



7º CONGRESO FORESTAL ESPAÑOL

Gestión del monte: servicios ambientales y bioeconomía

26 - 30 junio 2017 | Plasencia
Cáceres, Extremadura

Meta-análisis de 128 estudios de extracción de madera y biomasa de montes bajos en Europa: modelo de productividad general y cuantificación de la influencia de los cambios tecnológicos.

Eduardo Tolosana Esteban

E.T.S.I. Montes, Forestal y del Medio Natural (Universidad Politécnica de Madrid)

29 de junio de 2017, Plasencia

OBJETIVOS

El objetivo principal de este trabajo es **profundizar en el estudio de la fase de extracción en los aprovechamientos forestales de montes bajos recopilados en la Acción COST europea EUROCOPIICE**, para:

- **Desarrollar modelos de productividad genéricos y para las diferentes formas de extracción**, que permitan identificar los factores de que ésta depende, permitiendo la comparación entre medios alternativos en distintas condiciones, su predicción aproximada en casos concretos y la identificación de aquellas áreas en que la investigación pueda ser más necesaria y/o potencialmente efectiva.
- **Valorar si la evolución tecnológica y/o en los medios de trabajo ha dado lugar a progresos en la productividad** a lo largo del tiempo cubierto por los análisis

Valores medios, rangos y coeficientes de variación de las variables explicativas (candidatas) para los datos de extracción.

Variable explicativa (candidata)	Valor medio	Mínimo	Máximo	Coefficiente de variación
Distancia máxima de extracción, m	395	25	1500	96%
Capacidad de carga media (m ³ /ciclo)	2,1	0,06	10,6	138%
Volumen de fuste medio (m ³ /pie)	0,14	0,002	2,03	167%
Peso medio de la corta (m ³ /ha)	107,3	8	314	69%

Distribución de los puntos de datos de extracción entre las categorías factoriales consideradas (tipo de corta, sistema de aprovechamiento y medio de extracción).

Factor	Valor	Número	Frecuencia (%)
Tipo de corta	Selectiva	61	49
	Mata Rasa	64	51
Sistema de Aprovechamiento	Leña (SL)	19	15
	Madera Tronzada (CTL)	26	21
	Fuste entero (SFE)	21	17
	Árbol Completo (SAC)	54	43
	Residuos de Poda (SRP)	5	4
Medio de extracción	Arrastre mecanizado (AM)	49	39
	Suspensión en remolque (SR)	31	25
	Cable aéreo (CAB)	33	27
	Animales (AN)	8	6
	Suspensión con palas o excavadoras (SP)	4	3

La mayor relación de la productividad con combinaciones de las variables propuestas se encontró con el cociente $X = (\text{Distancia máxima de extracción, m} / \text{Capacidad de carga media, m}^3/\text{ciclo})$:

$$Y = 46,39 \cdot X^{-0,49}$$

El ADEVA para los medios de extracción halló diferencias significativas entre ellos, pero algunos casos (extracción con animales, limpieza de lechos y suspensión en palas o retroexcavadoras) no se analizaron, por el pequeño número de casos. Se proporcionan sus estadísticos descriptivos

Resumen de estadísticos descriptivos para la Productividad ($\text{m}^3/\text{h}_{\text{Trab}}$)			
	Limpieza de lechos	Extracción con animales AN	Suspensión en palas o excavadoras SP
Número de puntos	4	8	4
Valor medio	3,17	1,79	3,82
Desviación típica	3,57	0,40	1,19
Coefficiente de variación	112,8%	22,6%	31,1%
Valor mínimo	1,04	1,3	2,8
Valor máximo	8,5	2,7	5,38
Rango	7,46	1,40	2,58
Sesgo estandarizado	1,60	2,06	0,72
Curtosis estandarizada	1,58	2,70	-0,39
Los valores del sesgo y la curtosis muestran que las distribuciones no se corresponden con una normal.			

El resto de los datos de extracción se analizaron, de forma conjunta y separando los medios de extracción Arrastre Mecanizado (AM), Suspensión en Remolque (SR) y Cable (CAB), utilizando la técnica de regresión no lineal, con el modelo base:

$$\text{Productividad} = A \cdot \text{Carga}^B \cdot \text{DistMax}^C + K$$

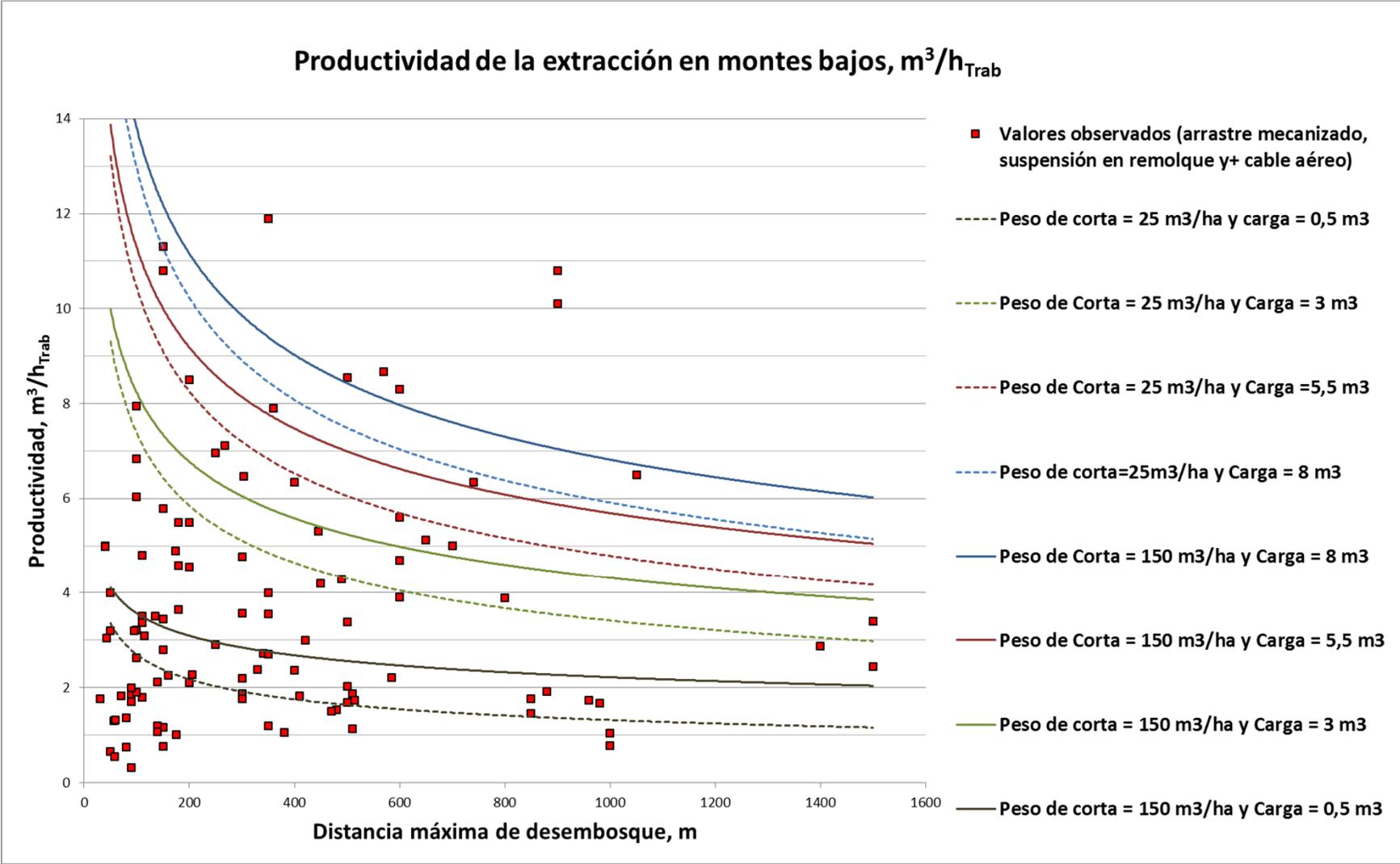
Las otras posibles variables numéricas, como el volumen medio del fuste o el peso medio de la corta, se consideraron como términos aditivos lineales.

El mejor resultado, sin considerar los mencionados tres puntos anómalos con residuos muy elevados, fue, para todos los datos con medios de extracción AM, SR y CAB, el siguiente:

$$\text{Productividad (m}^3/\text{h}_{\text{Trab}}) = 18,9 \cdot [\text{Carga(m}^3\text{)}^{0,584}] \cdot [\text{DistMax(m)}^{-0,348}] + 0,0072 \cdot \text{PesoCorta(m}^3/\text{ha)}$$

Con un R^2 ajustado por los grados de libertad del 64,5% y un valor absoluto medio de los residuos de 1,2 $\text{m}^3/\text{h}_{\text{Trab}}$. Las variables seleccionadas explicaban más del 64% de la variabilidad en la productividad de la extracción para los 108 casos de monte bajo considerados

El modelo general se presenta en el gráfico adjunto



Las nuevas regresiones para arrastre mecanizado y saca con cable aéreo resultaron mejores que la general en términos del valor absoluto medio de los residuos, por lo que se recomienda su uso preferente sobre la ecuación general en dichos casos.

La ecuación para arrastre mecanizado (vehículos tipo *skidder* y adaptados) fue:

$$\text{Productividad (m}^3/\text{h}_{\text{Trab}}) = 49,0 \cdot [\text{Carga(m}^3\text{)}^{1,14}] \cdot [\text{DistMax(m)}^{-0,574}] + 0,0094 \cdot \text{PesoCorta(m}^3/\text{ha)}$$

$$R^2 \text{ (ajustado por g.l.)} = 51,9 \%$$

$$\text{Valor absoluto medio de los residuos} = 0,87 \text{ m}^3/\text{h}_{\text{Trab.}}$$

La ecuación correspondiente a la extracción mediante cable aéreo fue:

$$\text{Productividad (m}^3/\text{h}_{\text{Trab}}) = 16,3 \cdot [\text{Carga(m}^3\text{)}^{0,699}] \cdot [\text{DistMax(m)}^{-0,304}] + 0,0113 \cdot \text{PesoCorta(m}^3/\text{ha)}$$

$$R^2 \text{ (ajustado por g.l.)} = 50,3 \%$$

$$\text{Valor absoluto medio de los residuos} = 0,80 \text{ m}^3/\text{h}_{\text{Trab.}}$$

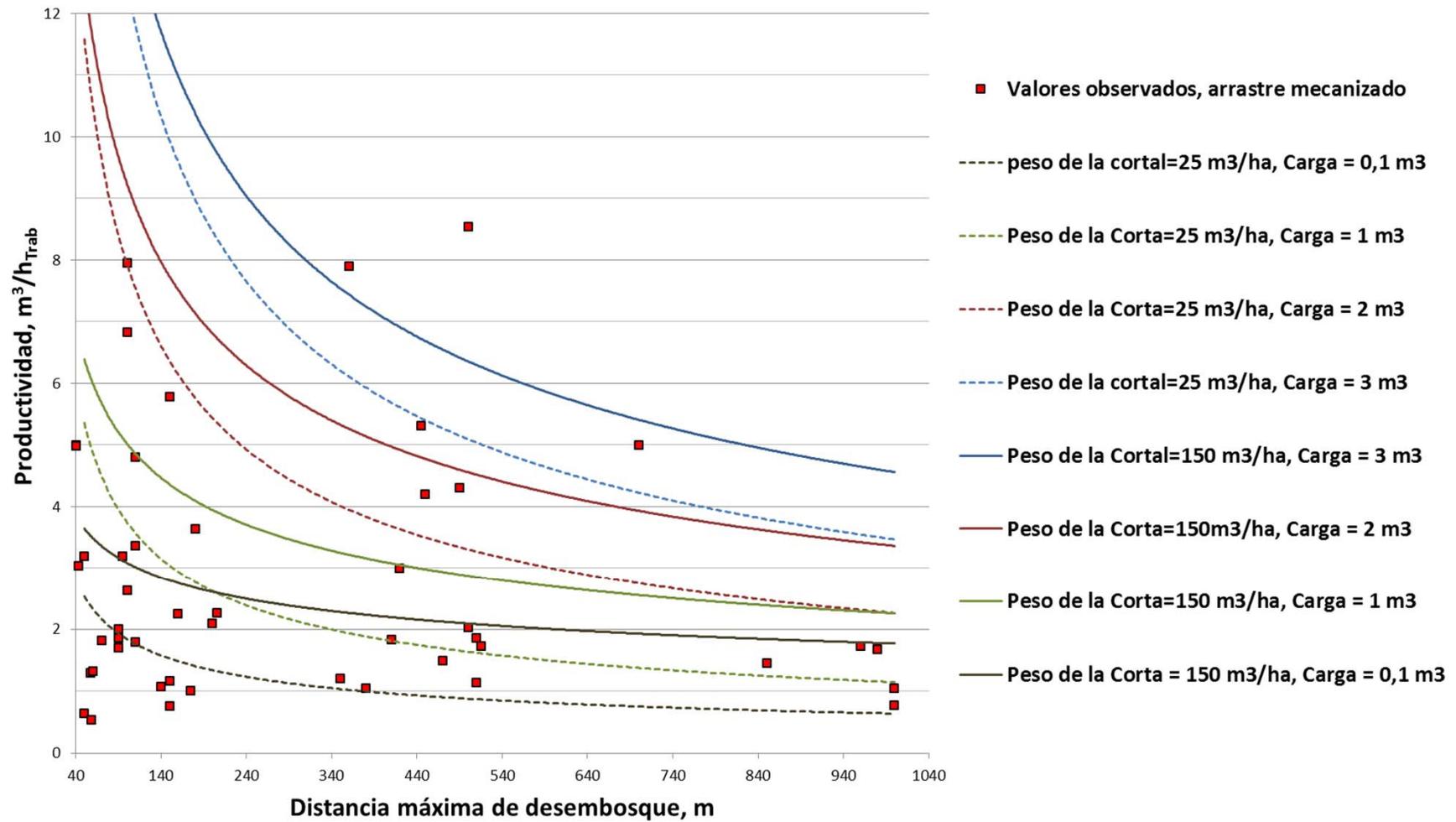
Los valores medios, rango y coeficientes de variación para la productividad y para las variables explicativas seleccionadas se muestran en la Tabla.

Valores medios y rangos de variación para la productividad en la extracción de montes bajos y sus variables explicativas (para arrastre con skidder, suspensión en remolque y saca con cable aéreo).

Medio de extracción	Productividad, m ³ /h _{Trab}			Distancia máxima, m			Carga media, m ³ /ciclo			Peso de la corta, m ³ /ha		
	Media	Min	Max	Media	Min	Max	Media	Min	Max	Media	Min	Max
AM	2,8	0,54	8,5	302	30	1000	0,75	0,08	3,0	111	9	314
SR	6,4	1,8	11,9	672	50	1500	5,96	1,9	10,6	85	12	243
CAB	3,2	0,3	7,0	236	50	500	0,50	0,06	0,95	118	8	274

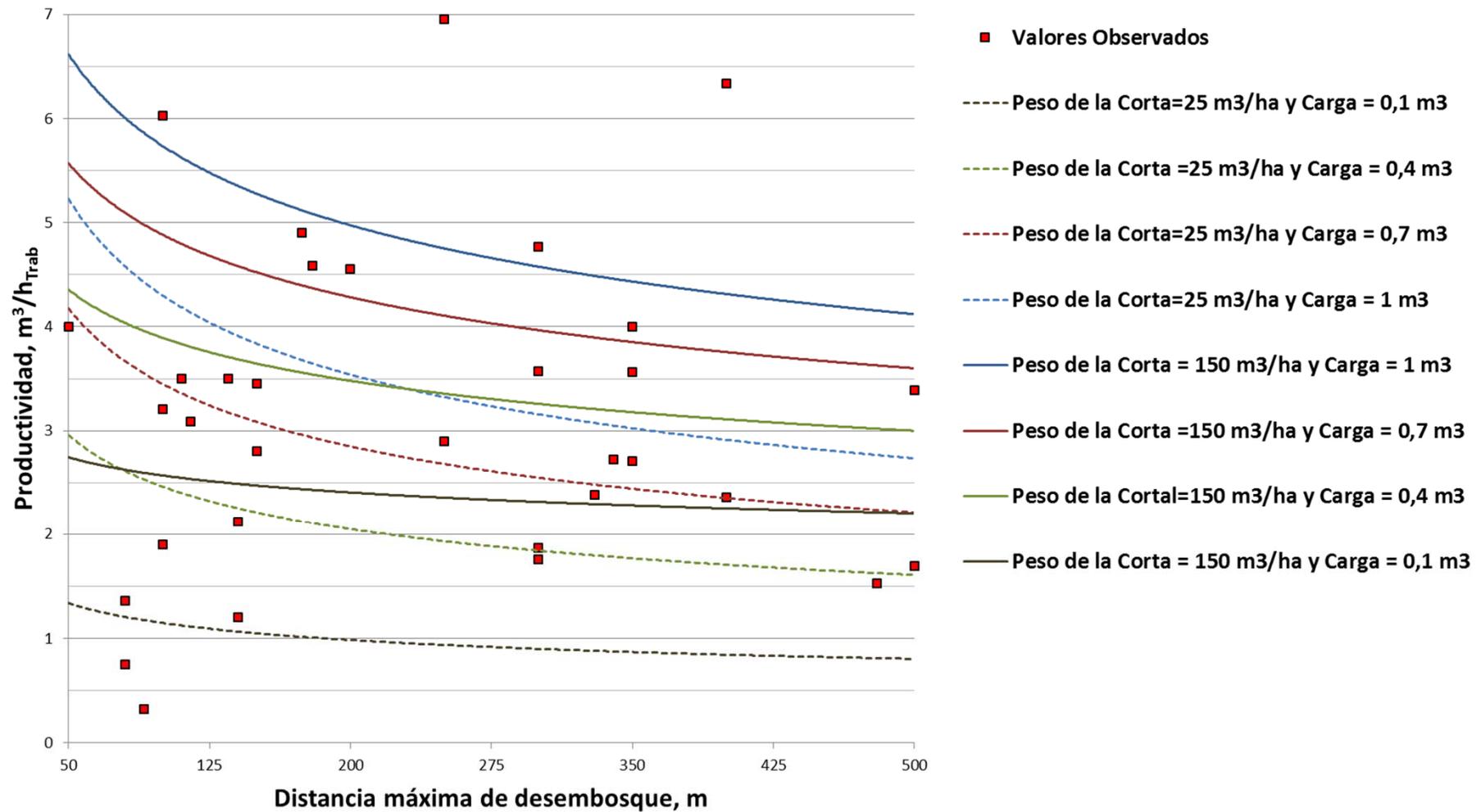


Productividad de la extracción en montes bajos, arrastre mecanizado (m^3/h_{Trab})





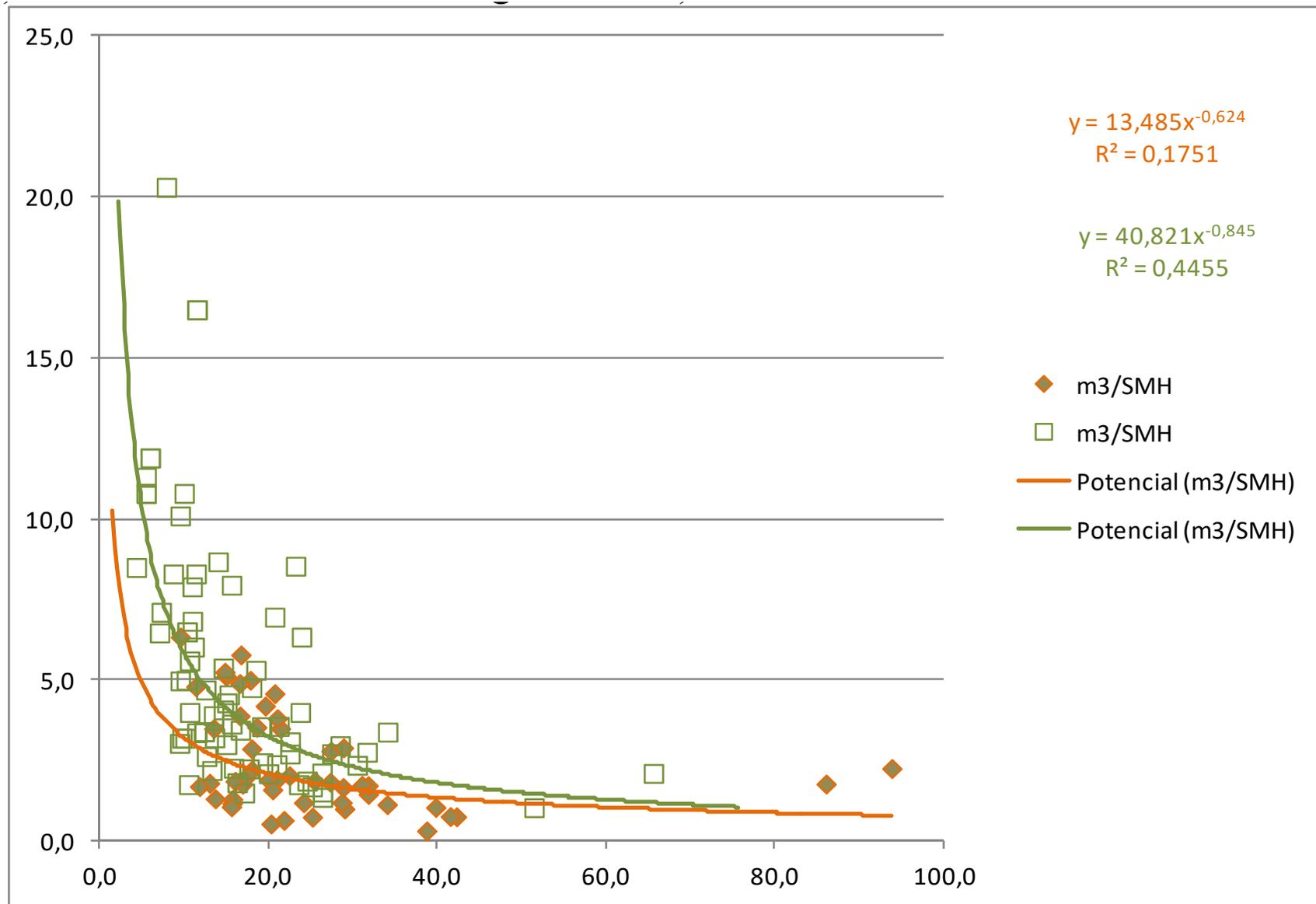
Productividad de extracción en montes bajos, cables aéreos (m^3/h_{Trab})



En la comparación de los resultados de los estudios de tiempo más recientes (desde 2005 hasta 2015, 75 estudios) con los anteriores (50 estudios hasta 2004 incluido), el ADEVA mostró que la diferencia de productividad para todos los medios de extracción (excluyendo animales, suspensión en palas y operaciones de limpieza de lechos de ríos) es estadísticamente significativa. La cifra media de los estudios recientes ($5,3 \text{ m}^3/\text{h}_{\text{Trab}}$) es más del doble que la media de productividad de los estudios anteriores a 2005 ($2,4 \text{ m}^3/\text{h}_{\text{Trab}}$).

Aunque las curvas de regresión son significativamente distintas, son similares, y si bien la dependencia de la productividad desde 2005 es más consistente, si solo se considerase la regresión de los estudios más recientes se perderían los datos de las alternativas más simples de medios de extracción, por lo que se ha optado por mantener como referencia las ecuaciones previas. En cualquier caso, parece claro que los avances tecnológicos y en cuanto a capacidad empresarial de inversión han hecho crecer sensiblemente la productividad en la última década.





CONCLUSIONES

Se han obtenido ecuaciones predictivas de la productividad de la extracción de árboles completos, madera o leña de montes bajos, a partir de más de cien estudios de tiempo europeos, en su mayoría del ámbito mediterráneo, realizados durante un periodo largo, entre 1975 y 2015.

El principal modelo se refiere a la extracción mediante arrastre mecanizado, suspensión sobre remolque y con cables aéreos de desembosque, con un coeficiente de determinación $R^2 = 64,5\%$ y un valor absoluto medio de los residuos de $1,2 \text{ m}^3/\text{h}_{\text{Trab}}$. Se han obtenido modelos particularizados para la saca por arrastre mecanizado (*skidders* y vehículos adaptados similares) y para la saca mediante cables aéreos, en general de pequeño tamaño. En todos los casos, las variables explicativas han sido la distancia máxima de desembosque (m), la capacidad de carga de los medios de extracción (m^3/ciclo) y el peso de la corta (m^3/ha).

No se han mostrado como factores estadísticamente significativos la especie objeto de aprovechamiento, el tipo de corta (selectiva o “a mata rasa”), el sistema de aprovechamiento (árboles completos, fustes enteros, madera tronzada o leña) ni el volumen unitario medio de los pies extraídos.

Finalmente, se ha constatado un incremento muy relevante en la productividad media de la última década frente a la de las operaciones anteriores, que se debe a la mejora tecnológica pero sobre todo al uso de medios de mayor capacidad y potencia.

¡ GRACIAS POR SU ATENCIÓN!



AGRADECIMIENTOS

Agradezco al equipo coordinador y al resto de los miembros de la Acción COST FP1301 (EuroCoppice), a la Unión Europea como su organismo financiador, así como a los integrantes de su Grupo de Trabajo 3, que proporcionaron los datos para la base armonizada sobre productividad, los doctores Spinelli, Cacot, Mihelic, Nestrorovski y Mederski. Las referencias completas a todos los estudios de donde se extrajeron los datos pueden consultarse en SPINELLI et al. (2016)

eduardo.tolosana@upm.es



7º CONGRESO FORESTAL ESPAÑOL

Gestión del monte: servicios ambientales y bioeconomía



26 - 30 junio 2017 | Plasencia
Cáceres, Extremadura



www.congresoforestal.es