

## EFECTO DEL DECAPADO, EN COMPARACIÓN A LA QUEMA DE RESTOS, SOBRE LAS CARACTERÍSTICAS DEL SUELO Y EL CRECIMIENTO DE PLÁNTULAS DE *PINUS RADIATA*

J. R. Olarieta<sup>(1)</sup>, G. Besga<sup>(2)</sup>, R. Rodríguez-ochoa<sup>(1)</sup>, A. Aizpurua<sup>(2)</sup>

<sup>(1)</sup>Dept. Medi Ambient i Ciències del Sòl. Universitat de Lleida. Rovira Roure, 177. Lleida 25198. Fax: -973-702613.

E-mail: jramon.olarieta@macs.udl.cat

<sup>(2)</sup>NEIKER. Berreaga, 1. Derio 48160. Bizkaia.

**Resumen:** Se compararon los efectos de dos técnicas de preparación del terreno, quema de restos de tala y decapado (los restos, la vegetación, y la parte superficial del suelo son retirados de la parcela) con bulldozer, sobre las reservas de carbono orgánico y nutrientes en el suelo, las propiedades físicas de éste, y el desarrollo de las plántulas de *Pinus radiata*. Las reservas totales de nitrógeno, fósforo, calcio, magnesio, y potasio se redujeron en un 5-26% en las parcelas decapadas. Las propiedades físicas de los horizontes minerales de las parcelas decapadas alcanzaron valores muy limitantes ( $1.5 \text{ g.cm}^{-3}$  de densidad aparente y menos de 5% de porosidad de aireación) para la disponibilidad de oxígeno y agua para las raíces. Cuatro años después de la plantación la altura media de las plántulas se redujo en un 14% en las parcelas decapadas, planteándose que la causa principal fue la degradación de las propiedades físicas del suelo, junto con el estrés nutricional asociado.

**Palabras clave:** degradación del territorio; evaluación del territorio; tipos de uso del territorio; preparación del terreno; sostenibilidad.

**Abstract:** Two site preparation techniques for *Pinus radiata* plantation, slash burning and scalping, were assessed by comparing the carbon and nutrient pools, soil physical properties, and early growth of seedlings. Pools of all elements were smaller in all the compartments of the scalped plots compared to those in slash burn plots. Total pools of all elements were smaller in the scalped plots by 5-26%. Physical properties of the surface mineral soil in scalped plots reached values (bulk density of  $1.5 \text{ g.cm}^{-3}$  and aeration porosity less than 5%) that seriously impair oxygen and water availability for pine roots. Seedling height four years after plantation was 14% lower under scalping, and we hypothesize degradation of soil physical properties as the main reason, together with the accompanying nutrient stress.

**Keywords:** land degradation; land evaluation; land utilization types; site preparation; sustainability.

### INTRODUCCION

Las plantaciones de pino radiata (*Pinus radiata* D. Don) ocupan más de 137.000 ha en la Comunidad Autónoma del País Vasco, lo que supone un 35% de la superficie forestal arbolada. En las comarcas costeras las proporciones son superiores, y así en la de Lea-Artibai (Bizkaia) estas plantaciones suponen el 79% de la superficie forestal y el 59% de la superficie total comarcal.

Las técnicas mecanizadas de preparación del terreno para la plantación de pino radiata, como el decapado y el subsolado lineal a favor de pendiente con bulldozer, se están extendiendo en el País Vasco como resultado de la falta de mano de obra y del menor coste monetario de estas técnicas en comparación con el método tradicional de quema de restos. El decapado consiste en retirar los restos de la tala de la plantación anterior mediante bulldozer, acompañados, en general, de la

vegetación y horizontes superficiales del suelo. En algunos casos, esta operación se acompaña del subsolado lineal a favor de pendiente.

Los procesos de erosión hídrica tras estas labores mecanizadas son muy intensos (Edeso *et al.*, 1999), produciéndose un gran descenso en las concentraciones de materia orgánica y nutrientes en los horizontes minerales (Merino *et al.*, 1998; Olarieta *et al.*, 1997b, 1999). Como resultado, algunas experiencias muestran un efecto negativo a corto plazo sobre el desarrollo de pino radiata (Murphy *et al.*, 1997; Merino *et al.*, 2004).

En este trabajo pretendemos evaluar el efecto comparativo del decapado y la quema de restos sobre las reservas de carbono orgánico y nutrientes minerales, como indicadores de la sostenibilidad a largo plazo, y sobre el crecimiento en los primeros años de *Pinus radiata*.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El área de estudio está localizada en Berriatua (comarca de Lea-Artibai, Bizkaia) (43°18'N; 2°28'W; 120 m altitud). Tras la tala a matarrasa de una plantación de 35 años de pino insigne de primer turno, se preparó parte del terreno para la nueva plantación mediante decapado con un tractor de cadenas trabajando a favor de la pendiente, mientras que la otra mitad se preparó mediante quema de restos. Posteriormente, se realizó la nueva plantación de pino radiata por ahoyado manual.

La parcela ocupa una ladera de 30-35° con exposición norte, y los suelos, desarrollados sobre lutitas, son Udorthents típicos, arcillosos, mezclados, ácidos, mésicos, activos, superficiales (Soil Survey Staff, 1999). Esta unidad del territorio es la más frecuente en la comarca (Olarieta, 2003).

Se eligieron al azar cuatro sub-parcelas (de 0'5 ha cada una) en la zona preparada por quema de restos (parcelas Q) y otras cuatro

en la zona preparada por decapado (parcelas D). Cada sub-parcela se consideró como una repetición del tratamiento (n=4), y dentro de cada una de ellas se eligieron 20 plántulas al azar. Tras el primer año se contó el número de plántulas muertas y el crecimiento en altura durante esa temporada de las plántulas supervivientes. También se recogieron muestras de la vegetación herbácea y arbustiva, excluyendo las plántulas de pino, en cuatro cuadrados de 0'15 m<sup>2</sup> en cada una de las ocho sub-parcelas muestrales, obteniéndose una muestra compuesta para cada sub-parcela a partir de las cuatro submuestras obtenidas en los cuadrados. En años posteriores se midió la altura total de las plántulas, así como el diámetro en la base del tallo.

Los cuadrados muestrales se excavaron hasta la profundidad enraizable (0'25 m aproximadamente), obteniéndose muestras compuestas de cuatro submuestras de los horizontes orgánicos, y del suelo mineral.

También se obtuvieron muestras no perturbadas de los horizontes minerales del suelo mediante cuatro cilindros metálicos (de 53 mm de largo y 61 mm de diámetro interior) por parcela con el fin de determinar las propiedades físicas básicas (densidad aparente, retención de humedad a -33kPa y -1500 kPa). A partir de estos valores se determinó la porosidad total suponiendo una densidad real de 2'6 g.cm<sup>-3</sup>. La porosidad de aireación se estimó como la diferencia entre la porosidad total y la retención de humedad a -33kPa, y la capacidad de retención de agua disponible (CRAD) como la diferencia entre la retención de agua a -33 kPa y -1500 kPa. La densidad de empaquetamiento se calculó siguiendo la propuesta de Webb y Wilson (1995).

Además, se estimó la profundidad de suelo mineral eliminada por las labores de decapado y por la erosión hídrica mediante

el registro de las diferencias en el grosor del horizonte A en los cuadrados de muestreo.

De las muestras de suelo mineral obtenidas en campo se separaron las raíces y rizomas. Todas las muestras de material vegetal se secaron en estufas de aire forzado a 60-70 °C, y se estimó la materia seca. Posteriormente se molieron estas muestras hasta pasar por un tamiz de 1 mm.

El contenido en carbono de los diversos componentes vegetales y de los horizontes orgánicos se estimó como el 50% de la pérdida por ignición a 550 °C (Smethurst y Nambiar, 1990). Estas muestras se trataron con una solución de ácido nítrico-perclórico, y se determinó el calcio, potasio, y magnesio en el residuo resultante mediante espectrofotometría de absorción atómica, el fósforo por colorimetría mediante el método del fosfo-molibdo-vanadato, y el nitrógeno mediante el método Kjeldahl.

En las muestras de los horizontes minerales de suelo se analizaron el pH (1:2.5 en agua), carbono orgánico (método de Walkley-Black), nitrógeno total (método Kjeldahl), y fósforo asimilable (método Olsen-Watanabe). Las bases de intercambio se determinaron por extracción con acetato amónico 1N a pH=7 y determinación por absorción atómica, mientras que el aluminio de cambio se determinó por extracción con  $\text{BaCl}_2$  1.2 M y valoración con NaOH 0.01 N. La saturación de aluminio se calculó como la relación entre el aluminio de cambio y la suma de los cationes intercambiables.

El fósforo, calcio, magnesio y potasio totales de los horizontes minerales se determinaron por espectrometría atómica de inducción de plasma (ICP-AES) tras digestión con  $\text{HNO}_3$ - $\text{HClO}_4$ -HF.

El tratamiento estadístico se realizó con el paquete SAS, empleando análisis de modelos lineales generalizados y, en su caso, separación de medias mediante el test de Duncan.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A partir de las observaciones de campo se estimó que en las parcelas D se habían eliminado aproximadamente 2 cm de suelo mineral en comparación con las parcelas Q, ya fuera por las propias operaciones de decapado o por los procesos de erosión hídrica posteriores. Si asumiéramos que la erosión hídrica fue responsable de la diferencia en el contenido de carbono orgánico en el suelo mineral de las parcelas Q y D, la tasa de erosión tendría que haber sido de 500  $\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$ . Pero las medidas de erosión en condiciones similares reflejan tasas de 200-300  $\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$  (Edeso *et al.*, 1999), por lo que este proceso sólo puede explicar la mitad de las pérdidas de suelo mineral. Por tanto, el decapado en sí mismo es tan peligroso, en relación a la degradación del suelo, como los procesos de erosión que se producen posteriormente.

### Horizontes minerales del suelo

Las concentraciones de carbono orgánico y nitrógeno total, así como las de calcio, magnesio, y potasio intercambiables, fueron significativamente mayores en las parcelas Q que en las parcelas D (Tabla 1). La saturación de aluminio fue significativamente mayor en las parcelas D mientras que la suma de bases de cambio fue significativamente menor (1.05  $\text{cmol}(+)\cdot\text{kg}^{-1}$  en comparación con 0.63  $\text{cmol}(+)\cdot\text{kg}^{-1}$ ). Estos resultados reflejan la pérdida, comentada anteriormente, de la parte superficial de los horizontes minerales como resultado del decapado, y son consistentes con los obtenidos en trabajos anteriores (Merino *et al.*, 1998; Olarieta *et al.*, 1997b, 1999).

El decapado produjo una disminución del 20-25% en el contenido de carbono orgánico y nitrógeno total en el suelo mineral respecto a las parcelas en las que se quemaron los restos (Tabla 2). Los contenidos de los demás elementos también disminuyeron, del orden del 10% en el caso de fósforo y magnesio.

Tabla 1. Valores de pH, carbono orgánico, nitrógeno total, fósforo Olsen y cationes intercambiables en el suelo mineral de las parcelas de estudio en función del sistema de preparación del terreno (valor medio y desviación estándar).

Trat	pH	CO		N	P	Ca	Mg	K	Al	Als
		%								
<b>Q</b>	4'1	2'3	0'21	1'3	0'43	0'33	68	7'3	84	
	(0'1)	(0'4)	(0'03)	(1'3)	(0'14)	(0'04)	(6)	(0'9)	(1)	
<b>D</b>	4'1	1'8	0'16	0'6	0'18	0'20	53	7'9	90	
	(0'1)	(0'3)	(0'01)	(1'0)	(0'09)	(0'04)	(5)	(1'2)	(2)	
	(ns)	**	**	(ns)	**	***	**	(ns)	***	

Q: quema de restos; D: decapado; n=4; (ns): no significativo; \*\*:  $P < 0.05$ ; \*\*\*:  $P < 0.01$ ; CO: carbono orgánico; N: nitrógeno total; P: fósforo Olsen; Ca, Mg, Na, K, Al: cationes de intercambio; Als: saturación de aluminio.

Tabla 2. Contenido total de diversos elementos en el suelo mineral (0-25 cm) de las parcelas de estudio en función del sistema de preparación del terreno (valores medios y desviaciones estándar).

Trat.	kg ha <sup>-1</sup>				
	CO	N	P	Mg	K
<b>Q</b>	78571	7117	1184	10230	76704
	(13825)	(985)	(197)	(1247)	(4215)
<b>D</b>	59423	5606	1053	9203	72735
	(9328)	(434)	(118)	(1134)	(6628)
	*	**	(ns)	(ns)	(ns)

Q: quema de restos; D: decapado; n=4; (ns): no significativo; \*:  $P < 0.1$ ; \*\*:  $P < 0.05$

El contenido de carbono orgánico en el suelo mineral en todas las parcelas estudiadas (Tabla 2) se encuentra dentro del rango inferior de los valores obtenidos en plantaciones de otros países (Turner y Lambert, 1986; Parfitt *et al.*, 1994). Este hecho puede estar relacionado, al menos en parte, con el tipo de gestión de los restos de tala, así como el uso histórico de las parcelas, en el que el helecho era cosechado periódicamente y, por tanto, la acumulación de carbono era muy limitada.

Las reservas de elementos disponibles fue en todos los casos menor en las parcelas decapadas que en las quemadas, suponiendo

las diferencias un 60% en el caso del calcio, un 50% para el fósforo, un 40% para el magnesio, y un 20% para el potasio. Esta diferencia fue significativa en el caso del calcio, magnesio, y potasio.

Las reservas fácilmente disponibles de elementos representaron una proporción muy pequeña, menor del 1%, de las reservas totales de fósforo, potasio, y magnesio en los horizontes minerales. Las concentraciones de calcio total fueron en todos los casos menores que el nivel mínimo que puede detectarse mediante ICP, y sólo una muestra de las parcelas TR llegó a alcanzar una concentración

de 300 mg.kg-1. Dado que la diferencia entre los contenidos de calcio intercambiable en las parcelas Q y en las parcelas D fue de 163 kg.ha-1, ésta sería la diferencia mínima entre los contenidos totales de calcio en el suelo en los dos tipos de parcelas.

En relación a las propiedades físicas del suelo, las parcelas D alcanzaron valores significativamente mayores de densidad aparente y de empaquetamiento en relación a las parcelas Q, y significativamente menores de porosidad total y de aireación, y de capacidad de retención de agua disponible (Tabla 3). Esta degradación de las propiedades físicas es el resultado de la compactación

producida tanto por las cadenas como por la pala frontal del bulldozer, pero en años posteriores se produce una cierta recuperación de estas propiedades (Olarieta *et al.*, 1997b).

Los valores de todas estas características en las parcelas Q sugieren que el crecimiento de las raíces no estaría restringido en ellas, mientras que en las parcelas D estos valores apuntan a la presencia de problemas graves para el enraizamiento de acuerdo con los criterios de Turner *et al.* (1990), Webb y Wilson (1995), y Zou *et al.* (2001). Son especialmente limitantes los valores medios del 1% de porosidad de aireación en las parcelas D.

Tabla 3. Algunas propiedades físicas de los horizontes minerales superficiales del suelo de las parcelas de estudio en función del sistema de preparación del terreno (valor medio y desviación estándar).

Trat.	DA <sup>1</sup>	De <sup>1</sup>	Pro. <sup>2</sup>	33 <sup>3</sup>	CRAD <sup>3</sup>	Aer. <sup>2</sup>
	Mg.m <sup>-3</sup>		%vol	%peso		%vol
<b>Q</b>	0.89	1.20	66	31	15	40
	(0.06)	(0.06)	(2)	(4)	(4)	(2)
<b>D</b>	1.53	1.86	41	26	9	1
	(0.02)	(0.02)	(1)	(1)	(1)	(1)
	***	***	***	***	***	***

Q:quema de restos;D:decapado;DA:densidad aparente;DE:densidad de empaquetamiento; Por.:porosidad total;33:capacidad de retención de agua a -33kPa; CRAD: capacidad de retención de agua disponible para las plantas; Aer.:porosidad de aireación; n=16; \*\*\*:P<0.01

### Horizontes orgánicos del suelo

La masa de los horizontes orgánicos en las parcelas Q fue de 13-50 Mg.ha<sup>-1</sup>, cantidad ésta, así como las de los diferentes elementos, significativamente mayor que las de las parcelas D (Tabla 4). Estas diferencias alcanzaron un 80-90% tanto para el carbono orgánico como para los diferentes elementos, mostrando la práctica desaparición de los horizontes orgánicos en las parcelas

preparadas por decapado.

### Raíces

Las cantidades de carbono orgánico y nutrientes en las raíces y rizomas (Tabla 5) fueron un 40-60% mayores en las parcelas preparadas por quema de restos, como resultado, fundamentalmente, de su mayor biomasa en estas parcelas que en las preparadas mediante decapado.

Tabla 4. Materia seca y contenido de carbono orgánico y diversos elementos en los horizontes orgánicos del suelo de las parcelas de estudio en función del sistema de preparación del terreno (valor medio y desviación estándar).

Trat.	MS	CO	N	P	Ca	Mg	K
	kg ha <sup>-1</sup>						
Q	20862 (9408)	7923 (2403)	195 (91)	11 (6)	55 (18)	17 (4)	57 (34)
D	3624 (1825)	1685 (900)	16 (3)	1 (0)	7 (3)	3 (1)	6 (2)
	***	***	***	**	***	***	**

Q: quema de restos; D: decapado. MS: materia seca; \*\*: P<0.05; \*\*\*: P<0.01; n=2, excepto en parcelas D y para la MS de las parcelas Q, en las que n=4

Tabla 5. Contenido de materia seca y diferentes elementos en las raíces de las parcelas de estudio en función del sistema de preparación del terreno (valor medio y desviación estándar).

Trat.	MS	CO	N	P	Ca	Mg	K
	kg ha <sup>-1</sup>						
Q	31309 (18057)	19513 (3846)	204 (22)	13 (3)	51 (2)	42 (13)	226 (57)
D	18332 (8033)	9339 (3053)	112 (11)	6 (2)	23 (7)	18 (3)	98 (17)
	(ns)	**	***	**	**	**	**

Q: quema de restos; D: decapado; (ns): no significativo; \*\*: P<0.05; \*\*\*: P<0.01; n=4 en MS; en las demás columnas n=2 en parcelas Q y n=3 en parcelas D

### Biomasa aérea arbustiva y herbácea

La biomasa aérea arbustiva y herbácea alcanzó 3-6 Mg.ha<sup>-1</sup> en las parcelas Q (Tabla 6), valores significativamente mayores que en las parcelas D, en las que apenas se acumularon 700-1400 kg.ha<sup>-1</sup> (Tabla 6). Estas diferencias son el resultado de la eliminación de la práctica totalidad de esta biomasa durante las labores de decapado así como de los propágulos que pudiera haber en los horizontes superficiales del suelo (Olarieta *et al.*, 1997a).

Las reservas de carbono y nutrientes en esta biomasa aérea también fueron significativamente mayores en las parcelas Q, y las diferencias en relación a las parcelas D alcanzaron un 70-80% (Tabla 6).

### Reservas totales de carbono y nutrientes

Las reservas totales de carbono orgánico y nutrientes en las parcelas estudiadas, exceptuando las plántulas de pino radiata, fueron mayores en las parcelas Q que en las parcelas D, siendo las diferencias

Tabla 6. Contenido de materia seca y diversos elementos en la biomasa aérea arbustiva y herbácea de las parcelas de estudio en función del sistema de preparación del terreno (valor medio y desviación estándar).

Trat.	MS	CO	N	P	Ca	Mg	K
	kg ha <sup>-1</sup>						
Q	4417 (1417)	2082 (660)	47 (14)	3 (1)	19 (6)	8 (3)	40 (13)
D	1079 (297)	490 (140)	14 (4)	1 (0)	4 (1)	2 (1)	14 (4)
	***	***	***	***	***	***	***

Q: quema de restos; D: decapado; \*\*\*:  $P < 0.01$ ; n=4

Tabla 7. Contenido total de carbono orgánico y de diversos elementos en las parcelas de estudio en función del sistema de preparación del terreno (valor medio y desviación estándar).

Trat.	CO	N	P	Mg	K
	kg.ha <sup>-1</sup>				
Q	106003 (29434)	7475 (1762)	1261 (294)	10169 (1494)	77911 (5056)
D	67059 (8826)	5544 (190)	1078 (139)	9265 (987)	73947 (7646)
	***	**	(ns)	(ns)	(ns)

Q: quema de restos; D: decapado; (ns): no significativo; \*:  $P < 0.1$ ;

\*\* :  $P < 0.05$ ; \*\*\*:  $P < 0.01$ ; n=2 para parcelas Q; n=3 para parcelas D

Tabla 8. Crecimiento en altura y diámetro de las plántulas de pino radiata en las parcelas de estudio en función del sistema de preparación del terreno (valor medio y desviación estándar).

Trat.	Crec. altura 1 año	Crec. altura 2 años	Crec. altura 3 años	Crec. altura 4 años
	centímetros			
Q	17 (14)	103 (29)	216 (50)	4.3 (1.0)
D	9 (9)	81 (23)	185 (52)	3.9 (1.1)
	***	***	***	**

Q: quema de restos; D: decapado; n=80; \*\*:  $P < 0.05$ ; \*\*\*:  $P < 0.01$

significativas para el carbono y nitrógeno (Tabla 7). Las diferencias en los valores medios de estas reservas suponen 39 Mg.ha<sup>-1</sup> para el carbono orgánico (37% de las reservas totales de carbono de las parcelas Q), 1900 kg.ha<sup>-1</sup> de nitrógeno (26%), 180 kg.ha<sup>-1</sup> de fósforo (15%). En relación al nitrógeno estos resultados son consistentes con los obtenidos por Smith *et al.* (1994) en Nueva Zelanda.

Por otra parte, las diferencias entre los contenidos medios de las parcelas Q y D suponen un 300-600% de las cantidades de nitrógeno y fósforo extraídas en un turno de pino radiata de productividad similar (Olarieta, 2003).

Supervivencia y crecimiento de las plántulas de pino radiata

No hubo diferencias significativas ( $P > 0.10$ ) entre los dos tratamientos en relación al número de plántulas muertas tras el primer año, obteniéndose un 8% de marras en las parcelas D y un 9% en las parcelas Q.

El crecimiento en altura y diámetro de las plántulas de pino radiata fue significativamente menor en las parcelas D que en las parcelas Q (Tabla 8), si bien la diferencia en las alturas medias de las plántulas disminuyó del 21% en el segundo año al 14% en el cuarto año.

Estas diferencias podrían estar relacionadas con la degradación de las propiedades físicas, ya que las plantaciones de pino radiata en la comarca responden negativamente ante la limitación de las condiciones de aireación del suelo (Olarieta *et al.*, 2006).

Aunque experiencias realizadas en Nueva Zelanda y Australia sugieren que es poco probable que se produzcan deficiencias en nitrógeno o fósforo en estas condiciones (Birk, 1994; Parfitt *et al.*, 1994; Smith *et al.*, 1994), la eliminación de los horizontes superficiales orgánicos y minerales produce una menor disponibilidad de nutrientes, y trabajos anteriores en la comarca han mostrado un respuesta positiva del crecimiento del pino

radiata a la disponibilidad de nitrógeno y fósforo (Olarieta, 2003; Olarieta *et al.*, 2006).

Asimismo, experiencias realizadas en localidades próximas con suelos similares (Virgel *et al.*, 1998) mostraron un mayor crecimiento de *P. radiata* tanto con aplicación de fertilizante NPK, como con aplicación de escorias Linz-Donawitz (con un 30% de calcio). Pero a su vez, la aplicación combinada de NPK y escorias aumentó el crecimiento en relación a las aplicaciones de estos fertilizantes por separado. Por tanto, proponemos que el bajo contenido en calcio (Olarieta, 2003), así como una absorción limitada de nitrógeno y fósforo como resultado de la acidez del suelo (Birk, 1994), pueden ser también causa del menor crecimiento en las parcelas D.

## CONCLUSIONES

El decapado, como sistema de preparación del terreno tras la matarrasa, origina diversos procesos de degradación de suelos en comparación con el sistema de quema de restos. Las parcelas preparadas por decapado tuvieron una disminución del 20-25% en las reservas de carbono orgánico y nitrógeno, y del 40% en la suma de base intercambiables del suelo. Asimismo, hubo un aumento de la densidad aparente y de la densidad de empaquetamiento, y una disminución de la porosidad de aireación y de la capacidad de retención de agua disponible que pudieron suponer una grave limitación al desarrollo radicular.

El crecimiento de las plántulas de pino radiata en las parcelas decapadas fue significativamente menor que en las parcelas preparadas por quema de restos tanto en altura (14% menor tras 4 años) como en diámetro (9% menor tras 4 años). Esto pudo ser debido a una menor disponibilidad de oxígeno y de humedad y también, como resultado, a una menor disponibilidad de nutrientes para las plántulas.



## REFERENCIAS

- Birk, E.M. (1994). Fertiliser use in the management of pine and eucalypt plantations in Australia: a review of past and current practices. *New Zealand Journal of Forestry Science*, 24(2/3): 289-320.
- Edeso, J.M., A. Merino, M.J. González, P. Masauri. (1999). Soil erosion under different harvesting managements in steep forestlands from northern Spain. *Land Degradation & Development*, 10: 79-88.
- Merino, A., J.M. Edeso, M.J. González, P. Masauri. (1998). Soil properties in a hilly area following different harvesting management practices. *Forest Ecology and Management*, 103: 235-246.
- Merino, A., A. Fernández-López, F. Sollagullón, J.M. Edeso. (2004). Soil changes and tree growth in intensively managed *Pinus radiata* in northern Spain. *Forest Ecology and Management*, 196: 393-404.
- Murphy, G., J.G. Firth, M.F. Skinner. (1997). Soil disturbance effects on *Pinus radiata* growth during the first 11 years. *New Zealand Forestry*, november: 27-30.
- Olarieta, J.R. (2003). Evaluación del Territorio y Ordenación de Usos Agrarios en la Comarca de Lea-Artibai (Bizkaia). Tesis Doctoral, Universitat de Lleida, Lleida.
- Olarieta, J.R., R. Rodríguez, G. Besga, M. Rodríguez, y S. Virgel. (1997) a. Evolución de la cubierta del suelo con diferentes sistemas de preparación del terreno tras la matarrasa de plantaciones de pino radiata. En: F. Puertas y M. Rivas (eds.), I Congreso Forestal Hispano-Luso, vol. II, Gobierno de Navarra, Pamplona, pp. 449-454.
- Olarieta, J.R., R. Rodríguez, G. Besga, M. Rodríguez, S. Virgel, M. Domingo. (1997) b. Efecto de las labores mecanizadas de preparación del terreno para plantaciones de pino radiata en algunas propiedades físico-químicas del suelo. En: F. Puertas y M. Rivas (eds.), I Congreso Forestal Hispano-Luso, vol. II, Gobierno de Navarra, Pamplona, pp. 455-459.
- Olarieta, J.R., G. Besga, R. Rodríguez, A. Usón, M. Pinto, S. Virgel. (1999). Sediment enrichment ratios after mechanical site preparation for *Pinus radiata* plantation in the Basque Country. *Geoderma*, 93: 255-267.
- Olarieta, J.R., G. Besga, R. Rodríguez-Ochoa, A. Aizpurúa, A. Usón. (2006). Land evaluation for forestry: a study of the land requirements for growing *Pinus radiata* D.Don in the Basque Country, northern Spain. *Soil Use and Management*, 22(3): 238-244.
- Parfitt, R.L., K.R. Tate, G.W. Yeates. (1994). Phosphorus cycling in a sandy podsol under *Pinus radiata*. *New Zealand Journal of Forestry Science*, 24(2/3): 253-267.
- Smethurst, P.J., E.K.S. Nambiar. (1990). Distribution of carbon and nutrients and fluxes of mineral nitrogen after clear-felling a *Pinus radiata* plantation. *Canadian Journal of Forest Research*, 20: 1490-1497.
- Smith, C.T., A.T. Lowe, P.N. Beets. (1994). Nutrient accumulation in second-rotation *Pinus radiata* after harvest residue management and fertiliser treatment of coastal sand dunes. *New Zealand Journal of Forestry Science*, 24(2/3): 362-389.
- Soil Survey Staff. (1999). *Soil Taxonomy*. Second Edition. USDA, Washington.
- Turner, J., M.J. Lambert. (1986). Fate of applied nutrients in a long-term super-

- phosphate trial in *Pinus radiata*. *Plant and Soil*, 93: 373-382.
- Turner, J., C.H. Thompson, N.D. Turvey, P. Hopmans, P. J. Ryan. (1990). A soil technical classification system for *Pinus radiata* (D. Don) plantations. I. Development. *Australian Journal of Soil Research*, 28: 797-811.
- Virgel, S., M. Pinto, M. Rodríguez, G. Besga. (1998). Interacciones entre el componente herbáceo y el forestal en un sistema silvopastoral. Comunicación a la XXXVIII Reunión Científica de la Sociedad Española para el Estudio de los Pastos, Soria.
- Webb, T.H., A.D. Wilson. (1995). *A Manual of Land Characteristics for Evaluation of Rural Land*. Landcare Research Science Series No.10. Manaaki Whenua Press, Lincoln, Nueva Zealanda.
- Zou, C., C. Penfold, R. Sands, R. K. Misra, I. Hudson. (2001). Effects of soil air-filled porosity, soil matric potential and soil strength on primary root growth of *radiata* pine seedlings. *Plant and Soil*, 236: 105-115.