



J. Castro^{1*}, A.B. Leverkus¹, J.R. Guzmán-Álvarez²

¹ Departamento de Ecología, Facultad de Ciencias, Universidad de Granada, Campus Fuentenueva s/n, 18071 Granada

² Departamento de Restauración de Ecosistemas, Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio, Junta de Andalucía

* Correo electrónico: jorge@ugr.es

56

Técnicas blandas para la restauración de zonas quemadas en ambientes mediterráneos

Resultados clave

- La madera quemada (MQ) constituye un legado biológico que puede favorecer la restauración forestal post-incendio.
- La MQ aporta nutrientes y reduce el estrés hídrico y la herbivoría, lo que favorece la supervivencia y crecimiento de las plantas.
- La MQ incrementa la biodiversidad y favorece la llegada de semillas dispersadas por aves.
- El manejo post-incendio debería considerar la posibilidad de dejar toda o parte de la MQ in situ.

Contexto

El fuego es una de las principales perturbaciones de los ecosistemas españoles y afecta a una considerable extensión de bosques y matorrales todos los años (Lloret 2004). Además, se prevé que para la región mediterránea la frecuencia e intensidad de los incendios aumente bajo el escenario actual de cambio climático (Pausas 2004, Pausas & Fernández-Muñoz 2012). El fuego afecta negativamente a un amplio conjunto de características del ecosistema pero, al mismo tiempo, constituye un elemento natural de la sucesión y perturbación de los ecosistemas mediterráneos (Lloret 2004). Tras un incendio se inicia el proceso de sucesión, cuya rapidez y eficacia para reponer una cubierta vegetal que recupere la estructura y la función del ecosistema dependerá de diversos aspectos relacionados con las características del sitio y de la propia perturbación (p. ej., el banco de semillas disponible, la capacidad de rebrote de la vegetación afectada, la intensidad del incendio, etc.). No obstante, la recuperación

de la cubierta vegetal, y en particular del bosque, requiere en muchos casos de algún tipo de actuación que permita acelerar e incrementar las probabilidades de éxito en un plazo de tiempo asumible por la sociedad. En este sentido, el manejo adecuado de la madera quemada puede acelerar el proceso de sucesión y regeneración, mitigando así los impactos negativos del incendio.

Tras un incendio de media o gran intensidad el ecosistema presenta un estado profundamente transformado en el que abundan los restos de madera quemada en caso de que el fuego haya afectado a una masa forestal arbolada, y habrá restos de madera calcinada incluso en el caso de un fuego sobre matorrales. Éste es, pues, el punto de partida para la regeneración post-incendio, sea natural o asistida. La fase inicial de los trabajos forestales relacionados con los restos de madera quemada, en particular si se trata de una masa de arbolado, puede incluir diferentes alternativas, si bien el procedimiento usual en nuestro país es la saca y extracción de la madera quemada, a veces combinada con el astillado de ramas y otros restos no aprovechables (Bautista et al. 2004, Castro et al. 2009, 2010a). Esto modifica el paisaje post-incendio y la estructura de la zona afectada, pasando de una masa dominada por árboles quemados en pie a una superficie desprovista de gran parte de la biomasa vegetal. Esta práctica supone con frecuencia un costo adicional en las labores post-incendio que se acometen, al menos en el corto plazo, ya que la madera quemada en los montes españoles carece hoy día de valor económico apreciable en la mayoría de los casos (Bautista et al. 2004, Leverkus et al. 2012).

Las razones que se aducen para la saca de la madera quemada varían en las diferentes regiones del mundo (McIver & Starr 2000, Castro et al. 2010a). Para el caso de España, las principales son de índole selvícola. En los protocolos de actuación se justifican las actuaciones

asumiendo que la saca de la madera: i) favorecerá los trabajos de regeneración de la zona al facilitar el tránsito de personal y maquinaria por el área afectada, ii) evitará el riesgo para las personas y bienes derivado de posibles accidentes futuros ocasionados por la caída de los árboles, iii) reducirá la carga de combustible en futuros incendios y iv) reducirá el riesgo de plagas que puedan afectar a la arboleda que no haya sido afectada o lo haya sido parcialmente (Vega 2007, Castro et al. 2009, 2013, Vallejo et al. 2012). Además, en un ámbito más emocional que ecológico (aunque no por ello menos importante), en nuestro país se estima conveniente retirar la madera quemada para reducir el efecto visual y emotivo sobre los ciudadanos, especialmente de la población local que, además, frecuentemente demandará actuaciones para la restauración forestal.

Estas razones han sido, sin embargo, puestas en entredicho por trabajos desarrollados en distintas partes del mundo, sobre todo durante los últimos 15 años, que constatan de forma experimental y analítica que los argumentos empleados para la saca dependen del contexto y no siempre están justificados (e.g. McIver & Starr 2000, Lindenmayer et al. 2008, Castro et al. 2010a, 2013). Antes al contrario, estos estudios ponen de manifiesto que la madera quemada constituye un legado biológico que puede ayudar a la regeneración natural reteniendo el suelo (Brown et al. 2003, Lindenmayer et al. 2008), aportando y reciclando nutrientes (Marañón-Jiménez & Castro 2013, Marañón-Jiménez et al. 2013a), favoreciendo interacciones mutualistas como la dispersión de semillas (Rost et al. 2009, Castro et al. 2012, Cavallero et al. 2013), incrementando la supervivencia de las plantas que crecen al cobijo de troncos y ramas quemados (Rost et al. 2010, Castro et al. 2011, Leverkus et al. 2012, Marzano et al. 2013) o favoreciendo la captación de carbono por el conjunto de la comunidad (Serrano-Ortiz et al. 2011). Además, algunos de estos trabajos constatan que parte de las razones esgrimidas para la saca de la madera no se sustentan en evidencias científicas sólidas (McIver & Starr 2000, Castro et al. 2013). Por ejemplo, no se ha demostrado una relación causal entre la presencia de madera quemada y el incremento de la incidencia de incendios (McIver & Starr 2000, Thompson et al. 2007), e incluso se ha sugerido un incremento del riesgo de incendio tras las labores de saca de la madera (Donato et al. 2006). El riesgo de plaga por insectos perforadores de la madera parece depender más de la presencia de árboles parcialmente dañados que de los quemados (Toivanen et al. 2009, Santolamazza-Carbone et al. 2011), lo que no justificaría las labores de saca total como receta general, máxime cuando es posible llevar a cabo actuaciones de monitoreo de las que se deriven criterios de intervención. Las razones emotivas de la población pueden abordarse con comunicación y educación ambiental, trasladando a la opinión pública los argumentos ecológicos y selvícolas que justifiquen la permanencia de la madera quemada tras el incendio. Finalmente, los accidentes pueden evitarse tomando medidas de precaución y seguridad como la tala del arbolado quemado en las zonas más visitadas o transitadas (p. ej., cortando la banda de árboles quemados que bordea sendas y caminos) o la realización de actuaciones de restauración cuando haya menor riesgo de accidente (Bautista et al. 2004, Castro et al. 2009, 2010a). En definitiva, el conocimiento científico acumulado en los últimos años constata que la madera quemada es un elemento que puede favorecer la regeneración natural del ecosistema post-incendio, contribuyendo a mitigar el impacto del cambio climático sobre el establecimiento

y crecimiento de árboles y arbustos y favoreciendo el restablecimiento de los servicios ecosistémicos.

■ Adaptación

Las medidas de adaptación post-incendio que se tomen en relación con la madera quemada deben tener como objetivos primordiales: i) recuperar el capital ecológico y los servicios ecosistémicos, ii) promover el éxito de la regeneración natural o asistida, teniendo en cuenta el balance económico de las actuaciones en su conjunto, iii) evitar o, al menos, reducir la erosión del suelo, iv) incrementar la biodiversidad del sistema y v) recuperar el valor paisajístico de la zona afectada. Un manejo adecuado de la madera quemada puede contribuir a alcanzar estos objetivos y a acortar el tiempo necesario para conseguirlos. Las medidas de adaptación requieren dejar *in situ* toda o parte de la madera quemada tras un incendio forestal. La cantidad de madera dejada y la forma en que se maneje y distribuya en el área afectada dependerá de las características de la masa afectada y del uso del territorio que se pretenda, esto es, del contexto ecológico, económico y social del área afectada. Los impactos que se pueden reducir con la presencia de madera quemada tras un incendio forestal están relacionados con los siguientes puntos.

1. Reciclaje y reservorio de nutrientes del sistema. La madera que queda *in situ* tras un incendio representa un considerable reservorio de nutrientes (Marañón-Jiménez et al. 2013a). Aunque un elevado porcentaje de nutrientes de las hojas y ramas finas se pierden por volatilización o quedan en forma de cenizas que pueden ser lavadas con facilidad, los nutrientes de los troncos y las ramas gruesas quedan en gran medida retenidos en la madera, pues su propio grosor protege el interior y los nutrientes que contiene de las altas temperaturas. Dado que la madera constituye la mayor parte de la biomasa de árboles y arbustos (en torno al 90% de la biomasa aérea), el resultado es que la madera quemada tiene un contenido considerable de nutrientes en relación con el disponible en el suelo (Marañón-Jiménez et al. 2013a). Además, los nutrientes de la madera se liberan poco a poco durante su descomposición, lo que favorece su reciclaje y reduce las pérdidas por lixiviación. En definitiva, la presencia de madera quemada incrementa el contenido de materia orgánica y de nutrientes en el suelo, la biomasa y actividad de los descomponedores, y mejora propiedades físico-químicas del suelo tales como la reducción de la densidad aparente (Marañón-Jiménez y Castro 2013). Esto conlleva una mayor adquisición de nutrientes por parte de las plantas que aparecen tras el incendio y un crecimiento más vigoroso (Harrington et al. 2013, Marañón-Jiménez et al. 2013b), lo que puede tener una gran relevancia para la restauración de la vegetación, especialmente en un contexto de cambio climático en el que se prevé un incremento del estrés ambiental para plántulas y plantones.

2. Reducción de la mortalidad de plantas durante la sequía estival. La madera quemada, sea en pie o apeada, reduce ligeramente la radiación incidente (Castro et al. 2011), lo que ocasiona una reducción de la temperatura del suelo y el aire, aumenta la humedad del suelo y, en consecuencia, supone una mejoría en el balance hídrico de la vegetación que se ha regenerado al beneficiarse de las condiciones de sombreado (Marañón-Jiménez et al. 2013b). Esto es particularmente relevante para los ecosistemas que, como

los mediterráneos, se caracterizan por veranos secos y calurosos que limitan la supervivencia de plántulas y plantones. La madera quemada actúa así como un objeto nodriza particularmente interesante en un contexto de cambio climático, ya que incrementa la supervivencia de plántulas y plantones de reforestación (Castro et al. 2011; Leverkus et al. 2012, Marzano et al. 2013) con la ventaja añadida de que aporta nutrientes (ver punto anterior) y además no ejerce competencia con la vegetación regenerada dado que es un elemento inerte (Marañón-Jiménez et al. 2013b; Figura 1).

3. Reducción de la herbivoría sobre la vegetación.

La madera quemada, especialmente si está tumbada generando una estructura espacial compleja, dificulta el movimiento de los ungulados (Castro 2013), lo que puede suponer una reducción de los daños por herbivoría sobre las plantas que crecen tras el incendio (Ripple & Larsen 2001; Castro 2013). Debe tenerse en cuenta que la herbivoría por ungulados es uno de los principales factores que limitan tanto la regeneración natural como el éxito de las reforestaciones (García-Salmeron 1995, Gill 2006, Vallejo et al. 2012). Los troncos y ramas quemados pueden cumplir por tanto el papel de barreras físicas que impidan o dificulten el acceso de los herbívoros (Castro 2013; Figura 1).

4. Reducción de la erosión del suelo. La presencia de ramas y troncos quemados, en particular si están esparcidos, aumenta considerablemente la cobertura del suelo (Castro et al. 2011), lo que puede reducir el riesgo de erosión (Brown et al. 2003, Spanos et al. 2005, Vega 2007). De hecho, prácticas forestales post-incendio como la construcción de fajinas y albarradas pretenden aprovechar esta circunstancia (Robichaud et al. 2000,

Vallejo et al. 2012; pero ver Raftoyannis & Spanos 2005). El efecto que ejercen los troncos y ramas, sean finas o gruesas, tiene un fundamento similar al de las albarradas, esto es, retención de sedimentos y reducción de la energía cinética del agua de escorrentía, pero con la diferencia de que suponen menor grado de manejo y costo (Figura 2). Para optimizar su efectividad deberían tener un elevado grado de contacto con el suelo y cubrir una proporción significativa del mismo. Estos requerimientos se pueden conseguir fácilmente apeando el arbolado total o parcialmente (siendo recomendable en este caso el posterior desramado), o dejando las copas y otros restos esparcidos por el suelo incluso en el supuesto de que se extraigan los fustes. De hecho, la reducción de la erosión por parte de ramas esparcidas por el suelo, sea como consecuencia de las labores post-incendio o como restos de poda, se ha observado numerosas veces durante las prácticas forestales (Jacobs & Gatewood 1999, Stoddard et al. 2008).

5. Incremento de la diversidad del sistema. La presencia de restos de madera quemada, en pie o tumbada, puede incrementar la biodiversidad del sistema (McIver & Starr 2000, Brown et al. 2003, Lindenmayer et al. 2008). La mayor retención de suelo, nutrientes y agua generada por la madera promueve la regeneración de muchas especies de plantas y animales que son favorecidas por las condiciones creadas (Lindenmayer y Possingham 2006). Además, como los hábitats con restos de madera suelen ser espacialmente más heterogéneos que aquéllos en los que se ha extraído, se generan microambientes con distintos grados de luz, viento, temperatura, humedad y nutrientes con el potencial de favorecer el establecimiento de especies con distintos requerimientos ecológicos (Franklin et al. 2000, Castro et al. 2011, Marañón-

■ **Figura 1.**



▲ **Figura 1.** Regeneración post-incendio del arbolado (encina a la izquierda y pino resinero a la derecha) bajo la protección de los troncos y ramas caídas de forma natural en el Parque Nacional de Sierra Nevada (incendio de Lanjarón, Septiembre de 2005). Los estudios desarrollados en parcelas experimentales demostraron que la presencia de la madera quemada redujo el estrés hídrico de las plantas y los daños por herbivoría, a la vez que aportó nutrientes para las plantas.

Fuente: Alejandro Leverkus y Jorge Castro.

■ **Figura 2.**



▲ **Figura 2.** Aspecto de una parcela quemada en la que se apearon los árboles, se desramaron y se cortó el tronco en 2-3 trozas en el Parque Nacional de Sierra Nevada (incendio de Lanjarón, Septiembre de 2005). Las ramas y troncos esparcidos pueden reducir la erosión del suelo.

Fuente: Jorge Castro.

Jiménez & Castro 2013). La madera quemada también es una fuente de alimento para muchos organismos como hongos, insectos y otros artrópodos (Stokland et al. 2012) que, a su vez, son alimento para otras especies, lo que incrementa la diversidad del conjunto del sistema. Diferentes estudios realizados en diversas partes del mundo han constatado una mayor diversidad de plantas (Purdon et al. 2004, Leverkus et al. 2014), aves (Castro et al. 2010b) o mamíferos arborícolas (Lindenmayer & Possingham 2006) en zonas con retención de la madera quemada, y es obvio que aumentará la diversidad y abundancia de los numerosos organismos que se alimentan directamente de la madera (Stokland et al. 2012).

6. Promoción de interacciones mutualistas: dispersión de semillas. La madera quemada genera una estructura de hábitat que atrae a aves dispersoras de semillas de plantas características de la comunidad madura, como arbustos y árboles de fruto carnoso o especies del género *Quercus* (e.g. Rost et al. 2009, Castro et al. 2010b, Cavallero et al. 2013). Un caso particularmente interesante de interacción mutualista para la regeneración del bosque mediterráneo es el de la dispersión de bellotas por los arrendajos (*Garrulus glandarius*). Estas aves son el principal dispersor de las quercíneas en el bosque mediterráneo y de las fagáceas del Holártico en general, movilizando hasta centenares de metros una elevada cantidad de bellotas desde las plantas productoras (encinas, robles, quejigos, alcornoques, etc.) hacia lugares percibidos como seguros para esconderlas y consumirlas posteriormente (Bossera 1979; Gómez 2003; Pons y Pausas 2007). Parte de estas bellotas no son finalmente consumidas por distintas razones (guardadas en exceso, no localizadas, muerte del arrendajo que las escondió, etc.), lo que permite la regeneración y expansión del bosque (Pulido y Díaz 2005). Las reforestaciones con coníferas y otros árboles de crecimiento rápido, con gran densidad de pies y donde

se produce la mayor parte de los incendios forestales sobre arbolado, son uno de los hábitats más utilizados por los arrendajos para esconder las bellotas (Mosandl y Kleinert 1998; Gómez 2003). Recientemente se ha podido comprobar que, tras un incendio forestal, los arrendajos siguen utilizando el bosque quemado, quizás porque los árboles quemados sigan aportándoles protección ante sus depredadores, o porque dispongan de un elevado número de hitos visuales de referencia para memorizar la posición de las bellotas escondidas (léase troncos; Castro et al. 2010b). El resultado es que los rodales con árboles quemados en pie actúan como atrayente para la dispersión de bellotas, con el consecuente incremento del reclutamiento de plántulas en comparación con los sitios donde se ha extraído la madera (Castro et al. 2012).

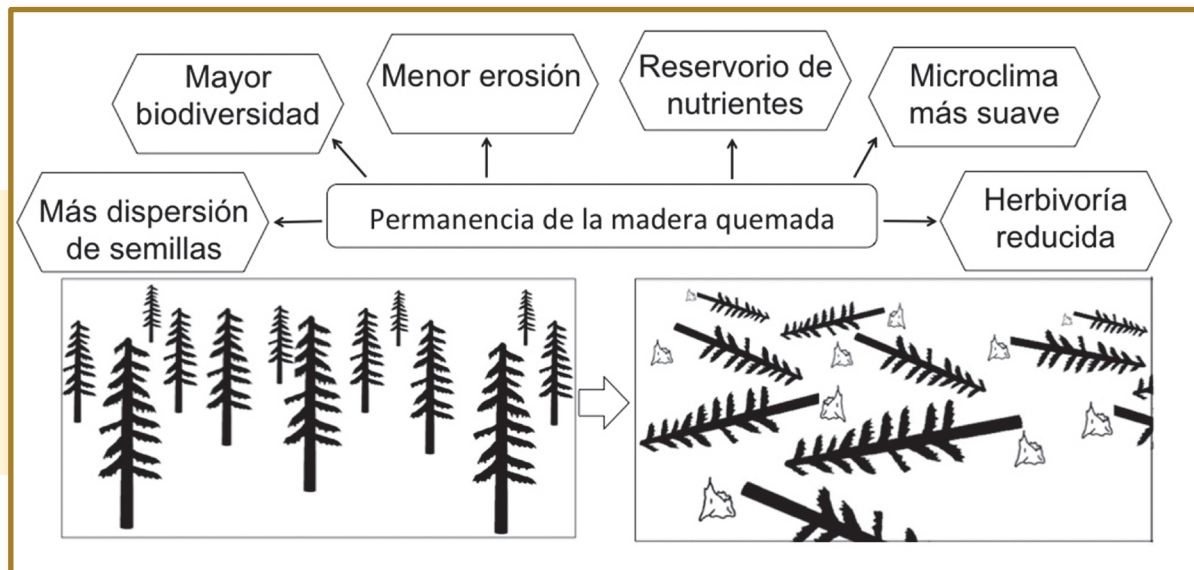
En resumen, la madera quemada constituye un legado biológico que favorece la restauración forestal post-incendio, mitigando el impacto del cambio climático sobre la regeneración de los bosques (Figura 3).

■ **Recomendaciones para su aplicación**

Lo indicado en el apartado anterior pone de manifiesto que la madera quemada es un legado biológico que debería considerarse como un elemento clave para la restauración post-incendio. Ahora bien, estos efectos positivos deben ser sopesados en las circunstancias concretas de cada incendio atendiendo a otras consideraciones que se tienen en cuenta en la toma de decisiones sobre la gestión post-incendio, como el riesgo de plagas, la seguridad en el monte y el riesgo para personas y bienes, las posibles pérdidas económicas y el componente estético y afectivo, entre otras.

Aunque en ocasiones no se ponga de manifiesto de modo suficientemente explícito, creemos que una razón

■ **Figura 3.**



▲ **Figura 3.** Esquema del papel de la madera quemada como elemento que ayuda a mitigar el impacto del cambio climático sobre el ecosistema en regeneración. Los árboles quemados constituyen perchas y hábitat para las aves dispersoras de semillas, como los arrendajos. La presencia de madera quemada incrementa la diversidad de diversos grupos de organismos (aves, plantas, insectos, hongos), reduce la erosión del suelo, incrementa la fertilidad del suelo, mejora las condiciones microclimáticas (reduce el estrés hídrico de plántulas y juveniles) y reduce la herbivoría por ungulados. En conjunto, todos estos aspectos se traducen en una mayor capacidad de regeneración y en un mejor funcionamiento del ecosistema en caso de dejar madera quemada *in situ*.

Fuente: Elaboración propia.

que motiva la aplicación general de la saca de la madera tiene que ver con el hecho de identificar esta práctica con una mayor predictibilidad de las condiciones de la restauración. A ello se asocian unas mayores garantías de éxito al facilitar los trabajos de actuaciones posteriores tales como repoblaciones forestales, en contraposición con las decisiones de manejo apoyadas en mayor

medida en la no extracción o en la extracción parcial, para las que se asume un mayor grado de incertidumbre en la restauración al hacerla depender más de factores naturales. En este sentido, deberíamos considerar que los distintos grados de manejo de la madera quemada son compatibles con una amplia gama de alternativas de manejo post-incendio para promover la restauración, sea

■ **Figura 4.**



▲ **Figura 4.** Parcela experimental cuatro años después del incendio de Lanjarón (Parque Nacional de Sierra Nevada, verano de 2005). En esta parcela no se intervino tras el incendio y se dejaron caer los árboles de forma natural. La caída de los árboles quemados en las reforestaciones de coníferas con alta densidad puede producirse en poco tiempo. En este caso, la tasa acumulada de caída de árboles, estimada a partir de 1.800 árboles marcados en una banda altitudinal entre 1400 y 2000 m s.n.m, fue del 0% en 2006 y 2007, 13% en 2008, 83% en 2009 y 98% en 2010. En las parcelas sin intervención pudo hacerse una repoblación mecanizada al cabo de cuatro años. Izquierda: retroexcavadora abriendo hoyos. Derecha: operario plantando encinas en los hoyos abiertos por la retroexcavadora

Fuente: Jorge Castro.

natural o asistida. Así, el paisaje post-incendio se puede manejar extrayendo la madera de ciertos rodales, por ejemplo los que menor potencial de regeneración natural presenten, en los que se realicen posteriormente labores de repoblación sobre el terreno despejado. La madera se puede sacar en bandas alternas en el rodal, de modo que se pueda realizar la repoblación de manera más o menos lineal. También se pueden realizar trabajos de restauración basados en la siembra o en la plantación puntual en rodales con el arbolado quemado en pie o con la madera quemada tumbada, o bien esperar a que ésta se descomponga parcialmente y se realicen los trabajos con maquinaria (Leverkus et al. 2012; Figura 4). En todo caso, la recomendación fundamental que puede hacerse es que la extracción total deje de ser una práctica general y única para todo tipo y circunstancias de incendio forestal, valorando la pertinencia de introducir prácticas alternativas que no extraigan parte o toda la madera quemada en pie en determinados rodales, sectores de actuación o, incluso, en la totalidad del área afectada.

■ Material suplementario

La zona de aplicación para el manejo post-incendio de la madera quemada es cualquier masa forestal que sufra un incendio. Las medidas de gestión y adaptación que se tomen dependerán de tres aspectos fundamentales: i) la cantidad de madera quemada que quede en el sistema, ii) el balance coste/beneficio económico que se pueda generar con su extracción o permanencia y iii) los condicionantes que determinen el tipo de manejo del área incendiada (p. ej., si se trata de una zona remota, poco visitada, frente a una zona muy transitada o con un alto impacto visual; o de una zona en la que se opte por una regeneración asistida frente a otra zona en la que se confíe en los procesos de regeneración natural). En función de estas premisas es posible plantear distintos escenarios de adaptación para el manejo de la madera quemada. Para todos ellos, la madera quemada que pueda suponer un riesgo para transeúntes (por ejemplo, árboles a partir de cierto tamaño que flanquean sendas y caminos) debe ser retirada como medida de seguridad. Del mismo modo, si se detecta riesgo de plagas y es aconsejable evitar posibles daños futuros, habrá que actuar de forma acorde, lo que en principio puede restringirse a los árboles flameados, debilitados pero aún vivos, pero no necesariamente a los árboles totalmente quemados, que en principio no serán un hábitat para los insectos perforadores ya que estos se alimentan del floema vivo. Teniendo en cuenta estas premisas podemos establecer los siguientes escenarios para el manejo de la madera quemada en zonas forestales.

ESCENARIO 1. Arbolado adulto con baja densidad de pies.

En estas circunstancias es recomendable dejar la madera quemada *in situ*, sea en pie o tumbada. Si se apea se puede acelerar su descomposición y además aumentará tanto la superficie de sombra que proyectan (incrementando así el área con mejora microclimática) como el área de suelo con protección física contra la erosión y los unguados. Las medidas de restauración artificial que se acometan deberían hacer uso de la madera quemada como puntos para la siembra o plantación, aprovechando la mejora microclimática mencionada. No obstante, existe la opción de no hacer nada con la madera quemada y dejar que siga su dinámica natural.

ESCENARIO 2. Arbolado adulto con densidad alta o moderada.

Este escenario tiene comúnmente su origen en incendios sobre repoblaciones de coníferas, que con frecuencia afectan a masas adultas con gran densidad de pies. Este tipo de masas puede dar lugar a una gran variedad de situaciones de manejo, desde el apeo y la extracción total de la madera quemada hasta el mantenimiento de todos los árboles quemados en pie. Si se optara por extraer la madera quemada, siempre es aconsejable generar heterogeneidad manteniendo algunos árboles o rodales en pie para crear un paisaje parcheado. Se debe tener en cuenta que la presencia de rodales en pie de cierta extensión (aproximadamente ≥ 3 ha) favorecerá la entrada de bellotas transportadas por arrendajos al bosque quemado. En el otro extremo, si se optara por reducir el grado de intervención, el hecho de apea árboles puntuales o grupos de árboles puede favorecer la regeneración natural de pinos serotinos, tanto por el incremento de semillas en el suelo como consecuencia de la caída de los árboles como por la rotura de la capa hidrófoba de cenizas gracias al tránsito de los operarios y la caída de los árboles. Siempre es posible graduar la intervención buscando la eficiencia de las operaciones actuando en franjas. En resumen, los principales casos que se pueden dar para este escenario son los siguientes:

- Apear los árboles y dejarlos caídos. Esto acelera la descomposición de la madera muerta y es probable que en un plazo relativamente corto (≤ 5 años) la zona se pueda transitar (Leverkus et al. 2012).
- Apear árboles por rodales, bandas o filas, etc., y llevar a cabo actuaciones ordenadas de apoyo a la restauración. Éstas pueden incluir tanto la plantación como la siembra, sean de tipo manual o mecanizado. Las posibilidades son muy diversas y compatibles con un manejo ordenado del monte, como son la plantación en calles alternas o por rodales, entre otras. Esto permite crear ambientes parcheados que ofrecen protección microclimática y contra la erosión, favorecen la interacción con dispersores de semillas como los arrendajos y el mantenimiento de una elevada biodiversidad en el sistema, etc.
- Extracción del arbolado. En tal caso, se debería dejar *in situ* parte de la biomasa remanente, en pie o tumbada.
- No intervenir tras el incendio. Los árboles quemados en incendios que afectan a repoblaciones de coníferas con alta densidad de pies pueden caer al suelo en un tiempo relativamente corto y a partir de entonces los trabajos de reforestación pueden incluso mecanizarse (Leverkus et al. 2012; Figura 4). Las posibilidades de plantear esta opción dependerán de características de la masa y del sitio, que deberán valorarse en cada caso particular.

ESCENARIO 3. Arbolado juvenil.

Este escenario sería común tras incendios en reforestaciones jóvenes, repoblaciones con pinos en sus primeras clases de edad, o regenerado natural de pinar serotino. La potencialidad de regeneración natural de la formación quemada puede estar limitada por la inexistencia o insuficiencia de piñas y piñones, salvo en el caso de pinos serotinos que ya hayan producido cierta cantidad de piñas (lo que se corresponde por lo general

con el estado de latizal o fustal). La extracción de la madera quemada y su aprovechamiento no constituirá, en términos generales, una alternativa de intervención debido al coste que supone su movilización en relación con el posible retorno económico. El apeo sí puede ser aconsejable en algunos casos. Así, si hay capacidad de regeneración natural (como es el caso de los pinos serotinos que ya hayan producido piñas), un cierto manejo puede incrementar, como en el caso anterior, el potencial de regeneración, puesto que se puede favorecer la dispersión de piñones y el pisoteo puede romper la costra de cenizas, aunque este último efecto dependerá del momento de la actuación y de su intensidad. Como en casos anteriores, si se decide apea los árboles no es necesario actuar sobre toda la masa y se puede hacer por rodales, franjas, etc.

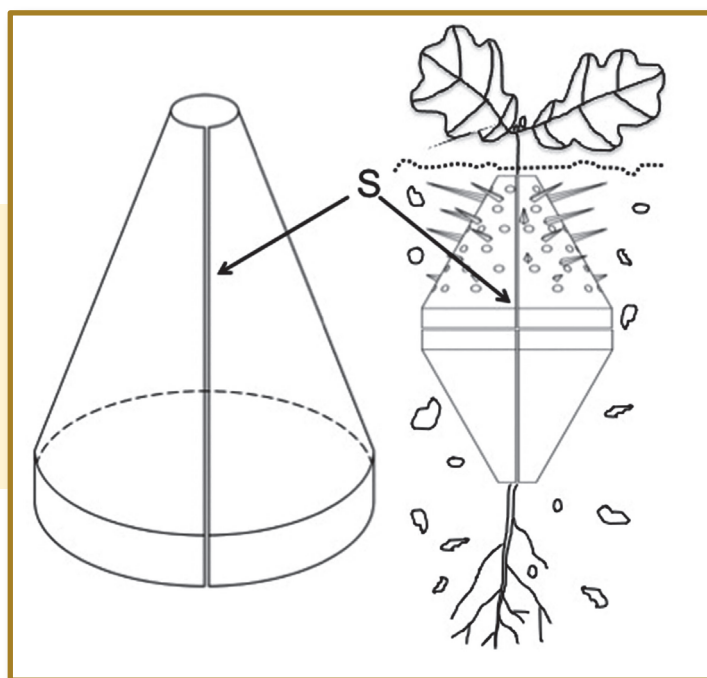
ESCENARIO 4. Restauración mediante uso de semillas.

El semillado se ha descartado tradicionalmente como método de reforestación debido a las altas pérdidas de semillas por acción de los depredadores (García-Salmerón 1995; González-Rodríguez et al. 2011, Leverkus et al. 2013). Para el caso de semillas de pequeño tamaño existe además una gran incertidumbre en el éxito de su germinación y, sobre todo, de la supervivencia de las plántulas. Sin embargo, para especies con una semilla de gran tamaño, como en los *Quercus*, la siembra puede rendir altos porcentajes de emergencia y supervivencia, así como un desarrollo apropiado de las plantas (Bocio et al. 2004, Navarro et al. 2006, Mendoza et al. 2009, Birkedal et al. 2010, Matías et al. 2012). Debe tenerse en cuenta que la reforestación con plantones de quercíneas ha mostrado muchos problemas, con tasas de supervivencia generalmente bajas y escaso crecimiento de las plantas

(Castro et al. 2006, Valdecantos et al. 2006), lo que parece estar relacionado con un desarrollo anómalo de la raíz de los plantones (escaso desarrollo de la raíz pivotante que disminuye la capacidad de la planta para resistir la sequía estival) en relación con las plantas emergidas en campo a partir de bellota (Pemán et al. 2006, Tsakalidimi et al. 2009). La siembra de bellotas reduciría notablemente los costes de la restauración siempre y cuando se consiguiese controlar el efecto devastador de los depredadores de semillas, y evitaría los problemas de desarrollo de la planta asociados a la plantación.

Los principales depredadores de bellotas sembradas son los ungulados (fundamentalmente el jabalí) y los roedores. El control de los primeros pasa hoy día por barreras físicas como vallados, pues no se ha encontrado una solución efectiva y viable para proteger las semillas de forma individual. Para los segundos se han probado métodos de protección de semillas individuales, fundamentalmente químicos (repelentes), y algunos de ellos han mostrado ser efectivos (ver, p. ej., Leverkus et al. 2013). Como se ha comentado anteriormente, el uso de ramas y troncos quemados puede servir como barrera física contra los ungulados. Del mismo modo, el efecto de barrera física puede ser útil para reducir la depredación de semillas tanto por ungulados domésticos como por jabalíes. Por ejemplo, Puerta-Piñero et al. (2010) y Leverkus et al. (2013) constataron que la presencia de ramas y troncos quemados esparcidos por el suelo reducía más de un 50% la depredación de bellotas por jabalí en siembras realizadas en Sierra Nevada. Esto soluciona al menos parte del problema, pues se podrían sembrar bellotas bajo las ramas y troncos quemados que dificulten el acceso de los ungulados usando algún

■ **Figura 5.**



▲ **Figura 5.** Dispositivo ideado por Castro y Leverkus para reducir la depredación de semillas por pequeños mamíferos (*Protector de Semillas ante Depredadores*). Consiste en una pieza contenedora formada por dos conos truncados, de material biodegradable, que se ensamblan conteniendo dentro a la semilla (izquierda). El dispositivo cuenta con un sistema de suturas longitudinales (S) que permiten su rotura por las raíces y tallo en caso de que crezcan antes de que se haya degradado. Una vez ensamblado presenta una apertura superior y otra inferior con un diámetro que impide la entrada de roedores pero permite la salida del tallo o raíz (p. ej. 1 cm). El dispositivo puede contener orificios en sus paredes para permitir la captación de humedad por la semilla, púas para hacerlo más efectivo ante depredadores, etc. Una vez ensamblado con la semilla dentro, se entierra en el suelo, con lo que no tiene impacto visual (derecha).

Fuente: Elaboración propia.

método que permita proteger las bellotas de forma individual contra la depredación por los roedores. Existen además dispositivos que ofrecen una protección física, lo que evitaría los problemas que han mostrado algunos repelentes químicos para la emergencia de las plantas (Leverkus et al. 2013). Por ejemplo, Reque Kilchenmann y Martín Sánchez han ideado un protector para reducir la depredación de las bellotas y la herbivoría sobre las plántulas (Reque & Martín, 2014), mientras que Castro y Leverkus han diseñado un protector subterráneo de pequeño tamaño destinado a la protección individual de las semillas (Figura 5). Dispositivos de este tipo pueden resultar exitosos para la restauración de zonas quemadas mediante siembras de especies forestales aprovechando la protección que ofrece la madera quemada, lo que abre las posibilidades para técnicas de reforestación bien conocidas pero poco utilizadas en la actualidad. El manejo del paisaje post-incendio en estos casos podría ser muy diverso, pudiendo combinarse la no extracción de la madera, la extracción parcial, o algún tipo de aprovechamiento maderero que deje cierto porcentaje de la masa *in situ* para ser utilizado como barrera contra los ungulados.

En general, para cualquiera de los casos anteriores, la valoración de la actuación sobre la madera quemada debe incluir como criterio fundamental el potencial de regeneración natural post-incendio y el tipo de vegetación que se desee recuperar. Para ello resulta imprescindible realizar un buen seguimiento de la regeneración en los meses posteriores al incendio, especialmente durante el primer año. El fin es evaluar la regeneración teniendo en cuenta las consecuencias derivadas de mantener parte o toda la biomasa *in situ*, sea en pie o tumbada, y los condicionantes que ello conlleva para la gestión. Estos condicionantes dependerán de aspectos tales como la tasa de caída del arbolado, los plazos para la descomposición parcial y la disponibilidad presupuestaria, entre otros. Utilizando todo este conocimiento habrá que establecer un protocolo adaptado a cada incendio que incluya posibles actuaciones de apoyo a la restauración contemplando todas las opciones posibles (replantaciones con planta forestal por calles o por rodales, plantaciones puntuales, siembras, etc.), así como clareos de la masa forestal quemada que favorezcan la regeneración natural.

■ Referencias bibliográficas

- Bautista S, Gimeno T, Mayor AG, Gallego D (2004) Los tratamientos de la madera quemada tras los incendios forestales. En: Vallejo JA, Alloza VR, editores. *La gestión del bosque mediterráneo*. Fundación Centro de Estudios Ambientales del Mediterráneo. pp. 547-570
- Birkedal M, Löff M, Olsson G, Bergsten U (2010) Effects of granivorous rodents on direct seeding of oak and beech in relation to site preparation and sowing date. *Forest Ecology and Management* 259:2382-2389
- Bocio I, Navarro FB, Ripoll MA, Jiménez MN, de Simón E (2004) Holm oak (*Quercus rotundifolia* Lam.) and Aleppo pine (*Pinus halepensis* Mill.) response to different soil preparation techniques applied to forestation in abandoned farmland. *Annals of Forest Science* 61:171-178
- Bossema I (1979) Jays and oaks: and eco-ethological study of a symbiosis. *Behaviour* 70:1-117
- Brown JK, Reinhardt ED, Kramer KA (2003) *Coarse woody debris: managing benefits and fire hazard in the recovering forest*. USDA Technical Report RMRS-GTR-105
- Castro J, Zamora R, Hódar JA (2006) Restoring *Quercus pyrenaica* forest using pioneer shrubs as nurse plants. *Applied Vegetation Science* 9:137-142
- Castro J, Navarro R, Guzmán JR, Zamora R, Bautista S (2009) ¿Es conveniente retirar la madera quemada tras un incendio? Una práctica forestal poco estudiada. *Quercus* 281:34-41
- Castro J, Marañón-Jiménez S, Sánchez-Miranda A, Lorite J (2010a) Efecto del manejo de la madera quemada sobre la regeneración forestal post-incendio: desarrollo de técnicas blandas de restauración ecológica. En: Ramírez L, Asensio B, editores. *Proyectos de investigación en parques nacionales 2006-2009*. Ministerio de Medio Ambiente, Rural y Marino, Organismo Autónomo de Parques Nacionales, Madrid. pp. 139-157
- Castro J, Moreno-Rueda G, Hódar JA (2010b) Experimental test of postfire management in pine forests: impact of salvage logging versus partial cutting and nonintervention on bird-species assemblages. *Conservation Biology* 24:810-819
- Castro J, Allen CD, 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 J, Puerta-Piñero C, Leverkus AB, Moreno-Rueda G, Sánchez-Miranda A (2012) Post-fire salvage logging alters a key plant-animal interaction for forest regeneration. *Ecosphere* 3:art. 90
- Castro J (2013) Postfire burnt-wood management affects plant damage by ungulate herbivores. *International Journal of Forestry Research* art. 965461

- Castro J, Leverkus AB, Marañón-Jiménez S, Serrano-Ortiz P, Sánchez-Cañete EP, Reverter BR, Guzmán-Álvarez JR, Kowalski AS (2013) Efecto del manejo de la madera quemada sobre la restauración y regeneración post-incendio: implicaciones para la gestión y para el conjunto del ecosistema. En: *Actas del 6º Congreso Forestal Español*, Sociedad Española de Ciencias Forestales. 6CFE01-242
- Cavallero L, Raffaele E, Aizen M (2013) Birds as mediators of passive restoration during early post-fire recovery. *Biological Conservation* 158:342-350
- Donato DC, Fontaine JB, Campbell JL, Robinson WD, Kauffman JB, Law BE (2006) Post-fire logging hinders regeneration and increases fire risk. *Science* 311:352
- Franklin JF, Lindenmayer D, Macmahon JA, Mckee A, Perry DA, Waide R, Foster D (2000) Threats of continuity. *Conservation Biology in Practice* 1:8-16
- García-Salmerón J (1995) *Manual de repoblaciones forestales II*. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes, Madrid
- Gill R (2006) The influence of large herbivores on tree recruitment and forest dynamics. En: Danell K, Bergstrom R, Duncan P, Pastor J, editores. *Large herbivore ecology, ecosystem dynamics and conservation*. Cambridge University Press, Cambridge. pp. 170-202
- Gómez JM (2003) Spatial patterns in long-distance dispersal of *Quercus ilex* acorns by jays in a heterogeneous landscape. *Ecography* 26:573-584
- González-Rodríguez V, Navarro-Cerrillo R, Villar R (2011) Artificial regeneration with *Quercus ilex* L. and *Q. suber* L. oaks by direct seeding and planting in southern Spain. *Annals of Forest Science* 68:637-646
- Harrington TB, Slesak RA, Schoenholtz SH (2013) Variation in logging debris cover influences competitor abundance, resource availability, and early growth of planted Douglas-fir. *Forest Ecology and Management* 296:41-52
- Jacobs BF, Gatewood RG (1999) Restoration studies in degraded pinyon-juniper woodlands of north-central New Mexico. En: Monsen SB, Stevens R, editores. *Ecology and management of pinyon-juniper communities within the interior West*. US Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station, Ogden. pp. 294-298
- Leverkus AB, Puerta-Piñero C, Guzmán JR, Navarro J, Castro J (2012) Post-fire salvage logging increases restoration costs in a Mediterranean mountain ecosystem. *New Forests* 43:601-613
- Leverkus AB, Castro J, Puerta-Piñero C, Rey-Benayas JM (2013) Suitability of the management of habitat complexity, acorn burial depth, and a chemical repellent for post-fire reforestation of oaks. *Ecological Engineering* 53:15-22
- Leverkus AB, Lorite J, Navarro FB, Sánchez-Cañete EP, Castro J (2014) Post-fire salvage logging alters species composition and reduces cover, richness, and diversity in Mediterranean plant communities. *Journal of Environmental Management* 133:323-331
- Lindenmayer DB, Possingham HP (2006) Ranking conservation and timber management options for Leadbeater's possum in Southeastern Australia using population viability analysis. *Conservation Biology* 10:235-251
- Lindenmayer DB, Burton PJ, Franklin JF (2008) *Salvage logging and its ecological consequences*. Island Press, Washington
- Lloret F (2004) Régimen de incendios y regeneración. En: Valladares F, editor. *Ecología del bosque mediterráneo en un mundo cambiante*. Ministerio de Medio Ambiente, Madrid. pp. 101-126
- Marañón-Jiménez S, Castro J (2013) Effect of decomposing burnt wood on soil fertility and nutrient availability in a Mediterranean ecosystem. *Biogeochemistry* 112:519-535
- Marañón-Jiménez S., Castro J., Fernández-Ondoño E, Zamora R. (2013a) Charred wood remaining after a wildfire as a reservoir of macro- and micronutrients in a Mediterranean pine forest. *International Journal of Wildland Fire* 22:681-695
- Marañón-Jiménez S, Castro J, Querejeta JI, Fernández-Ondoño E, Allen CD (2013b) Post-fire wood management alters water stress, growth, and performance of pine regeneration in a Mediterranean ecosystem. *Forest Ecology and Management* 308:231-239
- Marzano R, Garbarino M, Marcolin E, Pividori M, Lingua E (2013) Deadwood anisotropic facilitation on seedling establishment after a stand-replacing wildfire in Aosta Valley (NW Italy). *Ecological Engineering* 51:117-122
- Matías L, Zamora R, Castro J (2012) Sporadic rainy events are more critical than increasing of drought intensity for woody species recruitment in a Mediterranean community. *Oecologia* 169:833-844
- Mendoza I, Zamora R, Castro J (2009). A seeding experiment for testing tree-community recruitment under variable environments: implications for forest regeneration and conservation in Mediterranean habitats. *Biological Conservation* 149:1491-1499
- Navarro FB, Jiménez MN, Ripoll MA, Fernández-Ordoño E, Gallego E, de Simón E (2006) Direct sowing of holm oak acorns: effects of acorn size and soil treatment. *Annals of Forest Science* 63:961-967
- McIver JD, Starr L (2000) *Environmental effects of post-fire logging: literature review and annotated bibliography*. USDA Technical Report PNW-GTR-486

- Mosandl R, Kleinert A (1998). Development of oaks (*Quercus petraea* (Matt.) Liebl.) emerged from bird-dispersed seeds under old-growth pine (*Pinus sylvestris* L.) stands. *Forest Ecology and Management* 106:35-44
- Pausas JG (2004) Changes in fire and climate in the eastern Iberian peninsula (Mediterranean basin). *Climatic Change* 63:337-350
- Pausas JG, Fernández-Muñoz (2012). Fire regime changes in the Western Mediterranean Basin: from fuel-limited to drought-driven fire regime. *Climatic Change* 110:215-226
- Pemán J, Voltas J, Gil-Pelegrin E (2006) Morphological and functional variability in the root system of *Quercus ilex* L. subjected to confinement: consequences for afforestation. *Annals of Forest Science* 63:425-430
- Pons J, Pausas JG (2007). Acorn dispersal estimated by radio-tracking. *Oecologia* 153:903-911
- Puerta-Piñero C, Sánchez-Miranda A, Leverkus A, Castro J (2010) Management of burnt wood after fire affects post-dispersal acorn predation. *Forest Ecology and Management* 260:345-352
- Pulido FJ, Díaz M (2005) Regeneration of a Mediterranean oak: a whole-cycle approach. *Ecoscience* 12:92-102
- Purdon M, Brais S, Bergeron Y (2004) Initial response of understorey vegetation to fire severity and salvage-logging in the southern boreal forest of Québec. *Applied Vegetation Science* 7:49-60
- Raftoyannis Y, Spanos I (2005). Evaluation of log and branch barriers as post-fire rehabilitation treatments in a Mediterranean pine forest in Greece. *International Journal of Wildland Fire* 14:183-188
- Reque, J.A., Martin, E. 2014. Designing acorn protection for direct seeding of *Quercus* species in high predation areas. *Forest Systems*, En prensa.
- Ripple WJ, Larsen EJ (2001) The role of post-fire coarse woody debris in aspen regeneration. *Western Journal of Applied Forestry* 16:61-64
- Robichaud PR, Beyers JL, Neary DG (2000) *Evaluating the effectiveness of postfire rehabilitation treatments*. USDA General Technical Report RMRS-GTR-63
- Rost J, Pons P, Bas JM (2009) Can salvage logging affect seed dispersal by birds into burned forests? *Acta Oecologica* 35:763-768
- Rost J, Clavero M, Bas JM, Pons P (2010) Building wood debris piles benefits avian seed dispersers in burned and logged Mediterranean pine forests. *Forest Ecology and Management* 260:79-86
- Santolamazza-Carbone S, Pestaña M, Vega JA (2011) Post-fire attractiveness of maritime pines (*Pinus pinaster* Ait.) to xylophagous insects. *Journal of Pest Science* 84:343-353
- Serrano-Ortiz P, Marañón-Jiménez S, Reverter BR, Sánchez-Cañete EP, Castro J, Zamora R, Kowalski AS (2011) Post-fire salvage logging reduces carbon sequestration in Mediterranean coniferous forest. *Forest Ecology and Management* 262:2287-2296
- Spanos I, Raftoyannis Y, Goudelis G, Xanthopoulou E, Samara T, Tsiontsis A (2005) Effects of postfire logging on soil and vegetation recovery in a *Pinus halepensis* Mill. forest of Greece. *Plant and Soil* 278:171-179
- Stoddard MT, Huffman DW, Alcoze TM, Fulé PZ (2008) Effects of slash on herbaceous communities in pinyon-juniper woodlands of northern Arizona. *Rangeland Ecology & Management* 61:485-495
- Stokland JN, Siitonen J, Jonsson BG (2012) *Biodiversity in dead Wood*. Cambridge University Press, New York
- Thompson JR, Spies TA, Ganio LM (2007). Reburn severity in managed and unmanaged vegetation in a large wildfire. *Proceedings of the National Academy of Science* 104: 10743-10748
- Toivanen T, Liikanen V, Kotiaho JS (2009) Effects of forest restoration treatments on the abundance of forest beetles in Norway spruce forests of Southern Finland. *Forest Ecology and Management* 257:117-125
- Tsakalimi M, Tsitsoni T, Ganatsas P, Zagas T (2009) A comparison of root architecture and shoot morphology between naturally regenerated and container-grown seedlings of *Quercus ilex*. *Plant and Soil* 324:103-113
- Valdecantos A, Cortina J, Vallejo VR (2006) Nutrient status and field performance of tree seedlings planted in Mediterranean degraded areas. *Annals of Forest Science* 63:249-256
- Vallejo VR, Arianoutsou M, Moreira F (2012) Fire ecology and post-fire restoration approaches in southern European forest types. En: Moreira F, Arianoutsou M, Corona P, De las Heras J, editores. *Post-fire management and restoration of southern European forests*. Springer, Dordrecht. pp. 195-222
- Vega JA (2007) Bases ecológicas para la restauración preventiva de zonas quemadas. En: 4th *International Wildland FIRE Conference*, Sevilla. Disponible en: http://www.fire.uni-freiburg.de/sevilla-2007/contributions/doc/cd/INTRODUCTORIAS_ST/Vega_ST3.pdf Último acceso 4 de Agosto de 2014