



7º CONGRESO FORESTAL ESPAÑOL

**Gestión del monte: servicios
ambientales y bioeconomía**

26 - 30 junio 2017 | Plasencia
Cáceres, Extremadura

7CFE01-338

Edita: Sociedad Española de Ciencias Forestales
Plasencia. Cáceres, Extremadura. 26-30 junio 2017
ISBN 978-84-941695-2-6

© Sociedad Española de Ciencias Forestales

Tratamientos de estabilización de emergencia en áreas quemadas de matorral de Galicia: Efectos sobre el riesgo de inicio de incendio a los 3 y 5 años

GUIJARRO GUZMÁN, M.^{1,2}, MADRIGAL OLMO, J.^{1,2}, HERNANDO LARA, C.^{1,2}, DÍEZ GALILEA, C.¹, CARRILLO GARCÍA, C.¹, FERNÁNDEZ FILGUEIRA, C.³ y VEGA HIDALGO, J.A.³

¹ INIA, Centro de Investigación Forestal, Dpto. de Selvicultura y Gestión de los Sistemas Forestales

² iuFOR, Instituto Universitario de Gestión Forestal Sostenible uVA-INIA.

³ Centro de Investigación Forestal de Lourizán. Xunta de Galicia.

Resumen

En Galicia es cada vez más frecuente la realización de tratamientos de estabilización de emergencia para limitar la pérdida de suelo por erosión tras un incendio forestal. En este estudio, se evalúan los efectos de los tratamientos de "siembra de herbáceas" y "siembra de herbáceas y mulching de paja" realizados en una comunidad de matorral, sobre el riesgo de inicio de incendio, 3 y 5 años tras los tratamientos. Se realizaron ensayos en Túnel de Viento de los principales tipos de vegetación regenerada, asociados a los tratamientos aplicados. Se ajustaron modelos logísticos para predecir la probabilidad de ignición y de propagación inicial del fuego. Los resultados de los ensayos se aplicaron a escala de parcela, utilizando los inventarios de campo. A los 3 años, la probabilidad de ignición y propagación inicial en la vegetación regenerada en las zonas tratadas fue mayor que en las no tratadas debido a la presencia de herbáceas como consecuencia de los tratamientos, pero las diferencias entre los dos tratamientos no fueron significativas a escala de parcela. Las diferencias en la probabilidad de ignición y propagación entre las parcelas tratadas y las parcelas testigo existentes a los 3 años de los tratamientos desaparecieron 5 años tras los mismos.

Palabras clave

Rehabilitación post-incendio, siembra, siembra y mulching, inflamabilidad, Túnel de viento.

1. Introducción

El incremento de las pérdidas de suelo por erosión es una de las más graves consecuencias ecológicas de los incendios forestales (ej. SOTO & DÍAZ-FIERROS 1998, SPIGEL & ROBICHAUD 2007, FERNÁNDEZ et al 2011). Tras el paso del fuego, la vegetación y la cubierta muerta del suelo resultan total o parcialmente destruidas, modificando las condiciones de infiltración, exponiendo el suelo al impacto de la lluvia o creando condiciones de hidrofobicidad (FERNÁNDEZ Y VEGA 2016a). El efecto combinado del calentamiento directo del suelo por el fuego y la pérdida de la cubierta muerta del suelo y de la vegetación favorece así la degradación del suelo y el riesgo de erosión (VALLEJO 1999). Por ello, la aplicación de tratamientos de estabilización de emergencia en zonas afectadas por fuegos de alta severidad es cada vez más necesaria para minimizar la erosión post-incendio (NAPPER 2006, VALLEJO et al 2012, VEGA et al 2013b).

Esta necesidad es especialmente relevante en zonas en las que la incidencia de los incendios forestales es elevada, como es el caso de Galicia. En el decenio 2001-2010, un 25 % de la superficie forestal afectada por incendios forestales en España correspondió a Galicia (MINISTERIO DE AGRICULTURA, ALIMENTACIÓN Y MEDIO AMBIENTE 2012), donde ardieron 288.732 ha. En Galicia, las comunidades de matorral ocupan el 21 % de su superficie forestal (MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE, Y MEDIO RURAL Y MARINO 2011), y en el citado periodo, más del 70 % de dicha superficie afectada por el fuego correspondió a áreas de matorral (VEGA et al 2013a). Además, las proyecciones del cambio climático para esta Comunidad Autónoma señalan una incidencia creciente de los incendios forestales y los efectos hidrológicos y erosivos inducidos por el fuego, augurando un futuro de mayor

vulnerabilidad de sus ecosistemas al fuego (VEGA 2016). Por ello, en los últimos años se están llevando a cabo en Galicia diversas acciones urgentes orientadas a la rehabilitación post-fuego en áreas forestales quemadas, basadas en la colaboración entre gestores e investigadores forestales (VEGA 2016). Estas acciones y el seguimiento de sus resultados han dado lugar a numerosas publicaciones científicas y a la elaboración de un protocolo-guía (VEGA et al 2013b) como instrumento de ayuda a la toma de decisiones sobre las medidas de protección post-incendio, su planificación y su ejecución.

Los citados trabajos han proporcionado abundante información sobre los efectos de diversos tratamientos post-incendio en la recuperación de la vegetación (e.j. FERNÁNDEZ et al 2016, FERNÁNDEZ & VEGA 2016b), las características del suelo (FONTÚRBEL et al 2012, GÓMEZ-REY et al 2013) y la reducción de la erosión (e.j. FERNÁNDEZ et al 2011, DÍAZ-RAVIÑA et al 2012, VEGA et al 2014). Sin embargo, no se han estudiado los efectos que dichos tratamientos tienen sobre el riesgo de inicio de un incendio en las zonas tratadas. En un escenario en el que la probabilidad de ocurrencia de un nuevo incendio en una zona ya afectada por el fuego es elevada (*re-burn scenario*), resulta de interés complementar la información hasta ahora obtenida sobre la eficacia de los tratamientos de restauración con el conocimiento de los efectos derivados de estos tratamientos sobre el riesgo de inicio de incendio. El presente estudio se enmarca en esta línea de trabajo, analizando los efectos de dos tratamientos frecuentemente utilizados en zonas de matorral afectadas por incendios en Galicia, la siembra de herbáceas sola y en combinación con mulching de paja, sobre el riesgo de inicio de incendio en la vegetación regenerada. Los dos tratamientos, considerados de estabilización de emergencia post-fuego, van encaminados a reducir la erosión producida en el primer año tras el incendio y a favorecer la recuperación de la cubierta vegetal.

El estudio se ha abordado desde el punto de vista de la facilidad de ignición y propagación inicial del fuego en los complejos de combustible resultantes de los tratamientos, a los 3 y 5 años de su ejecución. El estudio se ha llevado a cabo en Túnel de viento, mediante un foco de ignición puntual, en muestras de vegetación recogidas en campo. Esta metodología se ha utilizado anteriormente para el estudio de la eficacia y permanencia en el tiempo de diferentes tratamientos preventivos en el riesgo de inicio de incendio en formaciones de matorral (MARINO et al 2011 y 2012).

El presente trabajo forma parte de un proyecto de investigación más extenso sobre los efectos a lo largo del tiempo de los tratamientos de rehabilitación y restauración post-incendio sobre la recuperación de la vegetación afectada, su inflamabilidad y la calidad del suelo.

2. Objetivos

El objetivo de este estudio es evaluar los efectos de dos tratamientos de estabilización de emergencia, “siembra de herbáceas” y “siembra de herbáceas y mulching de paja”, realizados en una comunidad de matorral de Galicia afectada por el fuego, sobre el riesgo de inicio de incendio, 3 y 5 años después de la aplicación de los tratamientos, mediante ensayos en condiciones cuasi-reales en Túnel de viento.

3. Metodología

Área de estudio y tratamientos post-incendio

El estudio se llevó a cabo en una zona experimental situada en Piñor (Municipio de O Irixo, Orense), afectada por un incendio en septiembre de 2009 que quemó 350 ha de matorral, sobre un terreno en el que alternan zonas llanas y otras de pendientes moderadas. La comunidad vegetal previa al incendio estaba dominada por una mezcla de especies leñosas, predominando las leguminosas, principalmente *Pterospartum tridentatum* (L.) Willk., *Ulex gallii* Planch. y *U. europaeus*

L., con presencia de *Erica umbellata* Loefl. (L.) y *Halimium lasianthum* ssp. *alyssoides* (Lam.) Greuter. Esta comunidad vegetal forma típicamente un estrato continuo que cubre completamente el suelo. El área de estudio está situada en una media ladera de pendiente moderada (36 %) y relativamente homogénea, con orientación SW, a 815 m de altitud (s.n.m.). El clima de la zona es oceánico, con ligera influencia continental; la precipitación media anual es de 1241 mm, con un periodo seco de un mes en verano, y la temperatura media anual es de 11,7 °C (6,0-18,4 °C). El sustrato es de esquisto, clasificado como Regosol alumi-úmbrico y su textura es arenosa-franca, con pH 4,7, elevado contenido en carbono (17,5 %) y nitrógeno total (1 %) y bajo contenido en nutrientes.

Inmediatamente después del incendio, y antes de que se produjeran lluvias apreciables, se establecieron 15 parcelas experimentales de 22 m x 5 m (Figura 1), con su lado de mayor longitud orientado paralelo a la línea de máxima pendiente. Las parcelas fueron delimitadas con bandas de geotextiles, según la metodología de ROBICHAUD & BROWN (2002) para la medición periódica de la erosión. Posteriormente, se aplicaron aleatoriamente tres tratamientos post-incendio, con 5 réplicas de cada uno de ellos: (a) Siembra manual de herbáceas (3 g/m²), (b) Siembra manual de herbáceas (3 g/m²) y mulching de paja de trigo, aplicado manualmente de modo uniforme (250 g/m²) y (c) Testigo (zona quemada, sin tratamiento posterior). La mezcla de la siembra estaba compuesta por 35 % de *Lolium multiflorum*, 20 % de *Dactylis glomerata*, 10 % de *Festuca arundinacea*, 5 % de *Festuca rubra*, 5 % de *Agrostis tennuis* y 25 % de *Trifolium repens*.

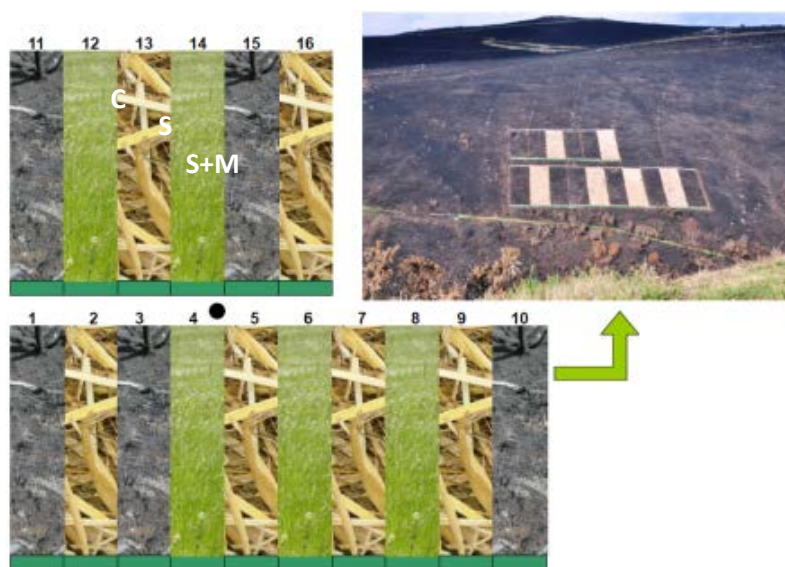


Figura 1. Área experimental y distribución de los tratamientos. C = control; S = Siembra de herbáceas; S+M = Siembra de herbáceas + Mulching de paja

Más información de la zona de estudio y los tratamientos se encuentra recogida en VEGA et al 2013a y 2015.

Muestreo de la vegetación regenerada

A los 3 y 5 años tras el incendio (julio de 2012 y 2014, respectivamente), se identificaron en las parcelas los principales tipos de vegetación regenerada, en función de los cuales se llevó a cabo un inventario de combustible por asignación de rangos basada en la cobertura de la vegetación y las especies presentes (HAYDOCK & SHAW 1975), definiéndose los siguientes rangos:

- 5 rangos a los 3 años del incendio: Rango 1: Matorral bajo (mayoritariamente, *Halimium lasianthum* ssp. *alyssoides* y *Pterospartium tridentatum*); Rango 2: Matorral bajo + Herbáceas; Rango

3: Rebrote de *P. tridentatum* de talla media; Rango 4: Matorral de talla media + Herbáceas; Rango 5: Matorral de *P. tridentatum*, *Ulex gallii* y *U. europaeus* de talla media.

• 5 rangos a los 5 años del incendio: Rango 1: Matorral de *P. tridentatum*; Rango 2: Matorral de *Ulex* sp.; Rango 3: Matorral de *P. tridentatum*, *Hallimium lasianthum* ssp. *alyssoides* y ericáceas; Rango 4: Matorral de *Ulex* sp., *H. lasianthum* ssp. *alyssoides* y ericáceas; Rango 5: Ericáceas o *H. lasianthum* ssp. *alyssoides*. No obstante, debido a su escasa presencia en campo, este rango 5 no fue ensayado.

En cada año de estudio (2012 y 2014), se recogieron muestras para evaluar el riesgo de inicio de incendio en los principales tipos de vegetación regenerada, descritos mediante los rangos anteriormente descritos. La Figura 2 muestra la distribución de frecuencias de los rangos en cada parcela obtenida en los inventarios de campo.

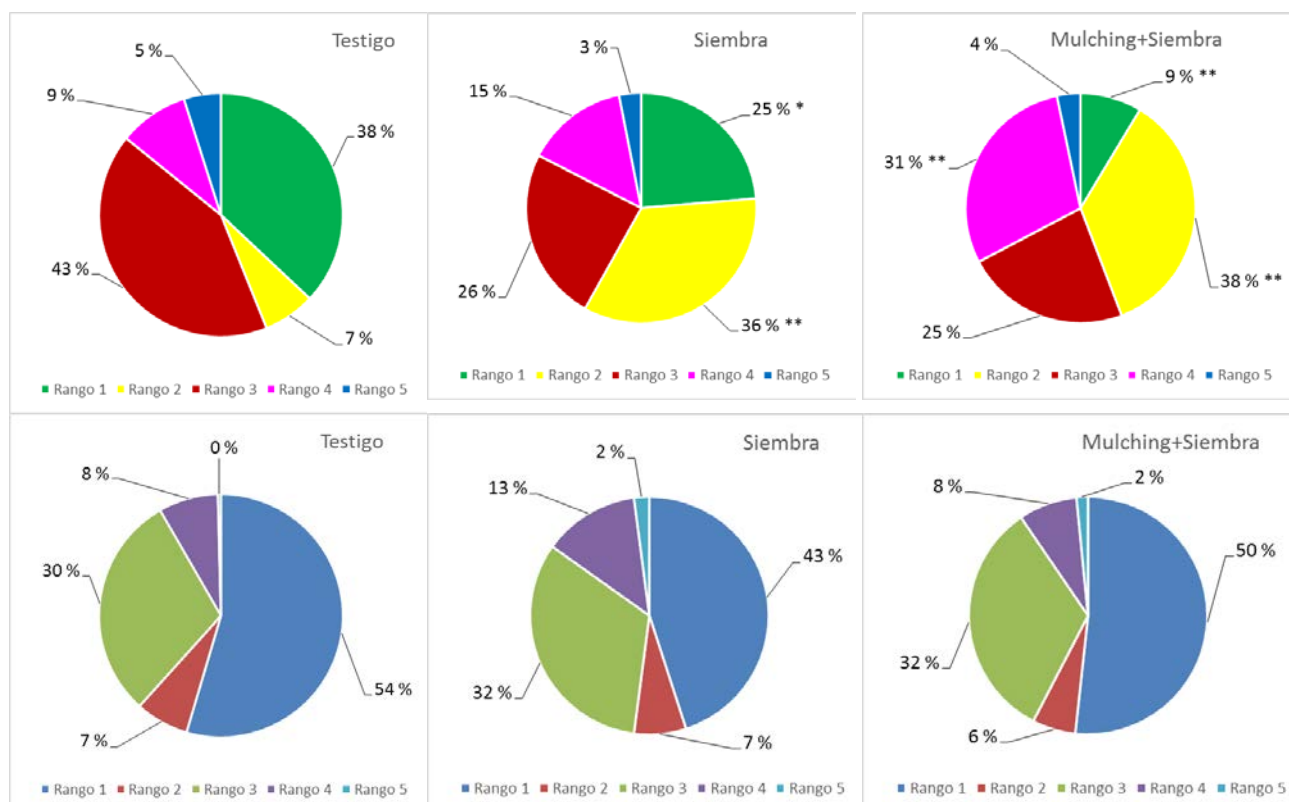


Figura 2. Presencia de rangos en las parcelas según el tratamiento aplicado y efecto de los tratamientos en la proporción de rangos en las parcelas (significación del test U de Mann-Whitney; * $p < 0,1$; ** $p < 0,05$).

Arriba, 3 años tras los tratamientos; Abajo, 5 años tras los tratamientos.

En cada uno de los rangos, se recogieron aleatoriamente ocho muestras de vegetación, en cuadrados de 1 m x 1 m, cortando los tallos por su base para preservar la estructura de campo en la medida de lo posible. Se recogió asimismo la cubierta existente bajo la vegetación recolectada, embolsando separadamente cada estrato. Los muestreos se realizaron en los meses de verano con el fin de llevar a cabo los ensayos encaminados a determinar el riesgo de inicio de fuego durante la época de mayor peligro de incendio. Todas las muestras fueron enviadas al laboratorio en bolsas de plástico y almacenadas en cámara fría a 4 °C para minimizar las pérdidas de humedad. En el laboratorio, se realizó un inventario destructivo de tres muestras por cada rango, constituidas por toda la vegetación recolectada en los cuadrados de 1 m x 1 m, diferenciándose el tipo de componente vegetal y el tipo de combustible por clase de tamaño: matorral por especie, herbáceas,

cádivas (restos de los troncos chamuscados del tojo también denominados cádivas) y cubierta) y el tipo de combustible por clase de tamaño.

Dispositivo y procedimiento experimental

Los ensayos se llevaron a cabo en el Túnel de viento del INIA-CIFOR, según la metodología propuesta por MARINO et al 2011 y 2012. Las muestras de vegetación se reconstruyeron en el Túnel tratando de reproducir su estructura original en campo (Figura 3.a), disponiendo primero la cubierta del suelo y después el estrato de matorral. Previamente, las muestras fueron pesadas, tomando una submuestra para determinar el contenido de humedad y calcular la carga de combustible. Una vez reconstruido el complejo de combustible en el Túnel de viento, se midieron las alturas de la vegetación (matorral y herbáceas) y el espesor de la cubierta, y se tomaron de nuevo submuestras para determinar el contenido de humedad de ensayo, por especie y ponderada por estrato de vegetación. Se anotó la temperatura ambiente, la humedad relativa del aire y la velocidad del viento.

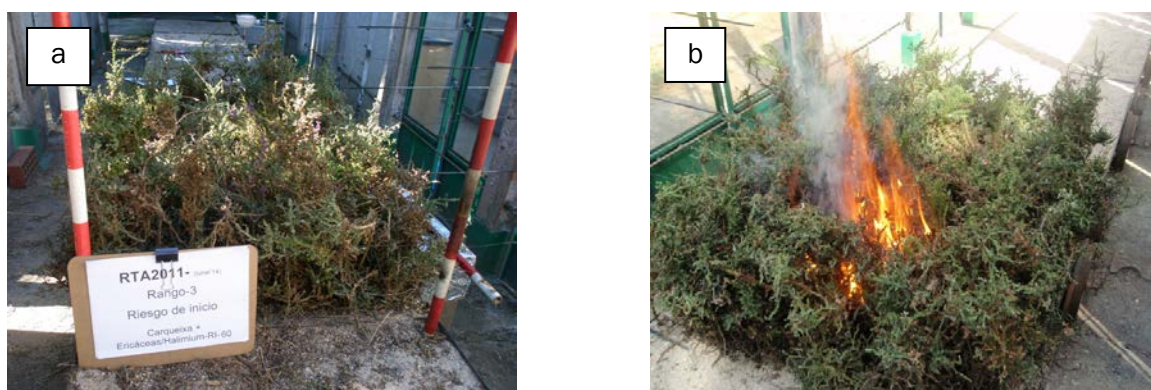


Figura 3. Ensayo de riesgo de inicio del fuego por foco de ignición puntual en Túnel de viento (a) Disposición de la muestra de vegetación antes del ensayo (b) Inicio de un ensayo; ignición.

El foco de ignición puntual utilizado fue una pieza de madera de pino de 2 cm x 2 cm x 1 cm, inflamado mediante un epirradiator, que se dejaba caer en el centro de la muestra de vegetación (Figura 3.b). En el caso de no producirse la inflamación de la vegetación, se repetía el procedimiento, hasta un máximo de 10 repeticiones por muestra. Los ensayos se llevaron a cabo sin viento creado en el Túnel.

Para evaluar el riesgo de inicio del fuego, se definieron dos variables respuesta binomiales que permitieron evaluar la probabilidad de ignición (sí/no) y de propagación inicial (propagación/no propaga):

- Ignición: se consideró que hubo éxito en la ignición cuando las llamas tuvieron una duración mínima de 10 s.
- Propagación inicial: se consideró que hubo éxito en la propagación inicial cuando el frente de llama alcanzaba, al menos, dos de los lados de la muestra (borde de la vagoneta, Figura 3).

Los resultados obtenidos mediante los ensayos en Túnel de viento se extendieron a la escala de parcela, utilizando la distribución de frecuencias de los rangos en cada parcela obtenidos mediante los inventarios de campo, simulándose tres escenarios de humedad del combustible vivo: Humedad alta (120 %), humedad media (90 %) y humedad baja (60 %), correspondientes a distintos momentos de la evolución estacional de la humedad del combustible vivo (fisiología), o a diferentes situaciones ligadas a distintos escenarios meteorológicos.

Análisis estadístico

Con el total de ensayos realizados, se construyó la base de datos para su análisis estadístico, integrada por un total de 148 ensayos válidos ($N = 148$). Para estudiar las variables implicadas en la probabilidad de ignición y propagación inicial se realizó análisis de regresión logística, seleccionando las variables predictoras significativas e independientes tras la exploración de la matriz de correlaciones. La bondad de ajuste global de los modelos se evaluó mediante el R^2 de Nagelkerke. Para comprobar modelos con distinto número de variables se utilizó el criterio de información de Akaike (AIC). También se calculó la curva ROC (Receiver Operating Characteristic) para cada modelo, cuyo valor c (área bajo la curva ROC) se interpreta como una medida de la capacidad predictiva del modelo. La comparación del efecto de los tratamientos en la proporción de rangos en las parcelas y en la probabilidad de ignición y de propagación inicial del fuego a la escala de parcela se llevó a cabo mediante ANOVA (tests no paramétricos de Kruskal-Wallis y Mann-Whitney).

4. Resultados

Modelos de probabilidad de ignición y de propagación inicial del fuego

Una vez probadas todas las variables descriptivas de los combustibles ensayados, los modelos logísticos de mejor ajuste para la probabilidad de ignición (R^2 de Nagelkerke=0,13; AIC=314,36; $c=0,69$) y propagación inicial (R^2 de Nagelkerke=0,27; AIC=141,26; $c=0,81$) incluyeron únicamente como variables significativas ($p < 0,05$) el rango o tipología de vegetación regenerada tras el incendio y la humedad ponderada del combustible vivo (Figura 4).

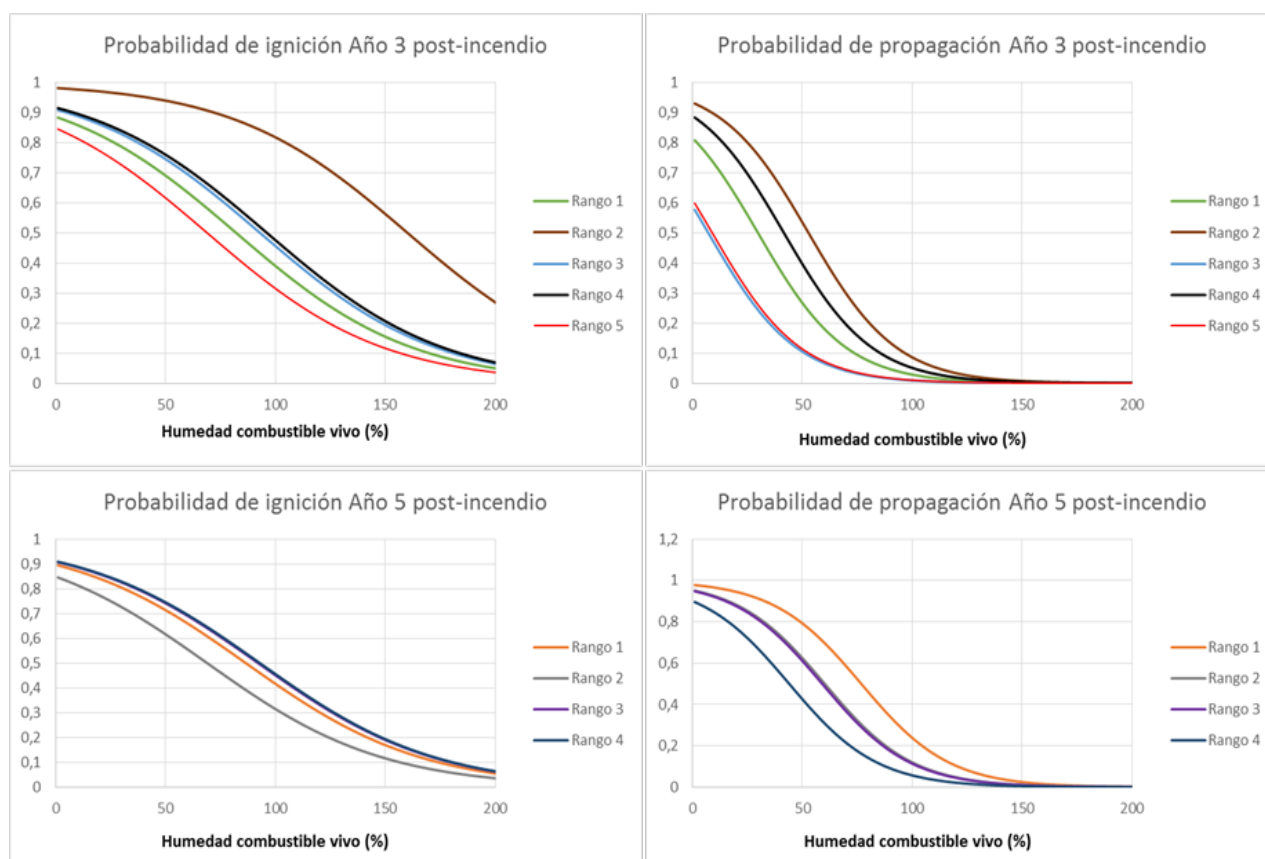


Figura 4. Modelos logísticos de probabilidad de ignición y propagación 3 y 5 años tras la ejecución de los tratamientos en las diferentes tipologías vegetales (rangos) obtenidos en campo.

A los 3 años de los tratamientos, el rango 2, constituido por matorral bajo y herbáceas resultó ser el de mayor probabilidad de ignición y de propagación inicial, debido a la mayor presencia de herbáceas en este rango (Figura 5). Por el contrario, los rangos 3 y 5, integrados ambos casi exclusivamente por matorral de talla media (Figura 5) presentaron bajas probabilidades de propagación inicial. La probabilidad de ignición fue muy similar en 2014 (5 años tras los tratamientos) para todos los rangos, aunque el rango 1 de 2014 formado por carqueixa (*Pterospartium tridentatum*) fue el que presentó mayor probabilidad de propagación inicial del fuego.

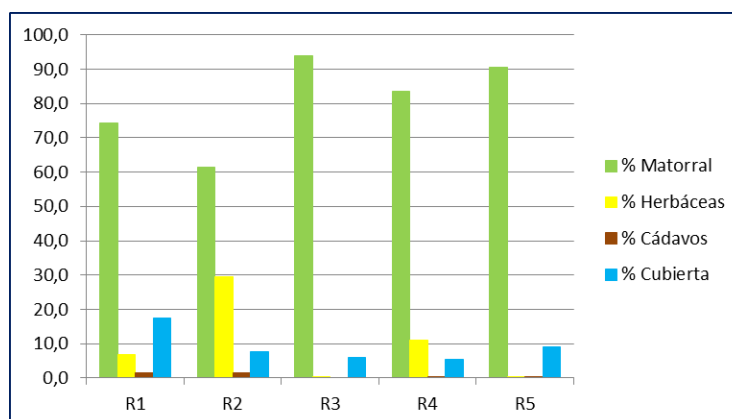


Figura 5. Inventario destructivo de los rangos 3 años tras la realización de los tratamientos.

En ambos momentos tras la realización de los tratamientos, la probabilidad de ignición disminuyó por debajo del 50% para humedades del combustible vivo superiores al 80-90%, excepto en el rango 2 de 2012, para el que dicha probabilidad sólo disminuye cuando la humedad del combustible vivo supera el 160%. Para escenarios con humedades del combustible vivo superiores al 100% tanto el riesgo de ignición como el de propagación inicial del fuego es bajo para todas las tipologías de vegetación y cronosecuencia (3 y 5 años tras los tratamientos).

Evaluación del efecto de los tratamientos de rehabilitación en el riesgo de ignición y propagación inicial del fuego

Se aplicaron los modelos de riesgo de ignición y de propagación inicial del fuego en función de la humedad del combustible a la escala de parcela, utilizando la distribución de frecuencias de los rangos en cada parcela obtenidos en los inventarios de campo (Figura 2), y considerando tres escenarios de contenido de humedad del combustible vivo: Humedad alta (120%), humedad media (90%) y humedad baja (60%).

Tres años tras la aplicación de los tratamientos (Figura 6), las probabilidades de ignición y propagación inicial en las zonas tratadas fue mayor que en el control (C) para los tres escenarios simulados de contenido de humedad del combustible vivo: alto (120%), medio (90%) y bajo (60%). Pero las diferencias en la probabilidad de ignición y de propagación inicial del fuego entre los dos tratamientos no son significativas cuando se considera la escala de parcela. Sin embargo, cinco años tras la aplicación de los tratamientos, no se observan diferencias significativas en las probabilidades de ignición y de propagación inicial del fuego entre las parcelas tratadas y las parcelas testigo (Figura 7).

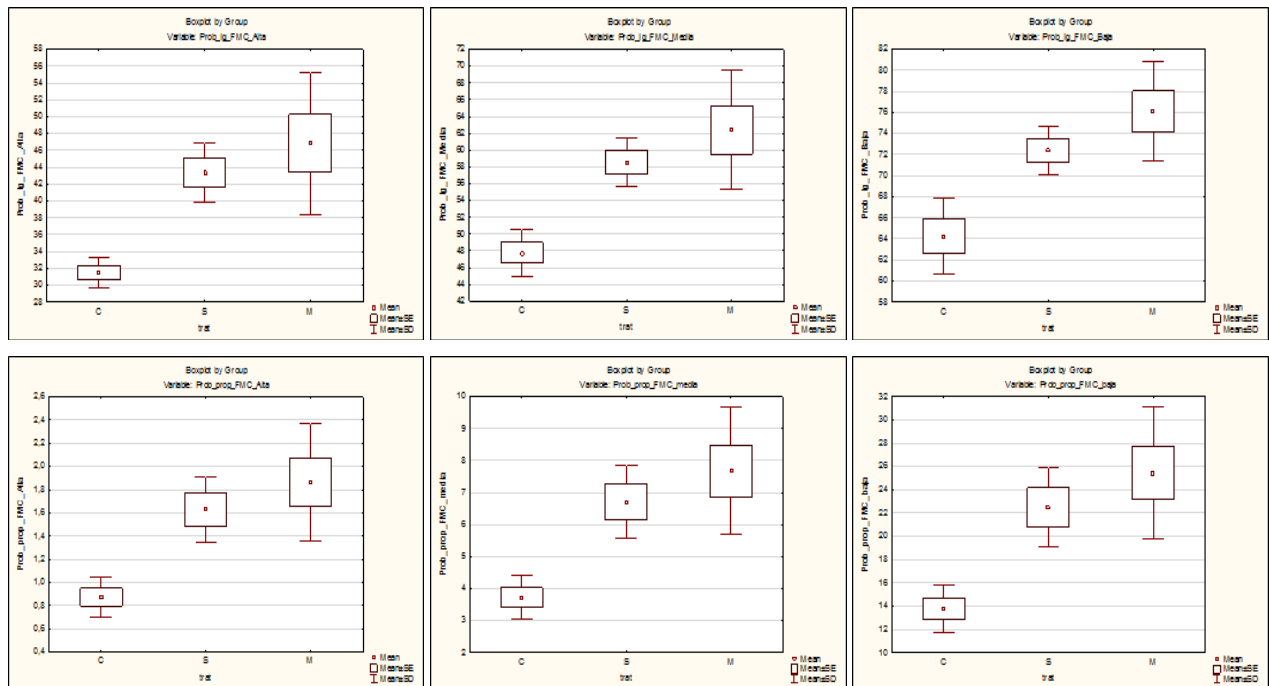


Figura 6. ANOVA mediante el test de Kruskal-Wallis para las probabilidades de ignición (arriba) y de propagación inicial del fuego (abajo) en las parcelas tratadas con siembra (S) y mulching+siembra (M) respecto al testigo (C), tres años tras los tratamientos y en tres escenarios simulados de humedad del combustible vivo: alto, 120% (izquierda), medio, 90% (centro) y bajo, 60% (derecha).

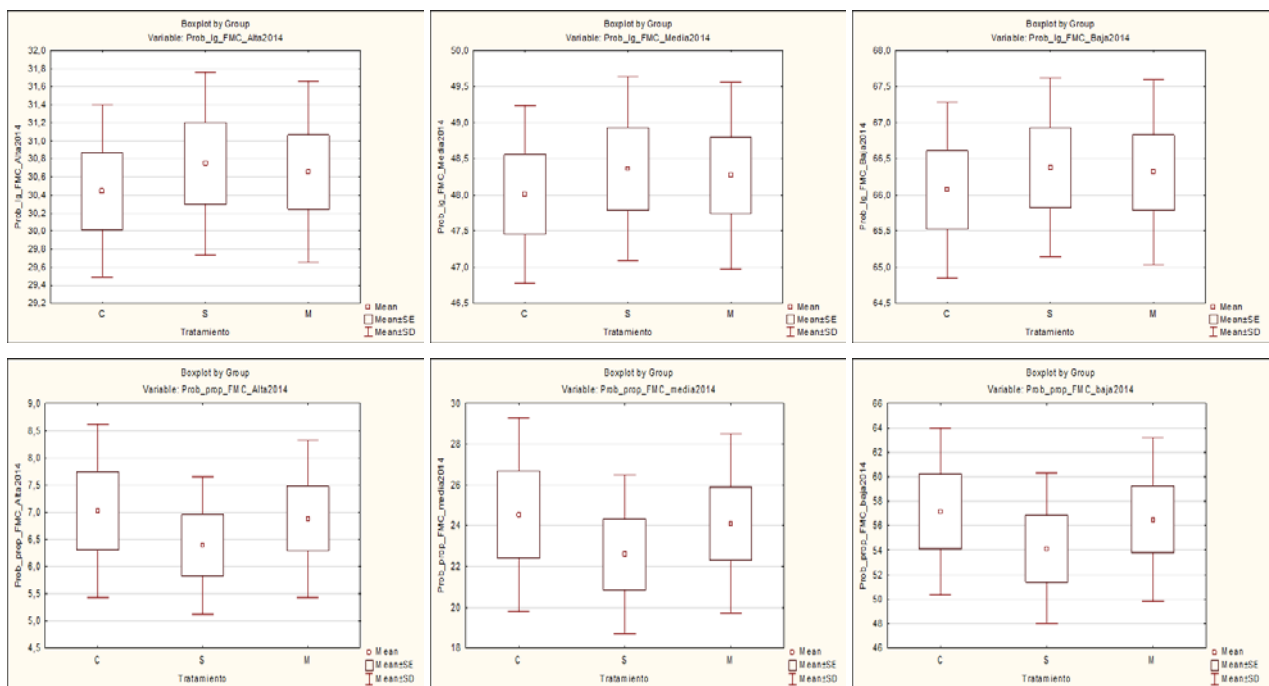


Figura 7. ANOVA mediante el test de Kruskal-Wallis para las probabilidades de ignición (arriba) y de propagación inicial del fuego (abajo) en las parcelas tratadas con siembra (S) y mulching+siembra (M) respecto al testigo (C), cinco años tras los tratamientos y en tres escenarios simulados de humedad del combustible vivo: alto, 120% (izquierda), medio, 90% (centro) y bajo, 60% (derecha).

5. Discusión

Aunque los ensayos de inflamación en laboratorio presentan una capacidad limitada para el estudio de las interacciones entre la vegetación y la dinámica del fuego (FERNANDES & CRUZ 2012), los ensayos realizados a escala cuasi-real de complejo de combustible en Túnel de viento constituyen un método adecuado para valorar tendencias en el inicio (MARINO et al 2011, 2012) y el comportamiento del fuego (MARINO et al 2014) en combustibles de matorral.

Los resultados obtenidos en el presente estudio muestran que el tiempo transcurrido desde la aplicación de los tratamientos post-incendio de "siembra de herbáceas" y "siembra de herbáceas y mulching de paja" en una comunidad de matorral afectan al riesgo de inicio y propagación inicial del fuego en la vegetación regenerada. Así, a los 3 años de realizarse el tratamiento, la probabilidad de ignición y de propagación inicial de un fuego en las parcelas tratadas es mayor que en las parcelas testigo debido a la presencia de herbáceas como consecuencia de los tratamientos (Figuras 2 y 5). En efecto, las herbáceas, combustibles finos y generalmente secos en verano, son altamente inflamables (GANTEAUME et al 2009) y su presencia en la vegetación regenerada como consecuencia de los tratamientos (VEGA et al. 2015) incrementa el riesgo de incendio en las parcelas tratadas respecto a las parcelas no tratadas. No obstante, no hay diferencias significativas en el riesgo de incendio entre los dos tratamientos considerados y transcurridos 5 años de su realización, ninguno de los tratamientos afectan al riesgo de inicio y de propagación inicial del fuego con respecto a las zonas no tratadas. Tras ese tiempo, las especies predominantes en la formación de matorral tratada tienden a recuperar su recubrimiento inicial, debido a su capacidad de reproducción por rebrote y por semilla (REYES y CASAL 2000, CALVO et al 2002), recuperándose fácilmente tras el fuego, mientras que las especies herbáceas están prácticamente ausentes.

Por otra parte, los resultados obtenidos señalan a la humedad ponderada del combustible vivo (matorral) como el principal factor determinante de los riesgos de inicio y de propagación inicial del fuego, indicando que una humedad del combustible vivo inferior al 80-90 % implicaría un aumento significativo del riesgo de incendio. Sin embargo, otros estudios (e.g. MARSDEN-SMEDLEY et al 2001, ANDERSON & ANDERSON 2010) señalan a la humedad de la necromasa del matorral como la variable que más influye sobre la ignición y propagación del fuego en esta formación vegetal. No obstante, y teniendo en cuenta que las proyecciones regionalizadas de cambio climático calculadas para España muestran una clara tendencia de las temperaturas a incrementarse a lo largo del siglo XXI, así como a un aumento del número de días consecutivo sin precipitación (MESTRE et al 2015), estas condiciones favorecerían las condiciones de menor humedad del combustible, con un aumento del riesgo de incendio tanto en las zonas tratadas como en las no tratadas. Las tendencias de los índices de peligro de incendios forestales analizados para Galicia por VEGA et al 2009 apuntan, en ese mismo sentido, a un aumento de peligro de incendios a largo plazo. Los resultados de este estudio advierten que este mayor riesgo de incendio podría verse incrementado en las zonas tratadas para estabilización de emergencia durante los 3 primeros años tras el incendio.

6. Conclusiones

El presente trabajo proporciona información sobre los efectos en el tiempo de dos tratamientos de estabilización de emergencia, "siembra de herbáceas" y "siembra de herbáceas y mulching de paja" realizados en una comunidad de matorral de Galicia afectada por el fuego, sobre el riesgo de inicio de incendio, 3 y 5 años después de la aplicación de los tratamientos. Según nuestro conocimiento, éste es el primer estudio experimental llevado a cabo sobre el riesgo de inicio de incendio ligado a tratamientos de rehabilitación y restauración post-incendio.

Este estudio ha puesto de manifiesto que el riesgo de un nuevo incendio, asociado a las características de la vegetación derivada de los tratamientos es, 3 años tras la realización de los tratamientos, superior en las zonas tratadas que en las no tratadas debido a la presencia de las

herbáceas originadas por los tratamientos, sin que se hayan observado diferencias debidas al tipo de tratamiento. Sin embargo, estas diferencias desaparecen 5 años después de la ejecución de los tratamientos. Considerando que el tratamiento de siembra de herbáceas y mulching de paja no aumenta significativamente el riesgo de incendio respecto al tratamiento de siembra, y que el primero de los tratamientos se mostró más eficaz para la disminución de la erosión (VEGA et al 2015), el tratamiento de siembra+mulching parece también el más recomendable.

Teniendo en cuenta que, de acuerdo con las tendencias a largo plazo de una serie de índices de peligro de incendios se prevé un incremento de la estación de incendios y de la frecuencia de situaciones de mayor peligro (MORENO et al 2015), serán necesarios más estudios sobre los efectos derivados de los tratamientos post-incendio sobre el riesgo de inicio del fuego. Los estudios experimentales a escala cuasi-real en laboratorio deberían ser complementados con experiencias y estudios en campo, así como estudios a la escala de paisaje. Los resultados obtenidos tendrán importantes implicaciones en la prevención y la restauración post-incendio de las áreas de matorral.

7. Agradecimientos

El presente trabajo ha sido financiado por el Ministerio de Economía y Competitividad, en el marco del Proyecto RTA2011-00065-C02-02, cofinanciado con fondos FEDER. Nuestro especial agradecimiento y recuerdo a Antonio Arellano (CIF de Lourizán) por su participación en la selección del área de estudio, instalación de parcelas, mediciones de campo y recogida de muestras para la realización de los ensayos. Agradecemos asimismo a Elena Pérez (CIF de Lourizán) la elaboración de bases de datos de los inventarios de campo, a María Luisa Cáceres (INIA-CIFOR) su colaboración en los trabajos de laboratorio y a Alberto Mulero y Camille D'Hervilly su ayuda en los ensayos en Túnel de viento.

8. Bibliografía

ANDERSON, S.A.J.; ANDERSON, W.R.; 2010. Ignition and fire spread threshold in gorse (*Ulex europaeus*). *Int J Wildland Fire* 19: 589-598.

CALVO, L.; TÁRREGA, R.; DE LUIS, E.; 2002. The dynamics of Mediterranean shrubs species over 12 years following perturbations. *Plant Ecol* 160: 25-42.

DÍAZ-RAVIÑA, M.; MARIN, A.; BARREIRO, A.; LOMBAO, A.; IGLESIAS, L.; DÍAZ-FIERROS, F.; CARBALLAS, T.; 2012. Mulching and seeding treatments for post-fire soil stabilization in NW Spain: short-term effects and effectiveness. *Geoderma* 191: 31-39.

FERNANDES, P. M.; Cruz, M.G.; 2012. Plant flammability experiments offer limited insight into vegetation–fire dynamics interactions. *New Phytol*, 194: 606-609.

FERNÁNDEZ, C.; VEGA, J.A.; JIMÉNEZ, E.; FONTURBEL, M.T.; 2011. Effectiveness of three post-fire treatments at reducing soil erosion in Galicia (NW Spain). *Int J Wildland Fire* 20: 104-114.

FERNÁNDEZ, C.; VEGA, J.A.; FONTURBEL, M.T.; BARREIRO, A.; LOMBAO, A.; GÓMEZ-REY, M.J.; DÍAZ-RAVIÑA, M.; GONZÁLEZ-PRIETO, S.; 2016. Effects of straw mulching on initial post-fire vegetation recovery. *Ecol Eng* 95: 138-142.

FERNÁNDEZ, C.; VEGA, J.A.; 2016a. Efectos de la aplicación de mulch para el control de la erosión post-incendio sobre la recuperación de la vegetación en áreas de matorral. *Cuad Soc Esp Cienc For* 42: 103-110.

FERNÁNDEZ, C.; VEGA, J.A.; 2016b. Effects of mulching and post-fire salvage logging on soil erosion and vegetative regrowth in NW Spain. *For Ecol Manage* 375:46-54.

FONTÚRBEL, M.T.; BARREIRO, A.; VEGA, J.A.; MARTIN, A.; JIMÉNEZ, E.; CARBALLAS, T.; FERNÁNDEZ, C.; DÍAZ-RAVIÑA, M.; 2012. Effects of an experimental fire and post-fire stabilization treatments on soil microbial communities. *Geoderma* 191: 51-60.

GANTEAUME, A.; LAMPIN-MAILLET, C.; GUIJARRO, M.; HERNANDO, C.; JAPPIOT, M.; FONTURBEL, T.; PÉREZ-GOROSTIAGA, P.; VEGA, J.A.; 2010. Spot fires: fuel bed flammability and capability of firebrands to ignite fuel beds. *Int J Wildland Fire* 18: 951-969.

GÓMEZ-REY, M.X.; COUTO-VÁZQUEZ, A.; GARCÍA-MARCO, S.; GONZÁLEZ-PRIETO, S.J.; 2013. Impacts of fire and post-fire management techniques on soil chemical properties. *Geoderma* 195-196: 155-164.

HAYDOCK, K.P.; SHAW, N.H.; 1975. The comparative yield method for estimating dry matter yield in pasture. *Austral J Exp Agric Anim Husb.*15: 663-670.

MARINO, E.; GUIJARRO, M.; HERNANDO, C.; MADRIGAL, J.; DÍEZ, C.; 2011. Fire hazard after prescribed burning in a gorse shrubland: implications for fuel management. *J Environ Manage* 92: 1003-1011.

MARINO, E.; HERNANDO, C.; MADRIGAL, J.; DÍEZ, C.; GUIJARRO, M.; 2012. Fuel management effectiveness in a mixed heathland: a comparison of the effect of different treatments types on fire initiation risk. *Int J Wildland Fire* 21: 969-979.

MARINO, E.; HERNANDO, C.; MADRIGAL, J.; GUIJARRO, M.; 2014. Short-term effect of fuel treatments on fire behaviour in a mixed heathland: a comparative assessment in an outdoor wind tunnel. *Int J Wildland Fire* 23: 1097-1107.

MARSDEN-SMEDLEY, J. B.; CATCHPOLE, W. R.; PYRKE, A.; 2001. Fire modelling in Tasmanian buttongrass moorlands. IV. Sustaining versus non-sustaining fires. *Int J Wildland Fire* 10: 255-262.

MESTRE, I.; CASADO, M.J.; RODRÍGUEZ, E.; 2015. Tendencias observadas y proyecciones de cambio climático sobre España. En: HERRERO, A.; ZAVALA, M.A. (editores). *Los Bosques y la Biodiversidad frente al Cambio Climático: Impactos, Vulnerabilidad y Adaptación en España*. 87-98. MAGRAMA, Madrid.

MINISTERIO DE AGRICULTURA, ALIMENTACIÓN Y MEDIO AMBIENTE; 2012. *Los incendios forestales de España. Decenio 2001-2010*. MAGRAMA. 134 pp. Madrid.

MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE, Y MEDIO RURAL Y MARINO; 2011. *Cuarto Inventario Forestal Nacional*. Galicia. MARM. Madrid.

MORENO, J.M.; URBIETA, I.R.; BEDIA, J.; GUTIÉRREZ, J.M.; VALLEJO, V.R.; 2015. Los incendios forestales en España ante el cambio climático. En: HERRERO, A.; ZAVALA, M.A. (editores). *Los Bosques y la Biodiversidad frente al Cambio Climático: Impactos, Vulnerabilidad y Adaptación en España*. 395-405. MAGRAMA, Madrid.

NAPPER, C.; 2006. *Burned Area Emergency Response treatments catalog*. USDA Forest Service. National Technology & Development Program. Watershed, Soil, Air Management 0625 1801-SDTDC.

REYES, O.; CASAL, M.; 2000. Comportamiento reproductivo tras fuego de especies forestales de Galicia. *Cuad Soc Esp Cienc For* 9: 109-114.

ROBICHAUD, P.R.; BROWN, R.E.; 2002. Silt fences: an economical technique for measuring hillslope soil erosion. General Technical Report RMRS-GTR-94. USDA Forest Service.

SOTO, B.; DÍAZ-FIERROS, F.; 1998. Runoff and soil erosion from areas of burnt scrub: comparison of experimental results with those predicted by the WEPP model. *Catena* 31: 257-270.

SPIGEL, K.M.; ROBICHAUD, P.R.; 2007. First year postfire erosion rates in Bitterroot National Forest, Montana. *Hydrol Proc* 21: 989-997.

VALLEJO, V.R.; 1999. Post-fire restoration in Mediterranean ecosystems. En: EFTICHIDIS, G.; BALABANIS, P.; GHAZI, A.; (Eds) Wildfire management. European Commission, Algosystems, Athens.

VALLEJO, V. R.; ARIANOUSTOU, M.; MOREIRA, F.; 2012. Fire ecology and post-fire restoration approaches in Southern European forest types. En: MOREIRA, F.; ARIANOUSTOU, M.; CORONA, P.; DE LAS HERAS, J.; Post-Fire Management and Restoration of Southern European Forests. pp. 93-119. Springer Netherlands.

VEGA, J.A.; FERNÁNDEZ, C.; JIMÉNEZ, E.; RUIZ, A.D.; VÉLEZ, R.; ÁLVAREZ, J.G.; 2009. Cambio climático en Galicia: Tendencias de los índices de peligro de incendios forestales. Actas del 5º Congreso Forestal Español. Ávila, 21-25 de septiembre de 2009. Sociedad Española de Ciencias Forestales.

VEGA, J.A.; FERNÁNDEZ, C.; FONTÚRBEL, T.; 2013a. Comparación de la eficacia de la siembra y del mulching + siembra para reducir la erosión en un área quemada de Galicia. Actas del 6º Congreso Forestal Español. Vitoria, 10-14 de junio de 2013. Sociedad Española de Ciencias Forestales.

VEGA, J.A., FONTÚRBEL, T., FERNÁNDEZ, C., ARELLANO, A., DÍAZ-RAVIÑA, M., CARBALLAS, M.T., MARTÍN, A., GONZÁLEZ-PRIETO, S., MERINO, A., BENITO, E., 2013b. Acciones urgentes contra la erosión en áreas forestales quemadas: Guía para su planificación en Galicia. Xunta de Galicia y Ministerio de Economía y Competitividad. 140 pp. Santiago de Compostela

VEGA, J.A.; FERNÁNDEZ, C.; FONTÚRBEL, T.; GONZÁLEZ-PRIETO, S.; JIMÉNEZ, E.; 2014. Testing the effects of straw mulching and herb seeding on soil erosion after fire in a gorse shrubland. *Geoderma* 223-225: 79-87.

VEGA, J.A.; FERNÁNDEZ, C.; FONTÚRBEL, T.; 2015. Comparing the effectiveness of seeding and mulching + seeding in reducing soil erosion after a high severity fire in Galicia (NW Spain). *Ecol Eng* 74: 206-212.

VEGA, J.A.; 2016. Prioridades de restauración de áreas forestales quemadas. *Cuad Soc Esp Cienc For* 42: 155-180.