinar la productividad y calcular los costos de la tarea de raleo en plantaciones de algarrobo blanco en Santiago del Estero.

Las plantaciones comerciales de algarrobo blanco en Santiago del Estero comprenden unas 1.550 ha forestadas entre los años 2000 y 2013. Poseen ciertas particularidades respecto a las de otras provincias. La gran mayoría se localiza en el área de riego, en suelos salinos y de napa freática alta. Pertenecen a pequeños productores (no superan las 20 ha) que incursionan por primera vez en una experiencia forestadora, aprovechando el subsidio estatal. Están concebidas para un manejo forestal exclusivo (densidad 4 x 4 m), como una actividad secundaria, anexa a la tradicional producción agrícola de la zona. Hasta el presente, estas plantaciones no tienen efectuada ninguna intervención silvícola de raleo.

El raleo es una práctica forestal mediante la cual se eliminan individuos indeseables, dejando en pie y bien distribuidos en el espacio los mejores árboles de una plantación. Pérez (2012) señala que durante la vida del algarrobal se deben ejecutar 3 o 4 raleos hasta que llega el momento de la corta final. El primer raleo («raleo por lo bajo») es una corta de saneamiento que se realiza por única vez, a temprana edad, cuando la plantación presenta un promedio menor a 10 cm de diámetro; tiene el fin de sanear y mejorar la estructura de la masa forestal. Los siguientes raleos («raleos comerciales») se ponen en práctica en distintos momentos de la plantación; se efectúan cuando las ramas de la copa de los árboles se tocan o están próximas a tocarse.

El primer raleo comercial debe practicarse cuando el algarrobal tenga un promedio mayor a 10 cm de diámetro. Los raleos comerciales tienen la particularidad que los productos obtenidos de su aplicación son de dimensiones y calidades suficientes que permiten su industrialización. Según Pérez (2012) la intensidad de ambos tipos de raleos oscila entre 60 y 100 árboles/ha. Delvalle (2006) y Valdora y Jáimez (2000) consiguen una intensidad del 50 % para el primer raleo comercial.

El raleo forestal es una actividad de alto costo, pero imprescindible en la mayoría de las especies; tiene un gran impacto en la calidad y valoración del producto final. El cálculo de su costo exige disponer previamente de datos técnicos de tiempos y rendimientos operativos de la labor silvícola, información que se obtiene con un estudio del trabajo. Tolosana (1999), Villagómez Loza (2011) y Nájera Luna *et al.* (2011) señalan que el objetivo de un estudio del trabajo es la estimación de rendimientos y costos en la organización del trabajo.

Materiales y métodos

Área de estudio

El estudio se llevó a cabo en dos ensayos experimentales de algarrobo blanco ubicados en la zona de riego, de la provincia de Santiago del Estero.

Una de las plantaciones, con 2 ha de superficie, está localizada en la Estación Experimental Fernández-UCSE, ubicada en la ciudad de Fernández (Departamento Robles), a 63° 55' O y 27° 55' S. Fue instalada en 1998 y posee individuos de 14 años de edad con espaciamiento de 4 x 4 m. La plantación recibió una única intervención de poda a los ocho años (año 2006). La otra, de 0,56 ha, se localiza en San Isidro, localidad de Santa María (Departamento Capital), a 64° 14' O y 27° 57' S; fue realizada en el año 1992, con espaciamiento de 4 x 4 m. Dicha plantación, de 20 años de edad, fue objeto de una única poda a los cinco años (año 1997).

En ambos casos se trata de la primera intervención de raleo que recibieron. Si bien el raleo aplicado se efectuó con retraso respecto a las prescripciones silvícolas, puede asimilarse al tipo de «raleo comercial».

La falta de manejo forestal que presentan estas plantaciones reproduce la condición en que se halla la mayoría de los algarrobales de los forestadores locales.

Toma de datos

En este trabajo se registraron los tiempos efectivos y operativos y se calculó volumen, eficiencia, productividad y costo del raleo.

En cada línea de plantación se aplicó una regla de selección sistemática de los ejemplares a cortar, «uno si-uno no», de modo que la intensidad del raleo fue del 50 %. El total de observaciones conformó una muestra de 83 individuos (cerca del 10 % del total de árboles a abatir). Las observaciones se efectuaron a los mismos operarios, en tres días diferentes, entre octubre-diciembre de 2012: 30

árboles el primer día y 36 el segundo (en el sitio de Fernández), y 17 el tercer día (en el sitio de San Isidro).

El raleo fue ejecutado por dos operarios (motosierrista y ayudante), con nivel medio de experiencia en operaciones de apeo. El operador de la máquina utilizó una motosierra marca Stihl. El método de cosecha consistió en las operaciones de corte, volteo y desrame, sin incluir trozado del tronco, ordenamiento ni reducción de las ramas. La tarea del motosierrista fue la de apear el árbol y desramar la copa; el auxiliar colaboró manualmente en la dirección de caída, el volteo y el desrame. El tronco y las ramas separadas del mismo quedaron en el suelo.

La toma de datos se realizó con la técnica de observación directa, midiendo *in situ* los tiempos de trabajo (Niebel y Freivalds, 2001; Villagómez Loza, 2011) y registrándolos en planillas predefinidas. Los tiempos se midieron con cronómetro de precisión utilizando el método de vuelta a cero (Caso Neira, 2006) en cada observación.

Cada fase comprendió los siguientes movimientos: traslado, ubicación del árbol y preparación, corte, volteo y desrame. Para cada individuo, se registró por separado: 1) el tiempo de traslado, ubicación frente al árbol y preparación para el corte, 2) el tiempo de inicio y fin de la tarea de corte (desde que se pone en marcha la motosierra hasta que finaliza el desrame) y 3) el tiempo que insumen las interrupciones ocurridas durante la tarea. La siguiente observación comenzó al iniciarse el traslado al próximo árbol. La distancia media de avance fue de 8 m. No se tomaron tiempos de extracción ni transporte del material leñoso, debido a que, a la fecha de la toma de datos, aun no se tenía previsto el destino del raleo.

Luego del desrame, se midieron con cinta métrica las dimensiones del tronco abatido (longitud, diámetros mayor y menor con corteza) a fin de determinar su volumen.

Los tiempos cronometrados fueron los siguientes (Carey *et al.*, 2006; Bossi Trincado, 2007; Villagómez Loza, 2011): tiempo efectivo total, tiempos improductivos y tiempo operativo total (en minutos centesimales). Se calculó la eficiencia operacional (%E) del raleo, definida como la relación porcentual entre los tiempos efectivos y tiempos operativos totales (Simões *et al.*, 2011):

$$\%E = (\Sigma \text{TEF} / \Sigma \text{TOP}) * 100$$

donde:

TEF: Tiempo efectivo total. Es la suma del tiempo de ubicación, tiempo de trabajo efectivo (TTE) y los tiempos de traslado, sin incluir atrasos ni pérdidas de tiempo. El tiempo

de trabajo efectivo es la parte del TEF en que la motosierra funciona realizando el corte, volteo y desrame.

TI: Tiempos improductivos. Es la suma de los tiempos ocasionales, no productivos o interrupciones que se producen durante la jornada de trabajo (charlas técnicas, descansos, demoras por mantenimiento de la motosierra o por enganches de ramas).

TOP: Tiempo operativo total. Resulta de la suma de los tiempos parciales anteriores. Es el tiempo total que insume efectuar el trabajo de raleo, incluyendo los tiempos improductivos.

El volumen raleado se cubió con la fórmula de Smalian (Husch *et al.*, 2003), la que se expresa como sigue:

$$V_T = \frac{\pi}{4} * \left(\frac{D+d}{2} \right)^2 * L$$

donde:

V_T : Volumen del árbol (m^3 cc)

D: Diámetro mayor a la altura del corte (m cc)

d: Diámetro menor a la altura del despunte (m cc)

L: Longitud comercial del fuste (m)

Estimación de la productividad y los costos

En términos generales, la productividad se define como la relación entre la cantidad de bienes producidos y la cantidad de recursos utilizados; se la puede calcular relacionando la cantidad de trabajo efectuado por unidad de tiempo (Nájera Luna, 2010). A los fines de este estudio, la productividad se calculó dividiendo el resultado obtenido del raleo (en cantidad de árboles abatidos y volumen c/c apeado) por el tiempo operativo total utilizado; fue expresada en árboles/hora y en m^3 /hora (de Suoza *et al.*, 2004). Luego se estimó la productividad diaria (PD), proyectando la cantidad de m^3 que se puede ralear por jornada de trabajo.

La medición de los tiempos y la estimación de la productividad sirvieron para determinar los costos reales de este tratamiento silvícola. El costo unitario del raleo se refiere a lo que cuesta realizar la tarea por unidad de producción (Tolosana *et al.*, 2000). Se trata de un costo directo que incluye los costos operativos de la motosierra y de la mano de obra. Se lo determinó según FAO (1978), conforme a la ecuación [1] y se lo expresó en pesos argentinos (\$). Fue considerada como tasa de cambio, el precio de la moneda nacional medido en dólares de Estados Unidos (US\$):

$$CR = [S (1 + CsSc) + CM] / PD \quad [1]$$

donde:

CR: Costo unitario del raleo (en $\$/m^3$)

S: Salarios del jornal (motosierrista y ayudante) ($\$/día$)

CsSc: Cargas sociales (60% del salario)

CM: Costo operativo de la motosierra ($\$/día$)

PD: Productividad diaria ($m^3/día$)

El numerador de la expresión [1] arrojó el costo de la tarea expresado en $\$/día$. El costo unitario del raleo CR se calculó en $\$/m^3$.

Los salarios S correspondieron a las escalas salariales vigentes a diciembre de 2012, para personal permanente (en las categorías motosierrista y peón general) comprendido en el Régimen de Trabajo Agrario de Argentina (CNTA, 2012). Para el cálculo del costo operativo de la motosierra (CM) se utilizaron los precios vigentes a mayo de 2013, empleando la metodología propuesta por Frank (1995), Coronel de Renolfi y Cardona (2011) y Villagómez Loza (2011):

$$CM = (i + a + cc + cl + rym) * TTE \quad [2]$$

donde:

i: Interés de la máquina ($\$/h$)

a: Costo por amortización ($\$/h$)

cc: Gasto de consumo de combustible mezcla ($\$/h$)

cl: Gasto de consumo de lubricante de cadena ($\$/h$)

rym: Gasto de reparación y mantenimiento ($\$/h$)

TTE: Tiempo de trabajo efectivo con la motosierra (h/día)

Se utilizó una motosierra nueva, marca Sthil MS 381. La misma tiene un cilindro de 72,2 cc, depósito de combustible de 0,68 litros, espada de 50/1,6 D, cadena 3/8" 36 RM y peso neto de 6,6 kg. El motor de dos tiempos requiere de combustible mezcla de nafta y aceite en proporción 1:20. El Cuadro 1 resume la información técnica y económica de base para el cálculo del costo operativo de la motosierra.

Resultados y discusión

Volumen, tiempos de trabajo y productividad del raleo

El Cuadro 2 muestra los estadísticos descriptivos de las variables largo, diámetros mayor y menor y volumen de los árboles apeados. El volumen unitario del apeo fue de 0,0682 m^3 cc de modo que el raleo de los 83 individuos de la muestra completó un volumen total de 5,66 m^3 .

Cuadro 1. Datos de base para el cálculo del costo de la motosierra.

	Ítems	Valor
Motosierra	Valor a nuevo (\$)	4.100
	Vida útil (h)	2.000
	Potencia (HP)	5,3
	Interés (% anual)	8
	Precio combustible mezcla (\$/litro)	10
	Consumo estimado combustible (l/h)	0,75
	Precio lubricante cadena (\$/l)	53,38
	Consumo estimado de lubricante (l/h)	0,262
	Reparación y mantenimiento (% de a)	40
Mano de obra	Jornal motosierrista c/Cs Sc (\$/día)	281,17
	Jornal peón auxiliar c/Cs Sc (\$/día)	252,05

1 US\$ = 5,30 \$ (30 de mayo 2013).

Cuadro 2. Estadísticos descriptivos de las variables largo, diámetros y volumen del raleo.

Sitio	Variable	Media	Desvío Est.	CV (%)	Max	Min
Fernández (14 años)	Diámetro mayor (cm)	18,8	4,77	25,35	35,00	10,00
	Diámetro menor (cm)	14,74	4,24	28,74	25,00	7,00
	Longitud comercial (m)	2,51	0,96	38,25	5,90	0,68
	Volumen (m ³ cc)	0,0598	0,0507	84,74	0,3013	0,0152
San Isidro (20 años)	Diámetro mayor (cm)	29,00	4,61	15,90	36,00	24,00
	Diámetro menor (cm)	24,53	4,90	19,98	35,00	19,00
	Longitud comercial (m)	1,79	0,31	17,51	2,63	1,34
	Volumen (m ³ cc)	0,1009	0,0278	27,55	0,1584	0,0581

En el Cuadro 3 se exponen los resultados de la toma de tiempos correspondientes a los promedios del tiempo de trabajo efectivo (TTE), tiempo de desplazamiento, tiempo efectivo total (TEF), tiempos improductivos (TI) y tiempo operativo total (TOP), expresados en minutos por árbol y por metro cúbico.

De los resultados del Cuadro 3 se deduce que todos los tiempos de trabajo presentaron un elevado grado de variabilidad. De los factores que podrían influir en la variabilidad, se descartaron la experiencia del operario, el estado de la motosierra, el efecto del clima y la distancia de traslado, ya

que los mismos fueron homogéneos durante la toma de datos. Podría atribuirse a la propia variabilidad de la población bajo estudio, con amplias diferencias dimensionales de los árboles abatidos (Cuadro 2). Al respecto, cabe recordar que se trabajó sobre un ensayo experimental con escaso mantenimiento y sin manejo silvícola previo.

La distribución de los tiempos que integran el tiempo operativo total (TOP) se observan en la Figura 1. El tiempo efectivo total (TEF) se desglosa en el tiempo de trabajo efectivo de la máquina (TTE) con un 40 % de participación y el tiempo de traslado con un 11 %. El 51 % de contribución

Cuadro 3. Promedios de los tiempos de trabajo del raleo.

Tiempos promedios	Segundos/árbol	Minutos/m ³
Tiempo de trabajo efectivo	64,29 ± 56,84	15,70
Tiempo de traslado	17,29 ± 12,45	4,23
Tiempo efectivo total	81,57 ± 57,03	19,93
Tiempos improductivos	77,84 ± 312,05	19,02
Tiempo operativo total	159,41 ± 318,84	38,95



Figura 1. Participación (%) de los diferentes tiempos que componen el tiempo operativo total.

del TEF en el TOP representa la eficiencia operacional del raleo. Los tiempos improductivos TI alcanzaron un porcentaje del 49 %, similar al reportado por Rivera (2007).

Los tiempos improductivos registrados se repartieron del siguiente modo: el 50 % correspondió a charlas técnicas de organización; un 40 % a descansos cortos y solo un 10 % representó tiempo atribuido a mantenimiento de la máquina conjuntamente con las demoras por enganche de ramas durante el volteo.

Según Nájera Luna *et al.* (2011), el tamaño de los árboles es un factor que afecta el rendimiento del derribo manual con motosierra. Para evaluar la relación existente entre tiempos de trabajo y dimensión de los árboles, se realizó un análisis de regresión, utilizando rutinas del programa Excel 2007 (Microsoft Corp.). Se probó como variables independientes el diámetro mayor y el volumen, ordenados por clases o categorías; y como variables dependientes, el TOP y el TTE. No se halló una ecuación de buen ajuste entre volumen y TOP, ni entre diámetro y TOP; los mejores ajustes presentaron un $R^2 = 0,429$ y $R^2 = 0,345$ respectivamente. Por el contrario, la ecuación que relaciona el volumen apeado y el TTE (Figura 2), reveló una fuerte correlación entre estas dos variables, con un coeficiente de determinación $R^2 = 0,934$. Asimismo se halló una relación exponencial entre diámetro mayor y TTE con un coeficiente $R^2 = 0,774$ indicando un buen ajuste de la siguiente función:

$$Y = 0,537 e^{0,211x} \quad R^2 = 0,774$$

donde:

Y es TTE (en minutos centesimales) y x es categorías de diámetro mayor.

Se estimó la productividad media del raleo en número de árboles por hora y cantidad de m^3cc por hora. La proyección de la productividad diaria (PD) resultó de 135,5 árboles/día o $9,24 m^3/día$, si se calcula sobre la base de 6 horas activas de trabajo (jornada laboral de 8 h, descontadas 2 h de descansos reglamentarios). El Cuadro 4 resume los valores de eficiencia y productividad de la tarea.

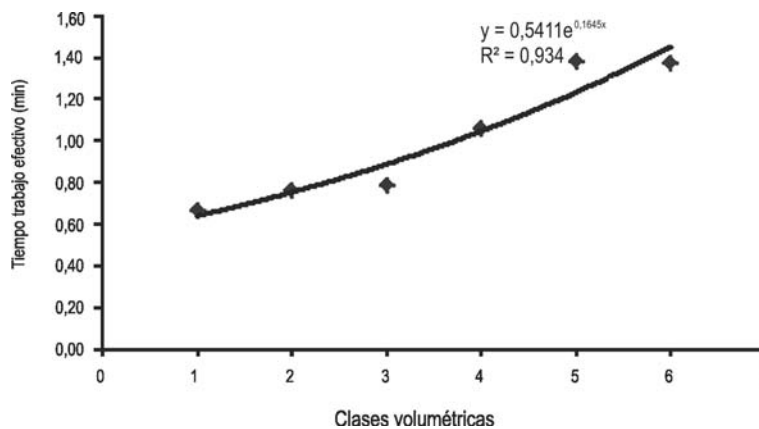


Figura 2. Función de ajuste entre tiempo de trabajo efectivo y volumen del raleo. $Y = TTE$ (en minutos centesimales); $x =$ categorías de volumen.

Cuadro 4. Eficiencia y productividad media del raleo.

Variable	Valor
Eficiencia (%)	51,17
Productividad horaria (árboles/h)	22,56
Productividad horaria (m ³ /h)	1,54
Productividad diaria (árboles/día)	135,50
Productividad diaria (m ³ /día)	9,24

Cabe advertir nuevamente que la falta de estudios locales sobre tiempos de trabajo, eficiencia y productividad en operaciones de raleo impide tener referencias comparativas válidas. No obstante, puede resultar útil mencionar los resultados alcanzados en algunos estudios sobre tareas de corta, pero advirtiendo que se trata de países con extensa experiencia forestal, y de especies con características biológicas, dasométricas y silviculturales diferentes. Tolosana (1999) consigna para cortas de clareo de *Pinus sylvestris* en España una productividad de 1,57 m³/h, similar a la del presente estudio, pero con un volumen unitario dos veces mayor (de 0,139 m³ cc/árbol). Valores de productividad muy diferentes obtienen Wang *et al.* (2004) en Estados Unidos con 10,25 m³/h, Rivera (2007) en Chile con 6,5 m³/h y Nájera Luna *et al.* (2011) en México con 28,67 m³/h, donde el volumen medio supera al de este trabajo en todos los casos mencionados.

Costo del raleo

El tiempo de trabajo efectivo TTE representó el 40 % del total (Figura 1), por lo que el uso diario de la máquina se estimó en 2,4 horas/día, sobre la base de 6 horas de trabajo activo. Con los datos técnicos y económicos del Cuadro 1 y aplicando la ecuación [2], se calculó el costo operativo de la motosierra (Cuadro 5).

El costo horario de la motosierra resultó en 26,37 \$/hora, con una incidencia del gasto de lubricación de la cadena del 53 % de este valor. El costo operativo diario de la máquina en función del TTE fue de 63,30 \$/día.

Por otra parte, el costo diario de la tarea (mano de obra directa y motosierra) ascendió a 596,52 \$/día, donde la carga de la mano de obra representa el 89 % de dicho total.

Considerando la productividad obtenida en este estudio y aplicando la expresión [1], el costo unitario del raleo CR alcanzó un valor de 64,56 \$/m³.

Tolosana (1999) señala que la incertidumbre sobre los costos en un momento determinado se incrementa si se pretende hacer una proyección a futuro. Este autor advierte que ello ha conducido a estimar los costos unitarios a partir de un abanico de costos con un amplio rango de variación,

Cuadro 5. Costo operativo de la motosierra.

Ítems del costo	Valor
Interés (i)	0,16 \$/h
Amortización (a)	3,36 \$/h
Gasto consumo combustible mezcla (cc)	7,50 \$/h
Gasto consumo lubricante cadena (cl)	14,01 \$/h
Gasto reparación y mantenimiento (rym)	1,34 \$/h
Costo operativo horario =	26,37 \$/h
Tiempo trabajo efectivo (TTE)	2,40 h/día
Costo operativo diario (CM) =	63,30 \$/día

a fin de flexibilizar los resultados y hacerlos aplicables a diversos escenarios. Para los resultados técnicos obtenidos del caso de estudio y los precios vigentes de la máquina y la mano de obra, el costo unitario del raleo depende de las variables tiempo de trabajo efectivo de la motosierra (TTE) y productividad diaria de la tarea (PD). Por lo tanto, a fin de complementar los resultados obtenidos, se efectuó un análisis de sensibilidad del costo ante diferentes combinaciones de dichas variables (Cuadro 6).

Cuadro 6. Análisis de sensibilidad del costo unitario del raleo (\$/m³).

TTE \ PD (h/día)	5	10	15	20	25
	(m ³ /día)				
0,5	109,28	54,64	36,43	27,32	21,86
1	111,92	55,96	37,31	27,98	22,38
1,5	114,56	57,28	38,19	28,64	22,91
2	117,19	58,60	39,06	29,30	23,44
2,5	119,83	59,92	39,94	29,96	23,97
3	122,47	61,23	40,82	30,62	24,49
3,5	125,11	62,55	41,70	31,28	25,02
4	127,74	63,87	42,58	31,94	25,55

Este análisis de sensibilidad permite predecir, por ejemplo, los efectos en el costo, ante un incremento en la productividad del raleo. Si bien es obvio que el costo está en relación inversa a la PD, el examen de variación marginal determinó que para un TTE dado el efecto de la disminución del costo se diluye a medida que aumenta PD.

Conclusiones

Existe elevado grado de variabilidad en todos los tiempos de trabajo, quizás atribuible a la gran variabilidad dimensional de los árboles de la muestra.

El tiempo operativo medio del raleo es de 2,66 minutos por árbol, del cual el 51 % es tiempo efectivo. Durante el

tiempo no productivo las detenciones por razones organizativas representan la mitad del mismo.

Se verifica la existencia de una fuerte correlación entre el tiempo de trabajo efectivo de la máquina con el volumen raleado, así como también con el diámetro a la altura del corte.

Si bien el escenario del estudio es particular, es posible trasladar estos resultados a los algarrobales de los pequeños productores del área de riego de Santiago del Estero, dado que las condiciones de manejo silvícola son muy similares.

Los valores hallados de eficiencia y productividad del raleo deben ser considerados preliminares en virtud del pequeño tamaño de la muestra.

La metodología aplicada para calcular productividad y costo del raleo resulta adecuada; los resultados constituyen el primer antecedente en la zona y sienta las bases para futuros cálculos.

Las experiencias de intervención silvícola que surjan en la zona de estudio deberán ser aprovechadas como oportunidades para proseguir con la toma de datos, ampliar la muestra e indagar más profundamente sobre las causas de la alta variabilidad de los tiempos de trabajos encontrados.

Agradecimientos

Al Ing. Mauricio Ewens, de la Estación Experimental Fernández (Universidad Católica de Santiago del Estero), por permitir la toma de datos en los ensayos de plantación de algarrobo blanco.

A los estudiantes de la Facultad de Ciencias Forestales-Universidad Nacional Santiago del Estero Cynthia Brandán y Dorian Morales Oller, por intervenir como asistentes de campo en la recolección de la información.

Bibliografía

- Argentina. Poder Legislativo. 2008. Ley N° 26.432. Prórroga y Reforma de la Ley N° 25.080. 29/12/2008.
- Argentina. Poder Legislativo. 1999. Ley N° 25.080. Ley de inversiones para bosques cultivados. 15/01/1999.
- Atanasio M, Delvalle P, Ayala M, Svriz I, Petkoff J. 2012. Crecimiento de orígenes de *Prosopis alba* Griseb (algarrobo blanco). En: Reunión Nacional del Algarrobo; 13-14 noviembre; 2012; Córdoba, Argentina. Córdoba: Encuentro Grupo Editor. pp. 16-17.
- Bossi Trincado PC. 2007. Estudio de tiempo y rendimiento en torres de maderero en Predio Ranchillo, Séptima Región [Tesis de grado]. Santiago de Chile: Facultad de Ciencias Forestales. Universidad de Chile. 94p.
- Carey P, Figueroa Sotomayor A, Valenzuela Caviarés P. 2006. Evaluación técnica de un sistema tradicional de cosecha en plantaciones de *Eucalyptus globulus* de corta rotación en Valdivia, Chile. *Bosques*, 27(3): 272-276.
- Caso Neira A. 2006. Técnicas de medición del trabajo. 2a ed. Madrid: FC Editorial. 232p.
- CNTA. 2012. Comisión Nacional del Trabajo Agrario. Resolución 103/12 [En línea]. Consultado 20 mayo 2013. Disponible en http://www.cra.org.ar/files/content/5/5949/res_cnta_103_2012.pdf.
- Coronel de Renolfi M, Cardona G, Ewens M, Ibarra de Gómez E. 2013. Productividad y requerimientos de mano de obra en la producción comercial de plantines de algarrobo blanco (*Prosopis alba*): El caso del vivero forestal de la Estación Experimental Fernández, Santiago del Estero. *Quebracho*, 21(1-2): 26-38.
- Coronel de Renolfi M, Cardona G, Ruiz A. 2010. Coeficientes técnicos del primer año de plantación de *Prosopis sp.* en Santiago del Estero. *Quebracho*, 18(1-2): 58-70.
- Coronel de Renolfi M, Cardona G. 2011. Cómo calcular costos forestales. Santiago del Estero: Editorial Lucrecia. 152p.
- Delvalle P. 2006. Raleo selectivo en forestación joven de algarrobo blanco. En: 2° Jornadas Forestales de Santiago del Estero: 15-16 junio, 2006; Santiago del Estero, Argentina. Santiago del Estero: Facultad de Ciencias Forestales. 6p.
- de Souza AP, Minette LJ, Moreira FMT, Machado CC, Silva KR. 2004. Análise do desempenho da máquina 'slingshot' em subsistemas de colheita em florestas de eucalipto. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 8(2-3): 316-320.
- Ewens M, Navall M. 2006. Silvicultura del algarrobo blanco. En: 2° Jornadas Forestales de Santiago del Estero: 15-16 junio; 2006; Santiago del Estero, Argentina. Santiago del Estero: Facultad de Ciencias Forestales. 7p.
- FAO. 1978. Evaluación de los costos de extracción a partir de inventarios forestales en los trópicos: 2da. parte: recolección de datos y cálculos. Roma: FAO. 76p.
- Frank R. 1995. Introducción al cálculo de costos agropecuarios. 6a ed. Buenos Aires: El Ateneo. 39p.
- Husch B, Miller C, Beers T. 2003. Forest mensuration. 4a ed. New Jersey: Wiley. 443p.
- Kees SM, Gómez C, Verga A, Muttoni F. 2012. Funciones de volumen de fuste para árboles individuales de forestaciones con *Prosopis alba* Griseb (algarrobo blanco) en la provincia de Chaco. En: Reunión Nacional del Algarrobo; 13-14 noviembre; 2012; Córdoba, Argentina. Córdoba: Encuentro Grupo Editor. pp. 64-65.
- López Lauenstein D, Vega C, Ritter R, Venier P, Gómez C, Verga A. 2012. Ensayos de orígenes de *Prosopis alba*. En: Reunión Nacional del Algarrobo; 13-14 noviembre; 2012; Córdoba, Argentina. Córdoba: Encuentro Grupo Editor. pp. 65-67.
- Nájera Luna JA. 2010. Evaluación del proceso productivo maderable en la región de El Salto, Durango, México [Tesis doctoral]. Nuevo León: Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma de Nueva León. 198p.
- Nájera Luna JA, Aguirre O, Treviño E, Jiménez J, Jurado E. 2011. Tiempos y rendimientos del aprovechamiento forestal en El Salto, Durango, México. *Revista Chapingo, Serie Ciencias Forestales*, 17(1): 58-69.
- Niebel BW, Freivalds A. 2001. Ingeniería Industrial: Métodos, estándares y diseño del trabajo. 10a ed. Vol. 1. México: Alfaomega Grupo Editor. 800p.
- Pérez V. 2012. Raleo en forestación de algarrobos [En línea]. Consultado 23 abril 2013. Disponible en http://chaco-forestal.blogspot.com.ar/p/informacion-tecnica_20.html.
- Rivera S. 2007. Evaluación técnica y económica de un plan de cosecha en una faena de *Pinus radiata* D. (Don) a tala rasa, mediante torres de maderero en la Décima Región [Tesis Ingeniería Forestal]. Valdivia: Universidad Austral de Chile. 69p.
- Senilliani MG, Navall M. 2006. Parámetros dasométricos de plantaciones de *Prosopis alba* Griseb (algarrobo blanco) del área de riego de la Provincia de Santiago del Estero. En: 2a Jornadas Forestales de Santiago del Estero: 15-16 junio; 2006;

- Santiago del Estero, Argentina. Santiago del Estero : Facultad de Ciencias Forestales. 6p.
- Simões D, Torres Fenner P, Bantel C.** 2011. Análise operacional e econômica do processamento de madeira de eucalipto com «Hypro» em Região Montanhosa. *Árvore*, 35(3): 505-514.
- Tolosana E.** 1999. El aprovechamiento forestal mecanizado en las cortas de mejora de *Pinus sylvestris* L. Modelos de tiempos, rendimientos y costes y estudio de sus efectos ambientales [Tesis doctoral]. Madrid: ETSI Montes. Universidad Politécnica de Madrid. 222p.
- Tolosana E, González V, Vignote S.** 2000. El aprovechamiento maderero. Madrid: Mundi Prensa. 563p.
- Tortorelli LA.** 2009. Maderas y bosques argentinos. Tomo 1. 2a ed. Buenos Aires: Orientación Gráfica Editora. 515p.
- Valdora E, Jáimez C.** 2000. Propuesta de forestación con *Prosopis alba* en la región árida de Tucumán, Argentina. *Multequina*, 9: 155-160.
- Vega C.** 2009. Rendimientos operativos y costos de poda en *Prosopis alba* Griseb. [Tesis Ingeniería Forestal]. Formosa : Universidad Nacional de Formosa. 79p.
- Verga A, López Lauenstein D, López C, Navall M, Joseau J, Gómez C, Royo O, Degano W.** 2019. Caracterización morfológica de los algarrobos (*Prosopis* sp) en las regiones fitogeográficas Chaqueña y Espinal norte de Argentina. *Quebracho*, 17(1,2): 31-40.
- Vicentini GM, Pérez V, Rhiner G.** 2012. Evaluación edafológica y silvicultural de forestaciones de *Prosopis alba* como base para una clasificación según calidades de sitio. En: Reunión Nacional del Algarrobo; 13-14 noviembre; 2012; Córdoba, Argentina. Córdoba : Encuentro Grupo Editor. pp. 111-113.
- Villagómez Loza MA.** 2011. Selección de maquinaria para la operación de derribo en bosques de coníferas. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 2(5): 91-103.
- Wang J, Long Ch, McNeel J, Baumgras J.** 2004. Productivity and cost of manual felling and cable skidding in Central Appalachian hardwood forests. *Forest Products Journal*, 54(12): 45-51.