

Meta-análisis de los efectos de la retirada de la madera quemada sobre la regeneración de los bosques mediterráneos: un paso hacia una gestión basada en la evidencia

N. Rodríguez Martínez¹, P. Bordas¹, J. Piñeiro¹, N. García de Castro¹, P. Martín¹, M. Méndez^{1,*}

(1) Área de Biodiversidad y Conservación, Depto. Biología y Geología, Universidad Rey Juan Carlos, c/ Tulipán s/n, 28933 Móstoles (Madrid), España

* Autor de correspondencia: M. Méndez [marcos.mendez@urjc.es]

> Recibido el 14 de febrero de 2012, aceptado el 13 de enero de 2013.

Rodríguez Martínez, N., Bordas, P., Piñeiro, J., García de Castro, N., Martín, P., Méndez, M. (2013). Meta-análisis de los efectos de la retirada de la madera quemada sobre la regeneración de los bosques mediterráneos: un paso hacia una gestión basada en la evidencia. *Ecosistemas* 22(1):71-76. Doi.: 10.7818/ECOS.2013.22-1.15

Muchos gestores basan sus decisiones en su experiencia de campo acumulada, pero no en la bibliografía científica primaria o el consejo por parte de científicos. Es muy infrecuente una gestión basada en la evidencia científica, consistente en el meta-análisis de la bibliografía primaria para dirimir entre opciones de gestión ambiental. Este artículo ilustra esta aproximación con el ejemplo de la gestión de la madera quemada en los bosques Mediterráneos. Tradicionalmente, tras los incendios en muchas partes del mundo, incluido el Mediterráneo, se lleva a cabo la corta y retirada de la madera quemada, usando argumentos económicos, ecológicos y estéticos. Sin embargo, existe una corriente contraria a esta práctica argumentando, entre otras razones, un potencial efecto negativo de la retirada de la madera quemada sobre la regeneración del bosque. Un meta-análisis de la bibliografía pertinente en el Mediterráneo indicó un efecto nulo (densidad y altura de plántulas) o negativo (supervivencia de plántulas) de la retirada de la madera quemada sobre la regeneración del bosque. Aunque un meta-análisis con un tamaño de muestra tan bajo como el posible en el presente estudio no permite conclusiones firmes sobre la gestión de la madera quemada, sí sugiere que: (1) la gestión actual no está en concordancia con la (escasa) evidencia disponible, al menos en lo tocante a la regeneración del bosque quemado y (2) es necesario recabar una evidencia más firme sobre esta práctica de gestión forestal.

Palabras clave: incendios, meta-análisis, regeneración, saca de madera quemada.

Rodríguez Martínez, N., Bordas, P., Piñeiro, J., García de Castro, N., Martín, P., Méndez, M. (2013). Meta-analysis of the effects of burnt wood removal on Mediterranean forest regeneration: a step towards an evidence-based management. *Ecosistemas* 22(1):71-76. Doi.: 10.7818/ECOS.2013.22-1.15

Many environmental managers base their decisions on previous field experience, but not on primary scientific literature or advice by academic scientists. Evidence-based management, based on primary scientific literature and meta-analysis, to decide among environmental management options is very infrequent. This paper illustrates this approach using as an example salvage logging in Mediterranean forests. Traditionally, forest management after fire has included salvage logging, i.e., harvest and removal of burnt wood, based on economic, ecological and esthetic grounds. However, salvage logging has also been criticised due to, among other reasons, its potential detrimental effects on forest regeneration. A meta-analysis of the relevant Mediterranean literature suggested no (seedling density and height) or negative (survival) effect of salvage logging on forest regeneration. Although a meta-analysis based on such a small sample size as the one possible in this study does not allow strong conclusions, it suggests that: (1) current management is not consistent with the (scarce) available evidence, at least regarding forest regeneration after fire and (2) stronger evidence should be gathered about this kind of forest management.

Key words: forest fire, meta-analysis, regeneration, salvage logging.

Introducción

La ausencia o lentitud de la transferencia de los conocimientos ecológicos a los gestores ambientales es una queja habitual tanto por parte de los científicos como de los gestores (García-Fayos et al. 2008). Muchos gestores basan sus decisiones en el sentido común, en su experiencia de campo acumulada o en el consejo de otros gestores; el uso de la bibliografía científica primaria o el consejo por parte de científicos profesionales es muy limitado (Sutherland et al. 2004). Como alternativa más deseable se ha propuesto una gestión basada en la evidencia (Sutherland et al. 2004; Davies et al. 2008), entendida como evidencia científica y no solamente

como experiencia personal de campo. La gestión basada en la evidencia pretende trascender la subjetividad de la experiencia personal de campo de cada gestor particular mediante la incorporación explícita de dos fuentes objetivas y más generalizables de información, los datos de la bibliografía ecológica primaria y el meta-análisis, para dirimir entre opciones de gestión ambiental. La Universidad de Bangor (Reino Unido) ha creado el *Center for Evidence Based Conservation* (CEBC) (www.cebc.bangor.ac.uk), pero en general esta iniciativa es relativamente reciente y no ha sido adoptada aún ampliamente. En el presente artículo ilustramos esta aproximación usando el ejemplo de la gestión de la madera quemada en los bosques Mediterráneos.

Tradicionalmente, la gestión de bosques tras los incendios en muchas partes del mundo, incluida el área Mediterránea, se ha basado en la corta y retirada de la madera quemada -*salvage logging*- (Ne'eman et al. 1995; Marqués y Mora 1998; McIver y Starr 2000; Vallejo y Alloza 2004; Lindenmayer y Noss 2006; Noss et al. 2006; Castro Gutiérrez et al. 2008; Castro et al. 2011). Esta práctica se ha justificado usando argumentos económicos, por la venta de la madera quemada (Prestemon y Holmes 2000; Eklund et al. 2009). Además, existen argumentos ecológicos, puesto que la retirada de madera quemada puede reducir el riesgo frente a otras perturbaciones como plagas (Amman y Ryan 1991) o futuros incendios debido a la acumulación de combustible (Keyser et al. 2009; Fraver et al. 2011; Collins et al. 2012). Finalmente, hay razones utilitarias relacionadas con la mejor la accesibilidad en las labores de restauración y por estética (Martínez-Sánchez et al. 1999; Greene et al. 2006) (para una revisión, véase Lindenmayer et al. 2008).

Sin embargo, en los últimos 15 años ha aparecido una corriente contraria a la retirada de esta madera quemada en los bosques después de un incendio (Beschta et al. 2004; Lindenmayer et al. 2008). Los críticos señalan una serie de impactos negativos de la retirada de la madera quemada (Lindenmayer et al. 2008), tales como la modificación del régimen hidrológico (Greene et al. 2006), la perturbación que provoca la propia retirada de la madera muerta (Bautista et al. 2004; Greene et al. 2006), sus efectos negativos potenciales o demostrados sobre la biota que depende de la madera muerta (Greene et al. 2006) o de las zonas quemadas (Lindenmayer y Noss 2006) y el aumento de la erosión (Marqués y Mora 1998; Bautista et al. 2004; Karr et al. 2004). De especial importancia se considera el potencial efecto negativo que tiene la retirada de la madera quemada sobre la regeneración del bosque (Ne'eman et al. 1995; Martínez-Sánchez et al. 1999; Bautista et al. 2004; Karr et al. 2004; Greene et al. 2006; Castro et al. 2009, 2011). Los partidarios de retener la madera quemada aducen que ello proporciona microhábitats adecuados para el reclutamiento de las plántulas (Castro et al. 2011).

Existe por tanto un debate sobre la gestión más adecuada en casos de incendio en los bosques en lo referente a retirar o no la madera quemada. Resolver este debate es vital para plantear correctamente las políticas de gestión, ya que ello permitiría un gran ahorro de tiempo y dinero, de esfuerzo por parte de las Administraciones, y una mejora de los resultados de regeneración (en la supervivencia de las plántulas, germinación de semillas, densidad de plántulas, altura y grosor de la planta). Existe un número creciente de investigaciones que evalúan los efectos de la extracción de la madera quemada sobre el reclutamiento de plántulas, principalmente en sistemas forestales boreales de Europa y América, donde ya se han adoptado prácticas de gestión que incluyen la permanencia de los restos quemados (Hilszczański et al. 2005; Eriksson et al. 2006; Gibb et al. 2006; de Chantal y Granström 2007). En España, se ha aducido que no existe evidencia científica que apoye la retirada de la madera quemada (Bautista et al. 2004) y se ha revisado esta controversia (Valladares 2004; Vallejo y Alloza 2004), pero de modo meramente narrativo.

De acuerdo con la metodología propuesta por la gestión basada en la evidencia (Sutherland et al. 2004), en este artículo realizamos un meta-análisis sobre los efectos de la retirada de madera quemada tras un incendio sobre variables relacionadas con la regeneración del bosque en zonas Mediterráneas. El meta-análisis es un modo de revisión sistemático, que aúna de modo cuantitativo la evidencia obtenida a partir de estudios independientes (Stewart et al. 2005; Borenstein et al. 2009). Este tipo de revisión sigue un estricto protocolo metodológico y estadístico, por lo que aporta a sus resultados transparencia, objetividad y fortaleza estadística (Stewart et al. 2005; Borenstein et al. 2009). Los objetivos específicos del presente artículo son averiguar si la permanencia de la madera quemada tiene efectos negativos sobre la densidad, la altura y la supervivencia de las plántulas, con respecto a la práctica habitual de retirar la madera quemada.

Material y métodos

Búsqueda bibliográfica

Se realizó una revisión bibliográfica sobre trabajos experimentales que evalúan el efecto de la retirada de la madera quemada en la regeneración post-incendio. Para la búsqueda se consultaron las bases de datos *Science Direct* e *Isi Web of Knowledge*. Las palabras clave para esta búsqueda fueron "*salvage logging*", "*post fire regeneration*", "*burnt wood removal*", "*post-fire management*" y "*wildfire*". La búsqueda se complementó con la base de datos *Dialnet*, relativa a publicaciones nacionales. En ella se utilizaron como palabras clave: "madera quemada", "Mediterráneo", "gestión forestal", "incendio", "tratamiento", "regeneración". Finalmente, se realizó la consulta de libros sobre incendios en zonas Mediterráneas y la búsqueda de actas de congresos. De los estudios encontrados, se seleccionaron aquellos que cumplieren las siguientes características: (1) estaban localizados en la región Mediterránea, (2) incluían al menos el tratamiento de corta y retirada de la madera quemada y un tratamiento control; no se incluyeron tratamientos intermedios de corta y esparcido de los restos quemados, por la heterogeneidad en el diseño que presentaban los estudios que evaluaban estas técnicas, (3) cuantificaban alguna de estas variables: densidad, altura y mortalidad de plántulas y (4) proporcionaban detalles suficientes de los resultados como para permitir su inclusión en el meta-análisis. En algunos casos, se consultó a los autores para recabar información necesaria.

Análisis estadístico

Se llevaron a cabo tres meta-análisis separados, uno para cada variable respuesta considerada, utilizando el programa *Comprehensive Meta-Analysis V2* (www.meta-analysis.com). En las tres variables, se consideraron los datos relativos a las mediciones realizadas entre 18 y 24 meses después del tratamiento. Para las variables "Altura" y "Densidad", de tipo cuantitativo, el tamaño del efecto se calculó por medio de la *g* de Hedges (Borenstein et al. 2009) usando las medias, desviaciones típicas y tamaño muestral en cada tratamiento (retirada de madera quemada y control). Para la variable "Mortalidad", de tipo categórico, el tamaño del efecto se calculó por medio de la *odds ratio* (Borenstein et al. 2009) utilizando las frecuencias de plántulas vivas y muertas en cada tratamiento. En unos pocos casos, la mortalidad se expresaba como valor medio, desviación típica y tamaño muestral de la mortalidad por tratamiento, con las parcelas como unidad muestral. En estos casos, se calculó el tamaño del efecto por medio de la *g* de Hedges. Para poder hacer un tratamiento conjunto de los datos de mortalidad, se transformó el tamaño del efecto medido como *odds ratio* en un tamaño del efecto medido como *g* de Hedges (Borenstein et al. 2009). Todos los tamaños del efecto fueron calculados considerando el efecto del tratamiento (retirada de la madera quemada) con respecto al efecto del control (permanencia de la madera quemada).

En la mayoría de los casos, las medias y desviaciones típicas se presentaban en los artículos originales en forma de medias por parcela, con lo cual el tamaño muestral fue referido al número de parcelas. Esto resta mucha potencia al meta-análisis, puesto que el número de parcelas fue por lo general inferior a 10.

Cuando los estudios realizaban varias comparaciones independientes, p. ej. distintas especies de árboles, altitudes, zonas de estudio o edades de las masas arbóreas, se calculó un tamaño medio del efecto común para todo el estudio, con el fin de no sobreestimar la cantidad de datos y para tener en cuenta la falta de independencia entre conjuntos de datos de un mismo grupo investigador (Borenstein et al. 2009; Pedro Quintana-Ascencio, com. pers.).

Siguiendo las recomendaciones de Borenstein et al. (2009), en cada meta-análisis se calculó la heterogeneidad *Q* utilizando un modelo de efectos fijos, pero la significación del tamaño medio del efecto se calculó usando un modelo de efectos aleatorios. Aunque en algunos casos se detectó una heterogeneidad significativa, el número de estudios fue muy bajo y por ello se optó por no realizar una partición adicional de los datos. En su lugar, se evaluó la in-

fluencia de cada estudio incluido en el meta-análisis mediante el cálculo del tamaño medio del efecto tras eliminar de la muestra un estudio cada vez. De esta manera se puede conocer la magnitud de cada unidad de análisis en el tamaño del efecto (Gómez-Aparicio et al. 2004; Borenstein et al. 2009).

El bajo número de estudios incluidos en cada meta-análisis tampoco hizo relevante el cálculo del sesgo de publicación.

Resultados

Se incluyeron ocho estudios, que representaron 24 unidades de análisis (Tabla 1). Al menos otros cinco estudios tuvieron que descartarse por no presentar alguno de los datos necesarios para calcular el tamaño del efecto. La mayoría de los estudios incluidos en los meta-análisis analizaron bosques de *Pinus*, principalmente *P. pinaster* (Tabla 1).

A continuación se presentan los resultados del meta-análisis para cada una de las variables.

Densidad

No se encontraron efectos significativos del tratamiento sobre la densidad de plántulas (Fig. 1). Sólo Madrigal et al. (2007) presentó un tamaño del efecto significativo (Apéndice 1). Se encontró una heterogeneidad significativa en el tamaño medio del efecto ($Q = 12.27$, g.l. = 5, $p = 0.031$). La eliminación de un estudio de cada vez indicó cierta influencia de los estudios de Guzmán Álvarez et al. (2005) y de Madrigal et al. (2007), aunque en ningún caso su eliminación condujo a un efecto significativo del tratamiento (Tabla 2).

Altura

No hubo efectos significativos del tratamiento sobre la altura de las plántulas (Fig. 1). No obstante, tres de los cinco estudios incluidos presentaron un tamaño de efecto significativo sobre la altura de las plántulas (Apéndice 1). La heterogeneidad entre los estudios fue significativa ($Q = 29.02$, g.l. = 4, $p < 0.01$). Cuando se repitió el análisis eliminando un estudio en cada ocasión, se pudo observar la relevancia del estudio de Madrigal et al. (2007) (Tabla 2). Sin este estudio, el tamaño medio del efecto se hizo mucho más negativo y llegó a ser significativo (Tabla 2).

Mortalidad

Hubo efectos significativos del tratamiento sobre la mortalidad de plántulas (Fig. 1). El tamaño del efecto fue significativo para cinco de los estudios incluidos (Apéndice 1). La heterogeneidad entre estudios fue significativa ($Q = 47.72$; g.l. = 6, $p < 0.01$). El tamaño medio del efecto siguió siendo significativo al eliminar cada uno de los estudios; no se detectó una influencia desmedida de ninguno de los estudios sobre el tamaño medio del efecto (Tabla 2).

Discusión

Todos los meta-análisis indicaron un efecto nulo o negativo de la retirada de la madera quemada sobre la regeneración del bosque. El tamaño medio del efecto fue nulo para la densidad y la altura de las plántulas y la mortalidad fue significativamente superior cuando se retiró la madera quemada (Fig. 1). Además, para aquellos estudios individuales para los cuales los tamaños del efecto fueron significativos (Apéndice 1), los tamaños del efecto fueron en todos los casos menos uno (altura de las plantas en Madrigal et al. 2007) de carácter negativo, lo cual indica consecuencias perjudiciales de la retirada de la madera quemada para la densidad y la altura de plántulas. En conjunto, la evidencia combinada de los estudios disponibles sugiere que la retirada de la madera quemada no sólo no mejora las capacidades de regeneración del bosque tras un incendio sino que o bien las dificulta o bien no supone ninguna ventaja.

Estos resultados están en consonancia con los de otros estudios realizados en sistemas boreales o templados (Greene et al. 2006; de Chantal y Granström 2007; Lilja-Rothsten et al. 2008). En ecosistemas Mediterráneos, estudios experimentales han mostrado

Tabla 1. Características de los estudios incluidos en el meta-análisis

Estudio	Localización	Variable	Especie
Castro Gutiérrez et al. (2008)	Sierra Nevada	Mortalidad	<i>Juniperus communis</i>
Castro et al. (2011)	Sierra Nevada	Altura Densidad Mortalidad	<i>Pinus pinaster</i>
Fernández et al. (2008)	Orense	Altura Densidad Mortalidad	<i>Pinus pinaster</i>
Guzmán Álvarez et al. (2005)	Sierra de Cazorla	Densidad	<i>Pinus halepensis</i>
Madrigal et al. (2007)	Monte Egidos (Cáceres)	Altura Densidad Mortalidad	<i>Pinus pinaster</i>
Martínez-Sánchez et al. (1999)	Albacete	Altura Densidad Mortalidad	<i>Pinus halepensis</i>
Serrada et al. (2009)	Guadalajara	Altura Densidad Mortalidad	<i>Pinus pinaster</i> <i>Quercus pyrenaica</i>
Vega Hidalgo et al. (2009)	Guadalajara	Mortalidad	<i>Pinus pinaster</i>

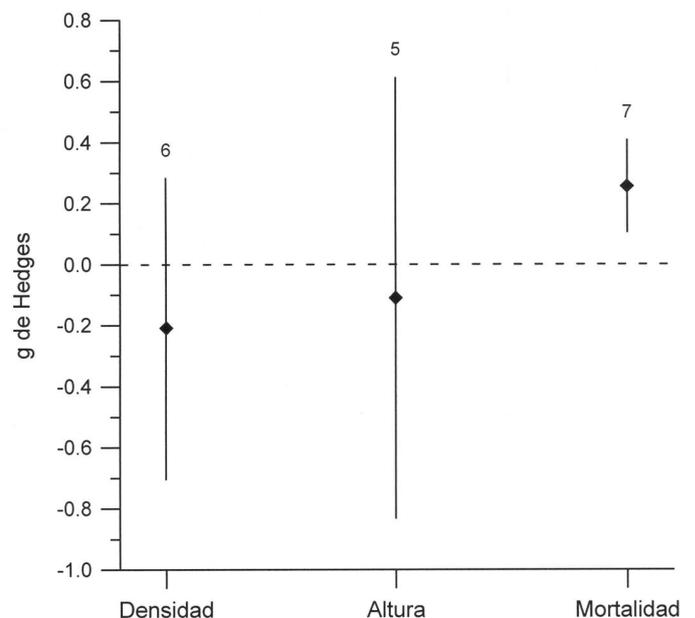


Figura 1. Tamaño medio del efecto del tratamiento de retirada de la madera quemada sobre la densidad, la altura y la mortalidad de plántulas. El rombo indica el tamaño medio del efecto y las barras verticales indican los límites superior e inferior del tamaño medio del efecto. Los números sobre cada barra indican el tamaño muestral.

una ausencia de diferencias significativas entre tratamientos en otras variables como la riqueza específica (Ne'eman et al. 1995), la cobertura del regenerado (Vallejo y Alloza 2004) o la dispersión de semillas (Puerta-Piñero et al. 2010). Existen resultados similares para variables relacionadas con la erosión del suelo, como la formación de regueros lineales (Vallejo y Alloza 2004), y las tasas de erosión en laderas (Marqués y Mora 1998).

En otros estudios, la diferencia entre tratamientos es mayor en los periodos cercanos al incendio y se atenúan a lo largo del tiempo (Ne'eman et al. 1995; Vallejo y Alloza 2004). En el presente meta-análisis se consideraron los datos al cabo de 18-24 meses de la aplicación del tratamiento. Una disminución de la diferencia entre tratamientos implicaría una reducción del tamaño medio del efecto pero no modificaría las conclusiones generales: la retirada

Tabla 2. Tamaño medio del efecto (g de Hedges) del tratamiento de corta y retirada al eliminar cada estudio del análisis, para cada variable analizada. Se indica el error típico (E. T.) de la g de Hedges, los límites inferior y superior de la g de Hedges, el valor del estadístico z y la significación (p).

Estudio y variable	g de Hedges	E. T.	Límite inferior	Límite superior	z	p
Densidad						
Castro et al. (2011)	-0.241	0.296	-0.821	0.339	-0.815	0.415
Fernández et al. (2008)	-0.118	0.265	-0.638	0.402	-0.443	0.658
Guzmán Álvarez et al. (2005)	-0.380	0.226	-0.822	0.063	-1.680	0.093
Madrigal et al. (2007)	-0.010	0.218	-0.438	0.418	-0.046	0.964
Martínez-Sánchez et al. (1999)	-0.213	0.325	-0.849	0.424	-0.655	0.512
Serrada et al. (2009)	-0.284	0.300	-0.872	0.304	-0.946	0.344
Altura						
Castro et al. (2011)	-0.075	0.584	-1.220	1.070	-0.128	0.898
Fernández et al. (2008)	0.052	0.408	-0.748	0.852	0.128	0.898
Madrigal et al. (2007)	-0.424	0.182	-0.781	0.066	-2.324	0.020
Martínez-Sánchez et al. (1999)	0.074	0.458	-0.824	0.971	0.161	0.872
Serrada et al. (2009)	-0.148	0.468	-1.066	0.770	-0.317	0.751
Mortalidad						
Castro Gutiérrez et al. (2008)	0.221	0.076	0.071	0.371	2.886	0.004
Castro et al. (2011)	0.238	0.082	0.076	0.399	2.886	0.004
Fernández et al. (2008)	0.234	0.082	0.074	0.393	2.863	0.004
Madrigal et al. (2007)	0.283	0.096	0.095	0.470	2.952	0.003
Martínez-Sánchez et al. (1999)	0.253	0.080	0.097	0.410	3.178	0.001
Serrada et al. (2009)	0.274	0.038	0.199	0.348	7.188	0.000
Vega Hidalgo et al. (2009)	0.241	0.079	0.087	0.394	3.064	0,002

de la madera quemada no produce efectos sobre la densidad, altura o mortalidad de plántulas como para justificar tal práctica de gestión.

Somos perfectamente conscientes de que un meta-análisis con un tamaño de muestra tan bajo como el posible en el presente estudio no permite extraer conclusiones firmes sobre la gestión de la madera quemada. No obstante, este ejercicio ilustra dos puntos muy importantes de cara a conseguir una gestión racional (i.e. basada en la evidencia científica) de la madera quemada en los bosques Mediterráneos. En primer lugar, aunque nuestro meta-análisis no permite descartar contundentemente la gestión actual de la madera quemada en lo tocante a la regeneración del bosque quemado, debería servir al menos como elemento de reflexión. Ante la falta de evidencia científica ¿debe la gestión de la madera muerta seguir basándose en la impresión subjetiva o en la experiencia particular de cada gestor? ¿Cabe esperar encontrar reglas generales para guiar la gestión de la madera quemada? Una respuesta negativa supone una actitud que debilita también a la regla generalizada de retirar la madera quemada. Naturalmente, los gestores pueden aducir otro tipo de razones para justificar la retirada de madera quemada, como la económica, pero nuestros resultados sugieren que estas razones también precisan de una reconsideración meditada tras un análisis riguroso de la evidencia. Por ejemplo, Eklund et al. (2009) y Leverkus et al. (2012) demuestran que la retirada de madera quemada no necesariamente supone la mejor alternativa de gestión desde un punto de vista económico. Otros aspectos de la gestión de la madera quemada como los riesgos de incendios (Anónimo 2007; Thompson et al. 2007) o de plagas se beneficiarían de análisis similares, así como de una aproximación mediante meta-análisis.

En segundo lugar, es necesario recabar una evidencia científica más firme sobre la eficacia de esta práctica de gestión forestal. Para empezar, sería necesario incluir en el meta-análisis estudios que no pudieron considerarse por no presentar los datos necesarios. Al menos otros tres estudios (Ne'eman et al. 1995; Bautista

et al. 2004; Prévosto y Ripert 2008) tuvieron que descartarse por este motivo. Hacemos un llamamiento a los autores de futuros estudios, así como los editores de las revistas, para que pongan la máxima atención en la presentación de los resultados, de modo que puedan incorporarse a potenciales meta-análisis. Además, el número de estudios debe aumentar, bien por experimentación adicional o bien mediante la salida a la luz de datos no publicados. Otro factor a considerar para lograr una evidencia más robusta es el rango de bosques considerados en la bibliografía. La mayor parte de los estudios incluidos en el presente meta-análisis se realizaron en bosques de *Pinus pinaster*. Por tanto, no es conveniente extrapolar los resultados a otros tipos de pinares o de bosques de frondosas. Los bosques de *P. pinaster* no son particularmente propensos a la autosucesión (Rodrigo et al. 2004). Otras especies forestales de regeneración directa tras los incendios podrían tener otra respuesta a la retirada de madera quemada. Finalmente, es igualmente conveniente evaluar opciones de gestión intermedias como el astillado y esparcido de la madera quemada (Castro Gutiérrez et al. 2008; Fernández et al. 2008; Madrigal et al. 2009; Castro et al. 2011). Todas estas mejoras permitirían meta-análisis más robustos, con una estima más fiable de los tamaños de los efectos y una evaluación de la influencia de factores como la especie arbórea o el tratamiento, que puedan ayudar a decidir en qué situaciones la retirada de la madera quemada es o no conveniente.

En resumen, los estudios experimentales disponibles en la actualidad, aun siendo demasiado escasos como para permitir ninguna conclusión firme, no señalan beneficios evidentes de la extracción de la madera quemada e invitan a una reflexión sobre la robustez de las bases de la gestión de la madera quemada en bosques Mediterráneos. Una gestión basada en la evidencia en este aspecto requiere una mayor consciencia de la importancia de una adecuada presentación de datos por parte de los investigadores, la salida a la luz de datos no publicados y un mayor esfuerzo de experimentación.

Agradecimientos

Agradecemos a José Ramón Guzmán y a Javier Madrigal el haber facilitado detalles de sus datos, necesarios para el cálculo de los tamaños del efecto. Fernando T. Maestre y Pedro Quintana-Ascencio proporcionaron valiosos consejos sobre el análisis de los datos. Agradecemos los comentarios constructivos de dos revisores anónimos a una versión previa de este trabajo. Exceptuando el último autor, el orden de los autores se ha elegido al azar.

Referencias

- Amman, G.D., Ryan, K.C. 1991. *Insect infestation of fire-injured trees in the Greater Yellowstone area*. Research Note INT-398, USDA Forest Service, Intermountain Forest and Range Experiment Station, Ogden, UT, USA.
- Anónimo 2007. Salvage logging from burned forests worsens later fires. *International Forestry Review* 9:A22-A23.
- Bautista, S., Gimeno, T., Mayor, A.G., Gallego, D. 2004. El tratamiento de la madera quemada tras los incendios forestales. En: Vallejo, V. R., Alloza, J. A. (eds.) *Avances en el estudio de la gestión del monte Mediterráneo*, pp. 547-570. Fundación CEAM, Valencia.
- Beschta, R.L., Rhodes, J.J., Kauffman, J.B., Gresswell, R.E., Minshall, G.W., Karr, J.R., Perry, D.A., Hauer, F.R., Frisell, C. A. 2004. Postfire management on forested public lands of the western United States. *Conservation Biology* 18:957-967.
- Borenstein, M., Hedges, L.V., Higgins, J.P.T., Rothstein, H.R. 2009. *Introduction to meta-analysis*. John Wiley and Sons, Chichester, UK.
- Castro, J., Navarro, R., Guzmán, J.R., Zamora, R., Bautista, S. 2009. ¿Es conveniente retirar la madera quemada tras un incendio forestal? *Quercus* 281:34-41.
- Castro, J., Allen, C.D., Molina-Morales, M., Marañón-Jiménez, S., Sánchez-Miranda, A., Zamora, R. 2011. Salvage logging versus the use of burnt wood as a nurse object to promote post-fire tree seedling establishment. *Restoration Ecology* 19:537-544.
- Castro Gutiérrez, J., Sánchez-Miranda Moreno, A., Lorite Moreno, J., Zamora Rodríguez, R. 2008. Resultados preliminares del efecto de los tratamientos selvícolas post-incendio relacionados con la madera quemada sobre el establecimiento de plantones de *Juniperus communis* L. en la alta montaña mediterránea. *Cuadernos de la Sociedad Española de Ciencias Forestales* 28:31-36.
- Collins, B.J., Rhoades, C.C., Battaglia, M.A., Hubbard, R. M. 2012. The effects of bark beetle outbreaks on forest development, fuel loads and potential fire behavior in salvage logged and untreated lodgepole pine forests. *Forest Ecology and Management* 284:260-268.
- de Chantal, M., Granström, A. 2007. Aggregations of dead wood after wildfire act as browsing refugia for seedlings of *Populus tremula* and *Salix caprea*. *Forest Ecology and Management* 250:3-8.
- Davies, Z.G., Tyler, C., Stewart, G.B., Pullin, A.S. 2008. Are current management recommendations for saproxylic invertebrates effective? A systematic review. *Biodiversity and Conservation* 17:209-234.
- Eklund, A., Wing, M.G., Sessions, J. 2009. Evaluating economic and wildlife habitat considerations for snag retention policies in burned landscapes. *Western Journal of Applied Forestry* 24:67-75.
- Eriksson, M., Lilja, S., Roininen, H. 2006. Dead wood creation and restoration burning: Implications for bark beetles and beetle induced tree deaths. *Forest Ecology and Management* 231:205-213.
- Fernández, C., Vega, J.A., Fonturbel, T., Jiménez, E., Pérez-Gorostiaga, P. 2008. Effects of wildfire, salvage logging and slash manipulation on *Pinus pinaster* Ait. recruitment in Orense (NW Spain). *Forest Ecology and Management* 255:1294-1304.
- Fraver, S., Jain, T., Bradford, J.B., D'Amato, A.W., Kastendick, D., Palik, B., Shineman, D., Stanovik, J. 2011. The efficacy of salvage logging in reducing subsequent fire severity in conifer-dominated forests of Minnesota, USA. *Ecological Applications* 21:1895-1901.
- García-Fayos, P., Bonet, F.J., Valladares, F., Traveset, A., Pausas, J.G., Bosco Imbert, J., Lloret, F. 2008. El ecólogo en su laberinto. *Ecosistemas* 17:125-127.
- Gibb, H., Pettersson, R.B., Hjäältén, J., Hilszczański, J., Ball, J.P., Johansson, T., Atlegrim, O., Danell, K. 2006. Conservation-oriented forestry and early successional saproxylic beetles: Responses of functional groups to manipulated dead wood substrates. *Biological Conservation* 129:437-450.
- Gómez-Aparicio, L., Zamora, R., Gómez, J.M., Hódar, J.A., Castro, J., Baraza, E. 2004. Applying plant facilitation to forest restoration: a meta-analysis of the use of shrubs as nurse plants. *Ecological Applications* 14:1128-1138.
- Greene, D.F., Gauthier, S., Noël, J., Rousseau, M., Bergeron, Y. 2006. A field experiment to determine the effect of post-fire salvage on seedbeds and tree regeneration. *Frontiers in Ecology and the Environment* 4:69-74.
- Guzmán Álvarez, J.R., Navarro Cerrillo, R., Contreras Mira, I. 2005. Efecto de la retirada de madera sobre la regeneración de pino resinero (*Pinus pinaster*) tras un incendio en la Sierra de Cazorla. En: *IV Congreso Forestal Español. CD de Ponencias y Comunicaciones*, pp. 1-8. Sociedad Española de Ciencias Forestales, Zaragoza.
- Hilszczański, J., Gibb, H., Hjäältén, J., Atlegrim, O., Johansson, T., Pettersson, R.B., Ball, J., Danell, K. 2005. Parasitoids (Hymenoptera, Ichneumonidae) of saproxylic beetles are affected by forest successional stage and dead wood characteristics in boreal spruce forest. *Biological Conservation* 126:456-464.
- Karr, J.R., Rhodes, J.J., Minshall, G.W., Hauer, F.R., Beschta, R.L., Frisell, C.A., Perry, D.A. 2004. The effects of postfire salvage logging on aquatic ecosystems in the American West. *BioScience* 54:1029-1033.
- Keyser, T.L., Smith, F.W., Shepperd, W.D. 2009. Short-term impact of post-fire salvage logging on regeneration, hazardous fuel accumulation, and understory development in ponderosa pine forests of the Black Hills, SD, USA. *International Journal of Wildland Fire* 18:451-458.
- Leverkus, A.B., Puerta-Piñero, C., Guzmán-Álvarez, J.R., Navarro, J., Castro, J. 2012. Post-fire salvage logging increases restoration costs in a Mediterranean mountain ecosystem. *New Forests* 43:601-613.
- Lilja-Rothsten, S., de Chantal, M., Peterson, C., Kuuluvainen, T., Vanha-Majamaa, I., Puttonen, P. 2008. Microsites before and after restoration in managed *Picea abies* stands in southern Finland: effects of fire and partial cutting with dead wood creation. *Silva Fennica* 42:165-176.
- Lindenmayer, D.B., Noss, R.F. 2006. Salvage logging, ecosystem processes, and biodiversity conservation. *Conservation Biology* 20: 949-958.
- Lindenmayer, D.B., Burton, P.J., Franklin, J.F. 2008. *Salvage logging and its ecological consequences*. Island Press, Washington D.C., USA.
- Madrigal, J., Hernando, C., Guijarro, M., Díez, C., Gil, J.A. 2007. Influencia de la corta a hecho y tratamiento de residuos en la supervivencia del regenerado natural post-incendio de *Pinus pinaster* Ait. en el monte "Egidos" Acebo (Cáceres, España). En: *Wildfire 2007, 4ª Internacional Wildland Fire Conference*, Sevilla. Disponible en: <http://www.fire.uni-freiburg.de/sevilla-2007/contributions/html/in/pais.html>.
- Marqués, M.A., Mora, E. 1998. Effects of erosion of two post-fire management practices: clear-cutting versus non-intervention. *Soil and Tillage Research* 45:433-439.
- Martínez-Sánchez, J.J., Ferrandis, P., de las Heras, J., Herranz, J.M. 1999. Effect of burnt wood removal on the natural regeneration of *Pinus halepensis* after fire in a pine forest in Tus valley (SE Spain). *Forest Ecology and Management* 123:1-10.
- Mclver, J.D., Starr, L. 2000. *Environmental effects of postfire logging: literature review and annotated bibliography*. United States Department of Agriculture. Portland, OR, USA.
- Ne'eman, G., Lahav, H., Izhaki, I. 1995. Recovery of vegetation in a natural east Mediterranean pine forest on Mount Carmel, Israel as affected by management strategies. *Forest Ecology and Management* 75:17-26.
- Noss, R.F., Beier, P., Covington, W.W., Grumbine, R.E., Lindenmayer, D.B., Prather, J.W., Schmiegelow, F., Sisk, T.D., Vosick, D.J. 2006. Recommendations for integrating restoration ecology and conservation biology in ponderosa pine forests of the southwestern United States. *Restoration Ecology* 14: 4-10.
- Prestemon, J.P., Holmes, T.P. 2000. Timber price dynamics following a natural catastrophe. *American Journal of Agricultural Economy* 82:145-160.
- Prévosto, B., Ripert, C. 2008. Regeneration of *Pinus halepensis* stands after partial cutting in southern France: impacts of different ground vegetation, soil and logging slash treatments. *Forest Ecology and Management* 256:2058-2064.
- Puerta-Piñero, C., Sánchez, A., Leverkus, A., Castro, J. 2010. Management of burnt wood after fire affects post-dispersal acorn predation. *Forest Ecology and Management* 260: 345-352.
- Rodrigo, A., Retana, J., Picó, F.X. 2004. Direct regeneration is not the only response of Mediterranean forests to large fires. *Ecology* 85:716-729.
- Serrada Hierro, R., Aguilar Parra, V., Aroca Fernández, M.J., Carrillo Patiño, A., Ocaña Bueno, L. 2009. Estudio sobre la regeneración de las masas

forestales afectadas por el incendio ocurrido el día 16 de julio en la comarca del Rodenal (Guadalajara). En: *5º Congreso Forestal Español*. Sociedad Española de Ciencias Forestales, Ávila.

- Stewart, G.B., Coles, C.F., Pullin, A.S. 2005. Applying evidence-based practice in conservation management: lessons from the first systematic review and dissemination projects. *Biological Conservation* 126:270-278.
- Sutherland, W.J., Pullin, A.S., Dolman, P.M., Knight, T.M. 2004. The need for evidence-based conservation. *Trends in Ecology and Evolution* 19: 305-308.
- Thompson, J.R., Spies, T.A., Ganio, L.M. 2007. Reburn severity in managed and unmanaged vegetation in a large wildfire. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA* 104:10743-10748.

Valladares, F. 2004. *Ecología del bosque mediterráneo en un mundo cambiante*. Ministerio de Medio Ambiente, Madrid.

- Vallejo, V.R., Alloza, J.A. (eds.) 2004. *Avances en el estudio de la gestión del monte mediterráneo*. Fundación CEAM, Valencia. España.
- Vega Hidalgo, J.A., Madrigal Olmo, J., Fonturbel Lliteras, T., Hernando Lara, C., Pérez Suárez, J., Guijarro Guzmán, M., Fernández Filgueira, C., Díez Galilea, C., del Amo, M., Carrillo Patiño, A., Ocaña Bueno, L., Santos Martín, I. 2009. Efecto de la severidad del incendio y la corta a hecho del arbolado sobre la supervivencia del regenerado de *P. pinaster* Ait. después del gran incendio del Rodenal de Guadalajara. En: *5º Congreso Forestal Español*. Sociedad Española de Ciencias Forestales, Ávila.

Apéndices

Apéndice 1. Tamaño medio del efecto (*g* de Hedges) del tratamiento de corta y retirada de madera para cada estudio del análisis en cada variable analizada. Se indica el error típico (*E. T.*) de la *g* de Hedges, los límites inferior y superior de la *g* de Hedges, el valor del estadístico *z* y la significación (*p*).

Estudio y variable	<i>g</i> de Hedges	<i>E. T.</i>	Límite inferior	Límite superior	<i>z</i>	<i>p</i>
Densidad						
Castro et al. (2011)	-0.043	0.473	-0.970	0.884	-0.091	0.928
Fernández et al. (2008)	-0.979	0.612	-2.178	0.220	-1.600	0.110
Guzmán Álvarez et al. (2005)	0.606	0.375	-0.128	1.341	1.618	0.106
Madrigal et al. (2007)	-0.943	0.327	-1.585	-0.301	-2.880	0.004
Martínez-Sánchez et al. (1999)	-0.220	0.311	-0.829	0.389	-0.707	0.479
Serrada et al. (2009)	0.121	0.367	-0.599	0.841	0.328	0.743
Tamaño medio del efecto	-0.209	0.251	-0.702	0.283	-0.834	0.404
Altura						
Castro et al. (2011)	-0.309	0.116	-0.536	-0.082	-2.666	0.008
Fernández et al. (2008)	-1.058	0.618	-2.270	0.154	-1.711	0.087
Madrigal et al. (2007)	1.439	0.349	0.754	2.123	4.120	0.000
Martínez-Sánchez et al. (1999)	-0.839	0.324	-1.474	-0.205	-2.591	0.010
Serrada et al. (2009)	0.007	0.367	-0.713	0.726	0.018	0.986
Tamaño medio del efecto	-0.111	0.368	-0.833	0.611	-0.301	0.763
Mortalidad						
Castro Gutiérrez et al. (2008)	0.665	0.247	0.181	1.150	2.692	0.007
Castro et al. (2011)	0.347	0.133	0.087	0.608	2.615	0.009
Fernández et al. (2008)	0.289	0.043	0.205	0.373	6.736	0.000
Madrigal et al. (2007)	0.191	0.061	0.072	0.309	3.148	0.002
Martínez-Sánchez et al. (1999)	0.285	0.312	-0.325	0.896	0.916	0.360
Serrada et al. (2009)	0.050	0.008	0.033	0.066	5.850	0.000
Vega Hidalgo et al. (2009)	0.514	0.315	-0.104	1.132	1.631	0.103
Tamaño medio del efecto	0.254	0.077	0.03	0.405	3.298	0.001