

EFICACIA DE LOS TRATAMIENTOS DE ESTABILIZACIÓN DEL SUELO DESPUÉS DE INCENDIO EN GALICIA

Cristina Fernández - Jose A. Vega
Pablo Arbones - Teresa Fontúrbel



EFICACIA DE LOS TRATAMIENTOS DE ESTABILIZACIÓN DEL SUELO DESPUÉS DE INCENDIO EN GALICIA

Cristina Fernández - Jose A. Vega
Pablo Arbones - Teresa Fontúrbel

Cristina Fernández, y Teresa Fontúrbel son investigadoras del Centro de Investigación Forestal de Lourizán. Axencia Galega de Calidade Alimentaria (AGACAL). Consellería do Medio Rural. Xunta de Galicia. José A. Vega ha sido investigador en ese centro. Pablo Arbones es el Director-Gerente de la Empresa Pública de Servicios Agrarios Galegos, S.A. (SEAGA).

INDICE

ANTECEDENTES

INTRODUCCIÓN

**PRINCIPALES RESULTADOS DE LAS
INVESTIGACIONES EFECTUADAS SOBRE LA
EFECTIVIDAD DE DIFERENTES TÉCNICAS DE
ESTABILIZACIÓN DEL SUELO PARA REDUCIR LA
EROSIÓN POST-INCENDIO (PERÍODO 2006-2012)**

**ASPECTOS ORGANIZATIVOS Y OTROS
CONDICIONANTES EN LA EJECUCIÓN DE
TRATAMIENTOS DE ESTABILIZACIÓN DE SUELOS
POST-INCENDIO**

**PRINCIPALES RESULTADOS DEL PLAN DE
MONITORIZACIÓN DE LOS TRATAMIENTOS
EFECTUADOS EN EL PERÍODO 2013-2015.**

CONCLUSIONES GENERALES

REFLEXIONES FINALES

1.ª edición: Santiago de Compostela, 2019

© Andavira Editora, S. L., 2019

Vía de Édison, 33-35 (Polígono del Tambre)
15890 Santiago de Compostela (A Coruña)
www.andavira.com · info@andavira.com

© Cristina Fernández, Jose A. Vega, Pablo Arbones, Teresa Fontúrbel

Impresión: Tórculo Comunicación Gráfica, S. A.

Impreso en España · Printed in Spain

Reservados todos los derechos. No se permite la reproducción total o parcial de esta obra, ni su incorporación a un sistema informático, ni su transmisión en cualquier forma o por cualquier medio (electrónico, mecánico, fotocopia, grabación u otros) sin autorización previa y por escrito de los titulares del copyright. La infracción de dichos derechos puede constituir un delito contra la propiedad intelectual.

Diríjase a CEDRO (Centro Español de Derechos Reprográficos) si necesita fotocopiar o escanear algún fragmento de esta obra. Puede contactar con CEDRO a través de la web www.conlicencia.com o por teléfono en el 91 702 19 70 / 93 272 04 47.

Andavira, en su deseo de mejorar sus publicaciones, agradecerá cualquier sugerencia que los lectores hagan al departamento editorial por correo electrónico: info@andavira.com.

Depósito legal: C 987-2019

ISBN: 978-84-948634-5-5

PRESENTACIÓN

Aunque las situaciones de mayor riesgo para bienes y personas suelen tener lugar en el momento que se está produciendo el incendio forestal, cuando éste es extinguido hay otra serie de cuestiones que considerar. Una de las más críticas es la mitigación del riesgo hidrológico-erosivo que puede implicar otra serie de daños y perjuicios de gran magnitud ecológica y económica, aunque quizá pasen más desapercibidos para la opinión pública.

En los últimos años se han ido acometiendo una serie de medidas, de forma planificada, orientadas a la limitación del riesgo mencionado. En todas esas acciones la conservación del suelo, como clave para la recuperación de los ecosistemas forestales afectados y el mantenimiento de los servicios suministrados por ellos, incluyendo el de la productividad forestal, ha sido una cuestión central.

En la ejecución coordinada y planificada de esas medidas paliativas, realizadas en un marco de gestión forestal adaptativa, la monitorización de los tratamientos efectuados tiene un papel crucial. Los resultados obtenidos han permitido, por un lado, conocer la magnitud del fenómeno que trata de mitigarse y, por otro, evaluar la efectividad de las medidas tomadas y la eficiencia de las inversiones realizadas. Esto también permite una mejor planificación de las actividades futuras.

Las predicciones de cambio climático indican que la severidad de los incendios forestales irá aumentando en el futuro. También probablemente cambiará el régimen de precipitaciones al que estamos habituados, aumentando la intensidad de las mismas. Por todo ello seguirá siendo necesario evaluar la efectividad de las actividades acometidas para la mitigación de la erosión post-incendio en esos nuevos escenarios y la experiencia que aquí se describe también podrá ser de utilidad para ello.

La información que se resume en este trabajo da a conocer la labor de monitorización efectuada por el Centro de Investigación Forestal de Lourizán. Los resultados obtenidos, fruto de una fuerte conexión entre investigadores y gestores forestales pueden ayudar a mejorar la gestión del riesgo hidrológico-erosivo asociado a los incendios forestales en el futuro y en otras áreas que sufren también la lacra de los incendios forestales como Galicia, al ser además presentados en el marco de un proyecto internacional que busca mejorar la gestión de los riesgos que amenazan a las masas forestales del Sur de Europa.

Tomás Fernández-Couto Juanas
Director Xeral de Defensa do Monte



ANTECEDENTES

El marco legal en el que se inscriben las acciones de estabilización urgente de áreas forestales afectadas por los incendios en Galicia está formado por la Ley de prevención y defensa contra los incendios forestales (Ley 3/2007 de 9 de abril) de la Comunidad Autónoma, modificada parcialmente por la ley 7/2012 de 28 de junio. Esa norma, en su artículo 49, recoge tres aspectos centrales de las actuaciones post-incendio promovidas por la Administración que, si bien en ese texto se denominan de mantenimiento y restauración de los terrenos incendiados, reflejan claramente los principales objetivos de las intervenciones que forman parte de la estabilización de urgencia, dirigidas a paliar los efectos de los incendios y facilitar la recuperación de las áreas afectadas. Esos aspectos son los siguientes:

1) Elaboración de un mapa de riesgos, asociados a los incendios forestales del último período, en el que se concretarán las zonas sensibles a la erosión, la afectación sobre los cursos y recursos hídricos, forestales y pesqueros y las infraestructuras.

2) Adopción de medidas urgentes y de colaboración con los afectados por los incendios forestales para llevar a cabo en las zonas de actuación prioritaria y que serán acometidas por los diferentes departamentos o consejerías competentes en la respectiva materia sectorial. Estas medidas urgentes podrán consistir en actuaciones para la conservación de los ecosistemas naturales, de los recursos forestales, hídricos y del suelo y en medidas destinadas a la regeneración de los terrenos, estableciendo limitaciones o prohibiciones de aquellas actividades que sean incompatibles con la regeneración de la cubierta vegetal.

3) Este mapa de riesgos se elaborará por una comisión de carácter interdepartamental, en la que estarán representadas las diferentes consejerías con competencias en los sectores afectados por los incendios forestales.

Por otro lado estas actuaciones se coordinan con la Agencia Gallega de Emergencias como institución encargada de la declaración de emergencia de interés para la Comunidad (artículo 36; Ley 5/2007, de 7 de mayo, de emergencias de Galicia), prevista para situaciones de especial extensión, intensidad y gravedad del daño.

Después de la ola de incendios de 2006 y sus catastróficas consecuencias, comenzó en Galicia un pronunciado cambio de percepción sobre las consecuencias de los incendios (Díaz-Fierros et al., 2007). Esto propició la creación de un incipiente Comité de contingencia, con participación de técnicos de las Consejerías de Medio Ambiente y Medio Rural e investigadores de diversos centros y universidades gallegas. En ese ámbito se dieron los primeros pasos para delimitar las zonas de mayor riesgo y tomar medidas para aminorar los daños ocasionados por el fuego y las riadas posteriores (Vega, 2007). La administración forestal efectuó en los meses siguientes un conjunto de actuaciones, a través de los servicios provinciales, en las zonas más afectadas (De la Fuente y Blond, 2010). Aunque la interacción de ese Comité con los ejecutores no llegó a desarrollarse plenamente, su creación marcó la dirección para futuras actuaciones en esa temática, recogida unos meses después por la citada Ley de incendios.

Por su parte el Centro de Investigación Forestal de Lourizán comenzó ese mismo 2006 una línea de investigación para seleccionar y testar diferentes tratamientos de reducción de los efectos erosivos de los incendios. Se trataba de realizar una serie de estudios bajo las condiciones ambientales de campo, y a una escala representativa de los procesos generados, para que sus resultados tuvieran una adecuada aplicabilidad. Al tiempo se profundizaba en el conocimiento de la severidad del fuego como factor determinante de la magnitud de su impacto en el suelo y vegetación y se hacían esfuerzos para poner a punto una metodología, práctica y utilizable en el campo, para su evaluación. Se trataba así de disponer de una herramienta, que sirviera en la selección de las áreas prioritarias de actuaciones paliativas de la erosión tras el incendio. Adicionalmente, se continuaron los estudios sobre la respuesta de la vegetación y el suelo al fuego y a las acciones de mitigación de sus efectos. Comprendían también la regeneración de especies forestales arbóreas, que tanta repercusión tienen, a largo plazo, en la protección del suelo y la recuperación de los ecosistemas afectados.

En 2010 se realizaron los primeros tratamientos a escala operativa en los incendios de Cures-Boiro y Camba. En este último se efectuaron las primeras pruebas de helimulching en Europa, poniéndose a punto aspectos prácticos de su ejecución. El empleo de esta técnica ha supuesto un notable paso adelante en la estabilización de emergencia post-incendio, al permitir efectuar el tratamiento de mulching con una alta rapidez de ejecución y alcanzando zonas inaccesibles. Ambos aspectos resultan claves para poder tratar superficies relativamente extensas en pocos días. Esto resulta crítico para el éxito de esas acciones paliativas, desarrolladas siempre bajo una restricción de tiempo muy pronunciada ya que deben preferiblemente realizarse antes de que las lluvias otoñales tengan lugar con continuidad.

En el año 2013 se dieron dos hechos reseñables en la trayectoria del desarrollo de la estabilización de urgencia tras incendio forestal en Galicia. El primero fue la puesta en marcha de un Comité interdepartamental destinado a coordinar las acciones paliativas de los impactos de los incendios, tal como la ley mencionada más arriba preveía. El segundo fue la redacción de un manual para la planificación y ejecución de las acciones citadas por un equipo interdisciplinar coordinados por el Centro de Investigación Forestal de Lourizán, y en el que participaron también investigadores del CSIC y de las Universidades de Santiago y Vigo (Vega et al., 2013). Este trabajo estableció un protocolo que sirviera de guía para acometer las referidas tareas, al tiempo que reflejara el nivel actual de conocimientos científico-técnicos sobre esa materia, adaptándolos para su aplicación a las condiciones de Galicia.



Figura 1. Pruebas de helimulching tras el incendio de Camba (Ourense) en 2010

El proceso de planificación e implementación de la estabilización de urgencia post-incendio está formado por un conjunto de acciones incardinadas entre sí (Vega, 2010; Vega et al., 2011). En su forma actual en Galicia (Vega et al., 2017) se articula en torno a dos ejes (Figura 2). El primero formado por una secuencia temporal de tareas y el segundo constituido por la actividad del comité de coordinación, interactuando con las etapas del proceso.

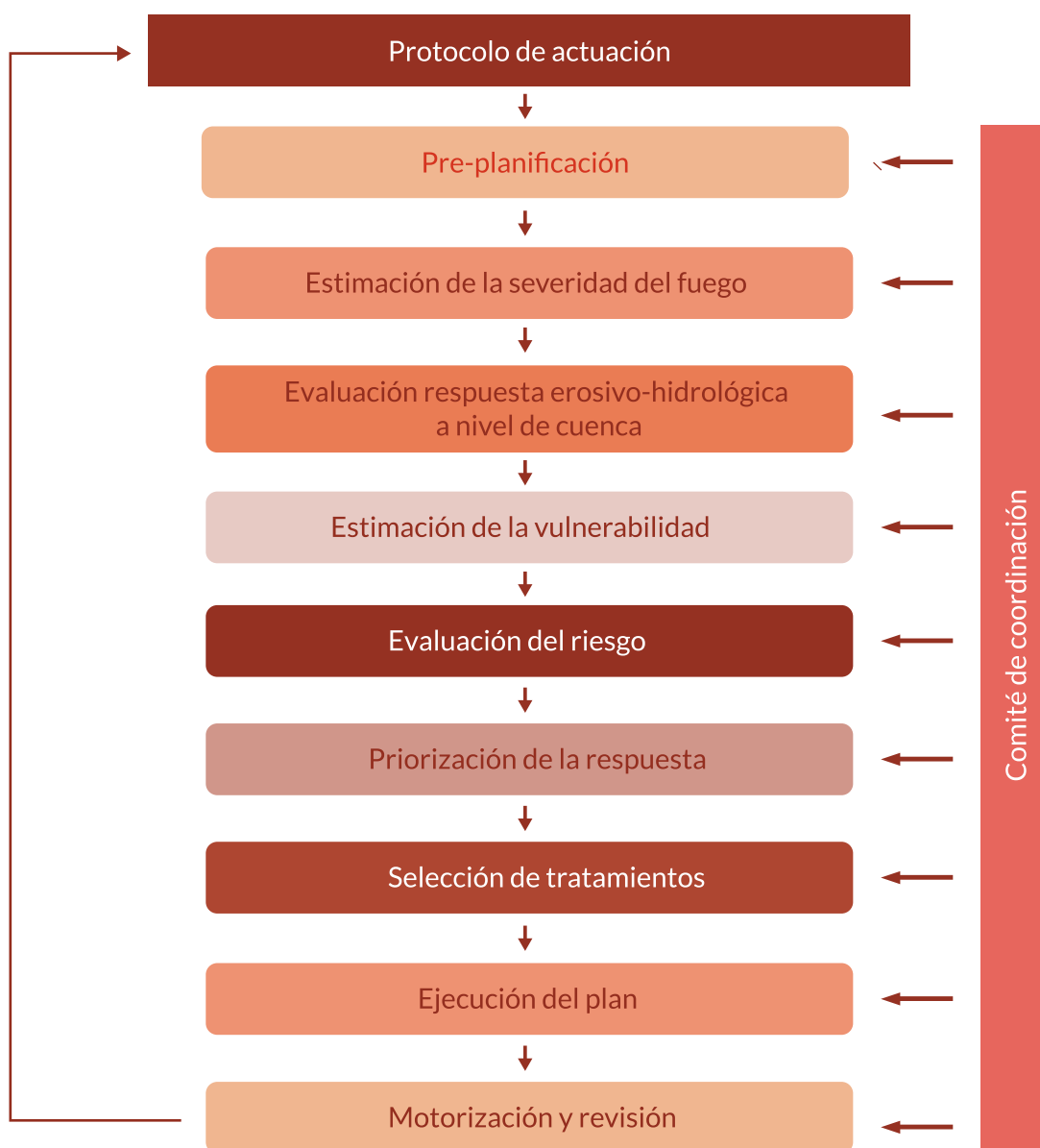


Figura 2. Etapas y flujo de información en la planificación y ejecución de la estabilización urgente post-incendio usada en Galicia actualmente.

Cuatro principios estratégicos, adaptados del protocolo común inter-agencias estadounidenses con competencias en ese ámbito. (USDAFS Manual 2500-2520, 2012) inspiran la estabilización post-incendio:

- **Justificación de las acciones acometidas:** Solo se implementan acciones cuando un análisis demuestre que reducirán de forma notable los riesgos derivados del incendio y lo hagan de forma compatible con los planes de ordenación de recursos para el área afectada.

- **Economía de medios:** Las medidas acometidas deben proporcionar suficiente protección para cumplir los objetivos de gestión del riesgo al menor costo posible.

- **Rapidez en la puesta en marcha de las medidas:** Siempre dentro del año siguiente al incendio.

- **Monitorización de las medias tomadas:** Con procedimientos homologados de investigación y con las finalidades de corrección de desajustes y aprendizaje para acciones semejantes futuras.

En nuestro caso esos principios se han completado (Vega et al., 2018) con:

- Dar un mayor peso a la etapa de **pre-planificación** (Figura 2), en la planificación de conjunto, teniendo en cuenta el marco contextual gallego, caracterizado por un gran número de incendios, una elevada complejidad relativa a variables biogeográficas, físicas y sociales y en donde los inputs del Comité de coordinación en las primeras etapas del proceso resultan especialmente necesarios.

- Creación de un **Comité de coordinación**, muy implicado en cada una de las etapas del proceso. Este comité es una de las claves del sistema. Ejerce funciones de coordinación, cooperación, consulta y comunicación, además de tomar las decisiones más importantes. Dado que los efectos de los incendios son múltiples y los riesgos generados afectan también a recursos fuera de la zona ardida, la contribución de otros Departamentos de la Xunta, además de Medio Rural, y de otros organismos nacionales con competencias en gestión de recursos en el ámbito de Galicia, la acción del comité resulta de especial importancia.

- **Consideración del daño severo al suelo forestal como uno de los criterios esenciales de actuación a valorar**, teniendo en cuenta la reiteración de los incendios y el potencial acumulado de degradación en los ecosistemas forestales gallegos.

La incorporación de la guía mencionada como protocolo de actuación en el Plan anual de defensa contra incendios forestales de Galicia (PLADIGA) desde 2015 supuso la asunción plena de los objetivos de disminución del riesgo de erosión tras-incendio en aquellas áreas afectadas que por su magnitud, situación ó valor ecológico lo precisen. Ello en base a las técnicas de evaluación del riesgo correspondiente y la planificación y ejecución de medias correctoras propuestas en esa guía. Ese hecho representa un importante paso adelante en el compromiso de la Administración autonómica con la mitigación de los daños producidos por los incendios forestales en una Comunidad como Galicia, afectada reiteradamente por este tipo de perturbación.

Este protocolo se ha venido utilizando ininterrumpidamente desde 2013, tras la campaña de incendios de cada verano, ayudando a reducir los posibles impactos erosivo-hidrológicos en numerosas áreas afectadas por el fuego en Galicia. Su puesta en funcionamiento ha supuesto, al mismo tiempo, un reto de coordinación, administrativo, técnico, organizativo y logístico para el personal involucrado.

Así, en el primer año que entró en funcionamiento el programa, 2013, Galicia sufrió el 33% de los incendios ocurridos en España que afectaron a más de 19.000 ha. En ese verano sólo cinco incendios sumaron el 36% del total de superficie afectada en la Comunidad Autónoma. Todos los incendios se iniciaron en condiciones meteorológicas adversas tras una sequía prolongada y especialmente con alta velocidad de viento, con rachas muy elevadas, coincidiendo con viento nordeste con baja humedad relativa. En el año 2015 el número de incendios registrado en Galicia, aunque mayor que en 2014, representó el 24% de los incendios de España, una cifra inferior a la media histórica. En 2016 ese porcentaje (23%) fue muy similar al registrado en la campaña de 2015, aunque durante ese verano en Galicia tuvieron lugar el 36% de los grandes incendios habidos en el total del país. Especial relevancia tuvo el año 2017, en particular el mes de Octubre, con 23 grandes incendios de los 55 ocurridos en todo el año en todo el territorio nacional y un escaso margen de tiempo para las actuaciones paliativas, dada la época del año.

Como queda reflejado en el protocolo (Figura 2), y dada la magnitud de las superficies afectadas, la selección y priorización de las áreas a tratar resultan fundamentales. Como se ha señalado anteriormente, la etapa más crítica en la aplicación de ese protocolo es la evaluación de la severidad del fuego. Esa determinación se lleva a cabo a través de muestreos de campo, combinados con la información obtenida vía satélite (Arellano et al., 2017). Debe analizarse por separado la relativa a la severidad del daño en la vegetación y en el suelo. El nivel de daño en la vegetación arbórea juega un papel muy importante en el control de las pérdidas de suelo post-incendio porque sus residuos pueden prestar una considerable protección al suelo (Figura 3) haciendo innecesaria las actuaciones paliativas. Por tanto, la delimitación de las áreas afectadas por fuegos de copa es una tarea primordial en los incendios que dañan masas arboladas.



Figura 3. Hojarasca procedente de las hojas caídas desde las copas soflamadas protegiendo el suelo.

El grado de severidad del fuego en el suelo es el indicador más útil para reflejar los cambios producidos por el incendio en el ecosistema edáfico y, en particular, en las propiedades del suelo que afectan a su capacidad de infiltración, a la generación de escorrentía y al potencial de erosión. Según la metodología establecida por Vega et al. (2013) y Fernández y Vega (2016), la severidad del fuego en el suelo puede estimarse a través de una serie de indicadores que tienen en cuenta el grado de alteración de un conjunto de propiedades de la cubierta orgánica del suelo y de los centímetros más superficiales del suelo mineral. De acuerdo con ello la severidad se clasifica en seis niveles que en orden creciente se denominan: (1) muy bajo, (2) bajo, (3) moderado, (4) alto, (5) muy alto y (6) extremo.

Un estudio desarrollado en el Centro de Investigación Forestal de Lourizán (Fernández y Vega, 2016), incluyendo datos de 65 parcelas de 15 sitios experimentales, reveló que la severidad del fuego en el suelo, explicó una parte muy sustancial de la variabilidad de la erosión producida el primer año después del incendio (Figura 4). Por ello, la localización de las áreas que han sufrido mayor severidad del fuego en el suelo resulta crítica para una correcta priorización de las acciones de respuesta.

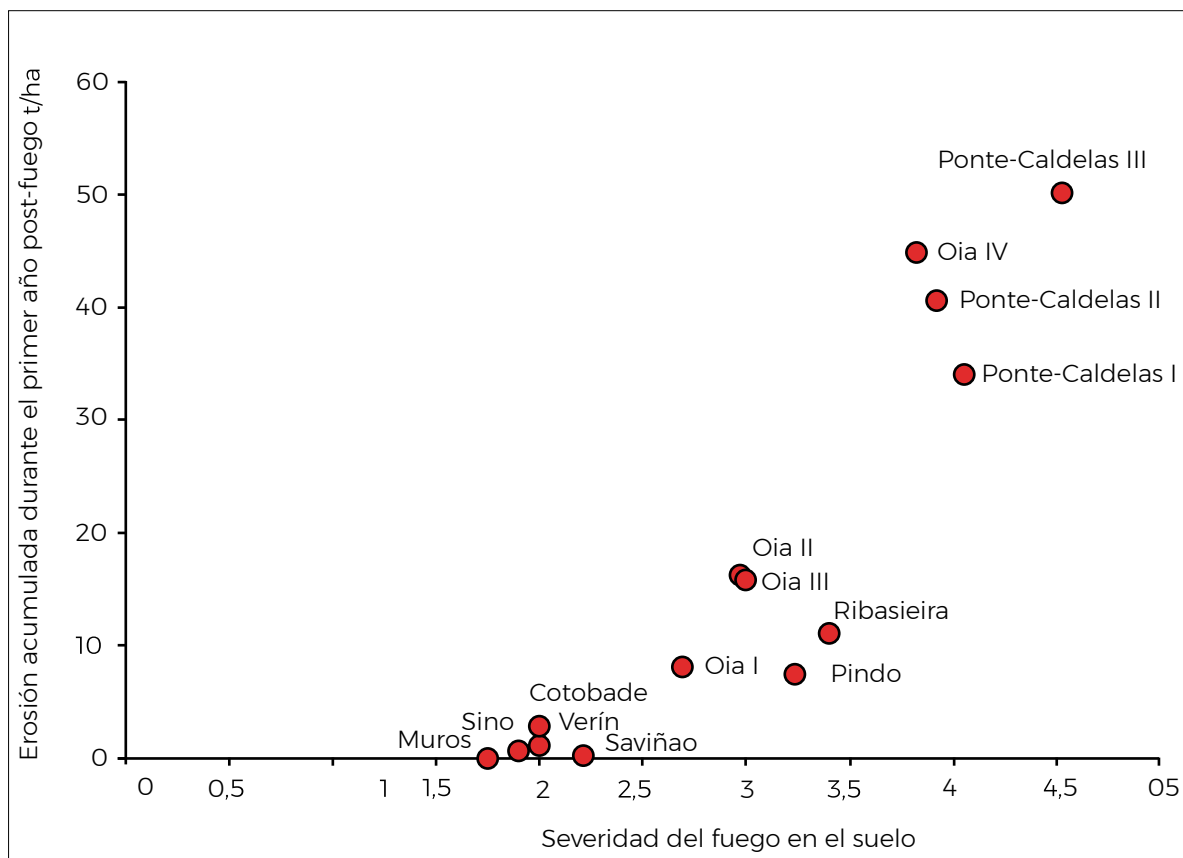


Figura 4. Erosión acumulada durante el primer año post-incendio en función de la severidad del fuego en el suelo en diferentes áreas quemadas de Galicia.

Finalmente, puede considerarse otro signo positivo para la continuidad de las medidas paliativas post-incendio la inclusión de esta temática en las actuaciones planificadas en la 1ª revisión del Plan Forestal de Galicia (II.1.2. Identificación, selección y declaración de zonas prioritarias de actuación en áreas forestales degradadas), dentro de la “Estrategia de protección contra riesgos erosivos e hidrológicos. Restauración y mejora de áreas quemadas o degradadas”. Esta materia forma parte de uno de los ejes estratégicos de intervención, el relativo a la protección del monte ante riesgos naturales (II).

REFERENCIAS

Arellano, S.; Vega, J.A.; Rodríguez y Silva, F.; Fernández, C.; Vega-Nieva, D.; Álvarez-González, J. G.; Ruiz-González, A.D. 2017 Validación de los índices de teledetección dNBR y RdNBR para determinar la severidad del fuego en el incendio forestal de Oia-O Rosal (Pontevedra) en 2013. *Revista de Teledeteccion*, 49: 49-61.

De la Fuente, J.; Blond, A. 2010. Gestión forestal de zonas quemadas tras la oleada de incendios de 2006. En: *Investigación y gestión para la protección del suelo y restauración de los ecosistemas forestales afectados por incendios forestales*. Díaz Raviña, M.; Benito, E.; Carballas, T.; Fontúrbel, M.T.; Vega, J.A. (eds.): 65-83. FUEGORED 2010. Santiago de Compostela. ISBN: 978-84-8408-583.

Díaz-Fierros, F.; Balboa, X.; Barreiro, X.L. (eds.). 2007. Por unha nova cultura forestal fronte aos incendios: informes e conclusións. Consello da Cultura Galega. Santiago de Compostela. ISBN 978-84-96530-42-3.

Fernández, C.; Vega, J.A. 2016. Modelling the effect of soil burn severity on soil erosion at hillslope scale in the first year following wildfire in NW Spain. *Earth Surface Processes and Landforms*.41 (7): 928-935.

USDA Forest Service 2012. Forest Service Manual 2500 Watershed and air management. Chapter 2520.Watershed protection and management.2523 Burned area emergency stabilization response (BAER).19 págs.

Vega, J.A. 2007. Bases ecológicas para la restauración preventiva de zonas quemadas. 4th International Wildland Fire Conference Proceedings. Sevilla. 23 págs. ISBN: 978-84-8014-690-6.Soporte: CD-ROM.

Vega, J.A. 2010. La investigación de apoyo a la gestión de ecosistemas forestales quemados. En : *Investigación y gestión para la protección del suelo y restauración de los ecosistemas forestales afectados por incendios forestales*. Díaz-Raviña M.; Benito E.;Carballas T.; Fonturbel, M.T.; Vega JA (eds): 35-48. FUEGORED 2010. Santiago de Compostela. ISBN 978-989-97-214-0-1.

Vega, J.A. 2011. Criteria to develop protocols for post-wildfire soil rehabilitation: current experience in Galicia (NW Spain). En: *Pocceedings of the 3rd International Meeting of Fire Effects on Soil Properties*. Bento-Gonçalves, A., Vieira, A. (eds.):99-103. Universityof Minho Guimarães, Portugal. ISBN 978-989-97214-1-8

Vega, J.A.; Fontúrbel, T.; Fernández, C.; Arellano, A.; Díaz-Raviña, M.; Carballas, M.T.; Martín, A.; González-Prieto, S.; Merino, A.; Benito, E. 2013a. Acciones urgentes contra la erosión en áreas forestales quemadas: Guía para su planificación en Galicia. ISBN: 978-84-8408-716-8. 139 págs.

Vega J.A.; Fonturbel, M.T; Merino, A.; Fernández, C.; Ferreiro, A.; Jiménez, E. 2013b. Testing the ability of visual indicators of soil burn severity to reflect changes in soil chemical and microbial properties in pine forests and shrublands. *Plant and Soil*. 369: 73-91.

Vega, J.A.; Fernández, C.; Fontúrbel, T. 2017. Planning for emergency stabilization following wildfire: experience accumulated and pending challenges. VIII Reunión Internacional FUEGORED. León.

Vega, J.A.; Fernández, C.; Fontúrbel, T. 2018. Medidas de atenuación de los daños post-incendio en Galicia. En: *Incendios Forestales. Reflexiones desde Galicia*. Hércules de Ediciones. (F. Díaz-Fierros, coord.): 136-174. ISBN 978-84-948619-4-9.



INTRODUCCIÓN



INTRODUCCIÓN

Los incendios constituyen una de las perturbaciones más frecuentes e importantes que impactan sobre los ecosistemas forestales de Galicia. Cuando tras el fuego confluyen en un área quemada de relieve pronunciado altos niveles de perturbación en el suelo y en la vegetación y elevadas precipitaciones, existe un riesgo potencial de fuertes alteraciones en el comportamiento hidrológico de las cuencas afectadas. Esto puede conducir a grandes aumentos en la escorrentía superficial y episodios erosivos intensos (Vega y Fernández, 2010; Fernández y Vega, 2011). Estos fenómenos favorecen la degradación del suelo, un recurso fundamental para el mantenimiento de la calidad y productividad del ecosistema afectado, pudiéndose además originar riadas e inundaciones, con amenaza para la vida humana, infraestructuras y diversos recursos valiosos dentro y fuera del área quemada.

Tradicionalmente la restauración hidrológico-forestal después de incendio, se ha dirigido principalmente a la recuperación de la cubierta vegetal destruida, consiguiéndose así la protección del suelo y la regulación hidrológica a largo plazo. En Galicia, el 80% de las pérdidas de suelo después de incendio se producen en los seis primeros meses después de éste (Figura 5), por lo que esas acciones no sirven para mitigar el riesgo hidrológico erosivo después de incendio. La estabilización de urgencia después del incendio evalúa la necesidad de tomar medidas urgentes, para reducir ese riesgo y la degradación del suelo, un elemento esencial para la recuperación integral del ecosistema afectado. Indirectamente, esas medidas favorecen el mantenimiento de la calidad del agua y de los hábitats acuáticos. Ante el riesgo de eventos hidrológicos de gran magnitud, esas acciones pretenden sobre todo proteger la vida humana y un conjunto de recursos valiosos que pueden verse críticamente amenazados en muy poco tiempo tras el incendio. Para ello actúan fundamentalmente protegiendo el suelo, para limitar su disgregación, arranque y transporte, así como la generación de escorrentía en las laderas, al tiempo que estabilizan los cauces, en su caso.

La estabilización urgente de zonas forestales quemadas supone un cambio pronunciado de perspectiva con relación a los objetivos, plazos y técnicas que se han venido empleando tradicionalmente en las labores de restauración post-incendio (Vega, 2016; Fernández et al., 2017; Vega et al., 2017; Vega et al., 2018). La principal diferencia es que la estabilización protege directamente el suelo en el menor tiempo posible después del incendio, mientras que la restauración pretende recuperar la estructura y funcionalidad del ecosistema y su efecto precisa de un período de tiempo más dilatado (Vega et al., 2016).

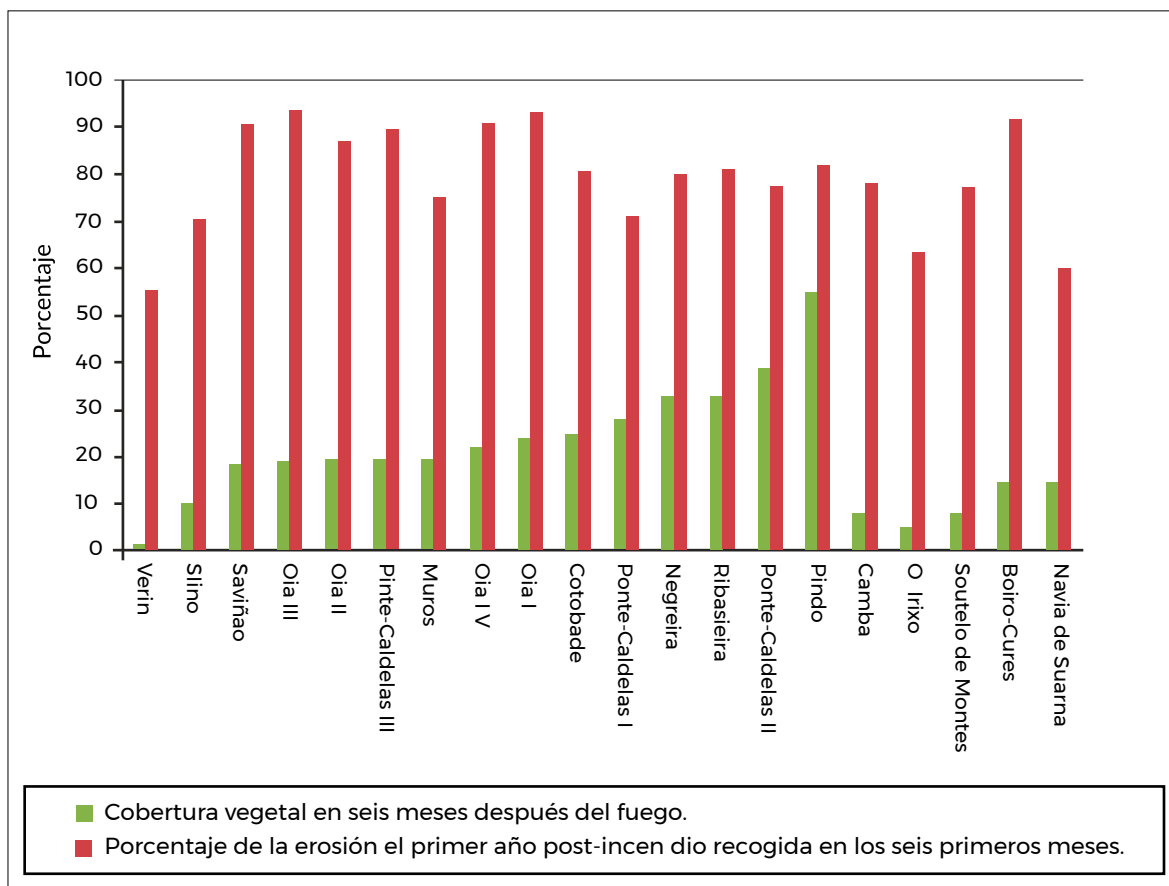


Figura 5. Comparación del porcentaje de suelo perdido durante los seis primeros meses después del fuego en relación al valor acumulado el primer año y del porcentaje de cobertura por la vegetación en ese mismo período en diferentes áreas afectadas por incendio en Galicia

Para seleccionar el tratamiento post-incendio más apropiado es necesario tener en cuenta diferentes criterios. Entre ellos, aspectos ligados a su factibilidad y rapidez en su ejecución así como su coste, pero sobre todo su efectividad en la atenuación de la escorrentía superficial y la reducción de las pérdidas de suelo por erosión. Ese es el principal objetivo para el que son aplicados esos tratamientos aunque se requiere también que no interfieran en la recuperación de los ecosistemas afectados, como hemos señalado líneas más atrás.

La aplicación de tratamientos de estabilización urgente del suelo es algo reciente en Galicia a pesar de ser la región que sufre las mayores pérdidas de erosión post-incendio en la Península (Cerdá y Mataix-Solera, 2009). A mediados de la década de los 2000, la información cuantitativa existente sobre la efectividad de estos tratamientos en la reducción de la erosión era prácticamente inexistente en Galicia y nuestro país y procedía básicamente del Oeste de los Estados Unidos (Robichaud et al., 2000, Robichaud et al., 2003) con unas condiciones edafo-climáticas muy diferentes a las de NO. de la Península Ibérica. Era, por tanto, dudosa la aplicabilidad directa de esos resultados.

El objetivo central de esta publicación es la presentación de los principales resultados hallados en las investigaciones específicas efectuadas por el Centro de Investigación Forestal de Lourizán, en el ámbito de la estabilización urgente post-incendio en Galicia. La mayor parte de ellas están asociadas a las labores de monitorización de los resultados de las acciones acometidas por Consellería de Medio Rural. Deliberadamente se ha evitado en este texto efectuar una revisión bibliográfica del estado actual de conocimientos sobre las modificaciones sufridas por el suelo, debido a los incendios, y la génesis y factores determinantes del proceso erosivo post-incendio así como la comparación con los resultados de otros estudios similares. Creemos que eso alargaría innecesariamente un texto que va esencialmente dirigido a transferir una información a los gestores encargados de las decisiones en este campo. Los lectores interesados en disponer con más detalle de la información científica que sustenta los resultados comentados pueden encontrarla en un apartado final en cada una de las secciones de las que consta este trabajo.

El texto presentado está dividido en cuatro secciones. En la primera se da cuenta de los resultados de experimentos, a escala real, realizados en áreas afectadas por incendios y fuegos experimentales, entre 2006 y 2012. Estos estudios perseguían, principalmente, testar la eficacia de diversos tratamientos de mitigación de la erosión post-fuego y su efecto en la recuperación de la vegetación y en el suelo. En la segunda se abordan diferentes aspectos operativos relativos a la ejecución de los tratamientos de mitigación de la erosión, lo que permite disponer de una visión más completa de la complejidad organizativa de las mismas. La tercera sección resume los resultados relativos al plan de monitorización, llevado a cabo por el Centro de Investigación Forestal de Lourizán, dentro del programa de actividades desarrollado por la D.G de Ordenación Forestal en el periodo 2013-2015. Finalmente, la cuarta ofrece unas conclusiones y reflexiones generales sobre los resultados hallados.

REFERENCIAS

- Cerdá, A.; Mataix-Solera, J. 2009. Incendios forestales en España. Ecosistemas terrestres y suelos. En: Cerdá, A.; Mataix-Solera, J. (Eds.). Efectos de los incendios forestales sobre los suelos en España. El estado de la cuestión visto por los científicos españoles. Cátedra Divulgación de la Ciencia. Universitat de València, Valencia: 25-54.
- Fernández, C.; Vega J.A. 2011. Erosión después de incendios forestales. Boletín del CIDEU. 10:23-36.
- Fernández, C.; Vega, J.A.; Fontúrbel, T. 2017. Preventing erosive risks after wildfire in Spain: advances and gaps. EGU General Assembly. Geophysical Research Abstracts . Viena (Austria). Vol. 19, EGU2017-16819.
- Robichaud, P.R.; Beyers, J.L.; Neary, D.G. 2000. Evaluating the effectiveness of postfire rehabilitation treatments. USDA Forest Service. General Technical Report. RMRS-GTR.-63.
- Robichaud, P.R.; MacDonald, L.; Freeouf, J.; Neary, D.; Martin, D.; Ashmun, L. 2003. Post-fire rehabilitation of the Hayman fire. En: 2003 Hayman Fire Case Study. R.T. Graham (ed). USDA Forest Service. Gen. Tech. Rep. RM-RS-GTR-114.
- Vega, J.A.; Fernández, C. 2010. Riesgos hidrológicos y erosivos después de los incendios forestales. En: Riesgos naturales en Galicia (Frá U, ed) : 79-102. ISBN: 978-84-9887-534-8.
- Vega, J.A. 2016. Prioridades de restauración de áreas forestales quemadas. Cuadernos. Sociedad. Española Ciencias Forestales 42: 155-180.
- Vega, J.A.; Fernández, C.; Fontúrbel, T. 2016. Linking post-fire soil conservation research and management: experience from Galicia. VII Reunión Internacional FUEGORED. Aveiro (Portugal).
- Vega, J.A.; Fernández, C.; Fontúrbel, T. 2017. Planning for emergency stabilization following wildfire: experience accumulated and pending challenges. VIII Reunión Internacional FUEGORED. León.
- Vega, J.A.; Fernández, C.; Fontúrbel, T. 2018. Medidas de atenuación de los daños post-incendio en Galicia. En: Incendios Forestales. Reflexiones desde Galicia. Hércules de Ediciones. (F. Díaz-Fierros, coord.): 136-174. ISBN 978-84-948619-4-9

PRINCIPALES RESULTADOS DE LAS
INVESTIGACIONES EFECTUADAS SOBRE LA
EFECTIVIDAD DE DIFERENTES TÉCNICAS DE
ESTABILIZACIÓN DEL SUELO PARA REDUCIR LA
EROSIÓN POST- INCENDIO
(PERÍODO 2006 -2012)



PRINCIPALES RESULTADOS DE LAS INVESTIGACIONES EFECTUADAS SOBRE LA EFECTIVIDAD DE DIFERENTES TÉCNICAS DE ESTABILIZACIÓN DEL SUELO PARA REDUCIR LA EROSIÓN POST-INCENDIO (PERÍODO 2006-2012)

La información presentada en esta sección resume la obtenida en diferentes dispositivos experimentales (numerados del 1 al 7, ambos inclusive en la Figura 6) instalados por el Centro de Investigación Forestal de Lourizán en diversas áreas forestales quemadas en el intervalo de tiempo indicado. En ellos se testaron diferentes técnicas de estabilización del suelo quemado, reflejando así situaciones reales tras incendio forestal. Los resultados ofrecidos se refieren, primeramente, a la eficacia de esos tratamientos de urgencia en la reducción de la erosión post-incendio. Para ello se ha tomado como término de comparación lo sucedido en superficies quemadas equivalentes no tratadas, en el mismo período de tiempo. En lo que sigue, la eficacia de cualquier tratamiento se expresa como el porcentaje de reducción de la erosión debida tratamiento, en relación a la existente en el suelo quemado sin tratar en el mismo sitio. Como anteriores estudios en la zona habían indicado que la erosión post-incendio se concentra mayoritariamente en el primer año siguiente al fuego, el esfuerzo principal se centró en ese período. Dependiendo de la pauta de variación temporal del suelo perdido, en algún caso las mediciones de erosión se prolongaron hasta tres años después del fuego (incendio de Cures de 2010). Los estudios también abordaron la evaluación de la respuesta de la vegetación al fuego y a los tratamientos de reducción de la erosión. Particularmente respecto a de su capacidad para proteger el suelo de la erosión mediante la su cobertura y los posibles cambios en la composición específica de la comunidad vegetal emergente tras el incendio.

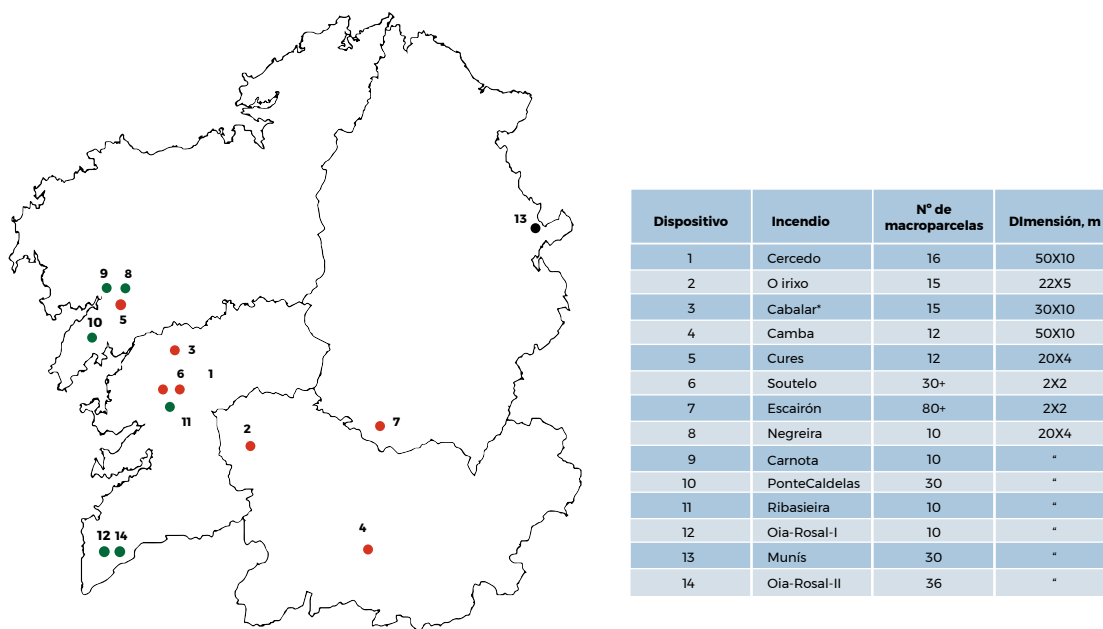


Figura 6. Situación de los dispositivos experimentales de estudio y de monitorización de la eficacia de los tratamientos de estabilización de suelos forestales quemados en diferentes incendios y fuegos experimentales en Galicia. En rojo, instalaciones entre 2006 y 2012. En verde, entre 2013 y 2015 .

INCENDIO DE CERDEDO (Pontevedra, 2006)

Ocurrió el 8 de agosto de 2006, afectando a 7317 ha. El dispositivo experimental se situó en la umbría del monte de Costoia, cubierta de matorral de tojo, carqueixa y brezos (*Ulex europaeus*, *Pterospartum tridentatum*, *Halymium lasianthum*, *Erica arborea*, *Erica cinerea*, *Daboecia cantabrica*), representativa de la situación creada por el incendio en esa zona. La pendiente media era del 40%, la altitud media s.n.m. 850 m, con exposición N.O. El sustrato es de esquistos y los suelos son Regosoles alumi-úmbricos. La severidad del fuego en el suelo fue muy alta.

El nivel de carbono (C) en los 5 primeros cm del suelo mineral quemado fue de 4,2%, lo que representa una reducción relativa del 55% respecto al contenido de C de un suelo no quemado adyacente. La estabilidad de los agregados del suelo, estimada a través del diámetro medio ponderado de los agregados, sufrió una reducción relativa del 63% respecto al suelo no quemado (1,3 mm), señalando un impacto del fuego considerable.

Los tratamientos aplicados fueron mulch de paja, en una cantidad de 2,5 t/ha, mulch de astilla, a razón de 4,0 t/ha y barreras de matorral cortado, dispuestas siguiendo curvas de nivel y separadas 10 m. Los tratamientos se replicaron cuatro veces cada uno.



Figura 7. Cobertura del suelo por el mulch de paja agrícola después de su aplicación en el incendio de Cerdedo de 2006.



Figura 8. Cobertura del suelo por el mulch de astilla después de su aplicación en el incendio de Cerdedo de 2006.



Figura 9. Aspecto de las barreras de matorral cortado un mes después de su instalación en el incendio de Cerdedo de 2006. Nótese la muy alta severidad del fuego en el suelo.

Inmediatamente después de la aplicación del mulch de paja, la cobertura del suelo por este material era del 80% (Figura 7) mientras que la astilla sólo lo hizo en el 45% (Figura 8). Por su parte, la superficie de las barreras suponía el 6% del área quemada. La cobertura de paja disminuyó bastante lentamente durante los primeros meses después del fuego, incluso aunque la cantidad de lluvia recogida fue alta (Figura 10), debido a la adherencia al suelo mostrada nada más ser aplicada. Por su parte, la forma de la astilla no favoreció su adherencia al suelo y su dimensión y la escasa cobertura inicial lograda con la cantidad aportada favorecieron su arrastre por la lluvia y la rápida reducción de su cobertura.

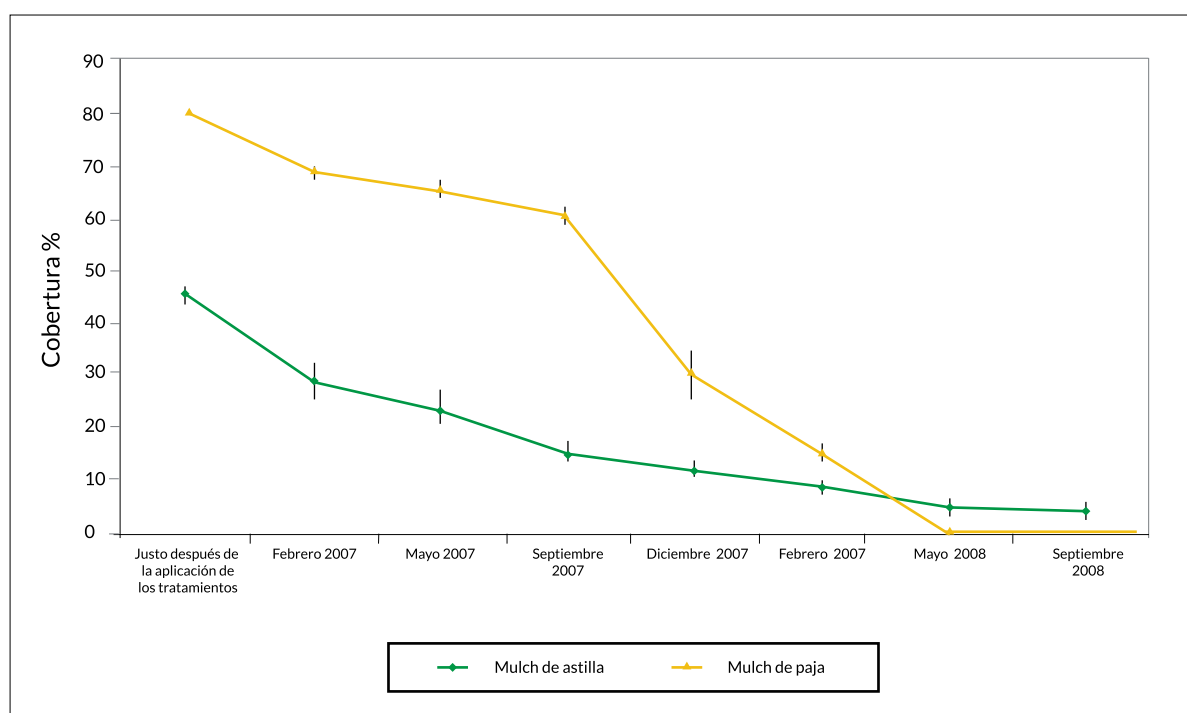


Figura 10. Variación de la cobertura del mulch de paja y astillas durante los dos años siguientes a su aplicación en el incendio de Cerdedo de 2006. Barras verticales, error estándar.

El seguimiento de la erosión ocasionada y de la regeneración de la vegetación se prolongó durante los dos años siguientes al incendio (2006-2008). La precipitación recogida durante ese período fue de 1520 mm el primer año y de 1194 mm el segundo. La media de la intensidad máxima de la precipitación en 30 minutos el primer año post-incendio fue de 7,9 mm/h mientras que esa cifra fue 7,1 mm/h durante el segundo año.



Figura 11. Parcela tratada con mulch de paja (2,5t/ha) en el incendio de Cerdedo de 2006.

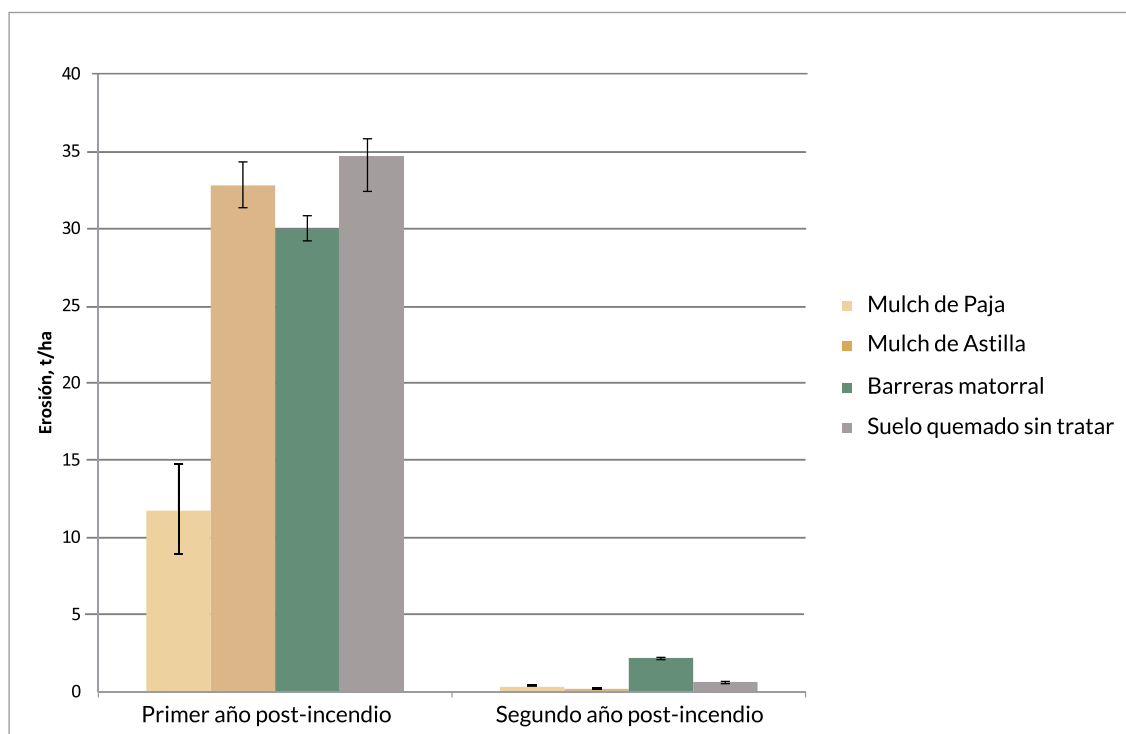


Figura 12. Pérdidas de suelo durante el período estudiado. Incendio de Cerdedo (2006). Barras verticales, error estándar

Este estudio produjo también dos resultados reseñables sobre la eficacia de los tratamientos. El primero fue que la relación significativa encontrada entre el suelo perdido en distintos episodios de lluvia del primer año y ciertas variables relativas a la precipitación correspondiente (cantidad total, intensidad máxima en 30 minutos, energía de la lluvia y erosividad de la lluvia) fue más estrecha en los suelos sin tratar y tratados con astilla (ambos se comportaron de forma similar) que en donde se había aplicado paja. Esto sugirió que la falta total de cobertura del suelo (o valores muy bajos de ella) fue la principal responsable de la erosión. También que las fajinas, al colmatarse pronto de sedimentos, no resultaron adecuadas para el clima lluvioso de Galicia. Esto al margen de otras consideraciones de coste y tiempo de ejecución que afectan a su eficiencia. Asimismo estos resultados subrayaron la importancia de un contar con rápido recubrimiento del suelo quemado con severidad alta para limitar la erosión.

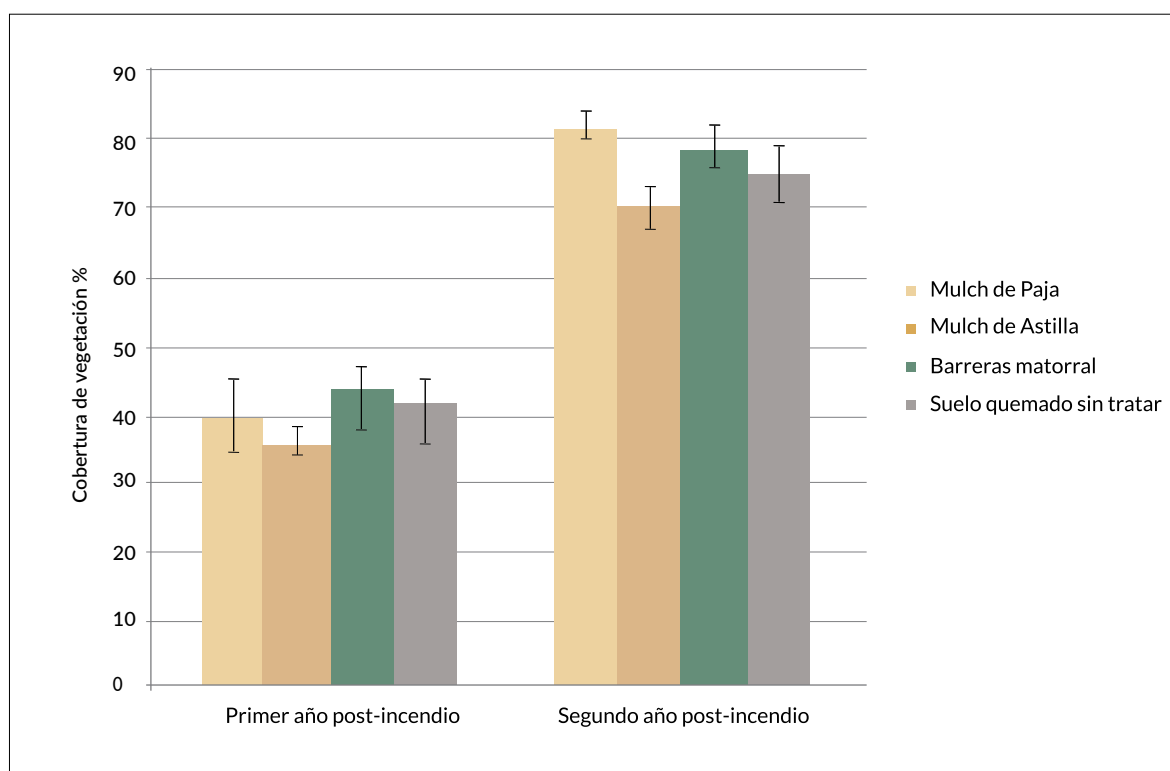


Figura 13. Recuperación de la cobertura vegetal (como grado de recubrimiento del suelo sin tener en cuenta la estratificación) durante el período de estudio en el incendio de Cerdedo (2006). Barras verticales, error estándar.

El segundo resultado destacable fue la determinación de una clara relación entre la cobertura media del mulch de astilla y paja en los dos años siguientes al fuego con la pérdida de suelo en ese periodo. De esa relación se infirió que al menos era necesaria una cobertura del suelo del 70% para reducir apreciablemente la erosión en el clima lluvioso de Galicia.

La vegetación (Figura 13) produjo una relativamente baja cobertura del 40% al final del primer año después del fuego. Aunque la precipitación en ese periodo fue abundante, la alta severidad del fuego pudo afectar a la velocidad inicial de recuperación de la vegetación. No se observaron diferencias significativas entre los tratamientos ni entre éstos y su ausencia. Al final del segundo año post-incendio la vegetación cubría alrededor del 80% del suelo en todos los casos lo que implicó un aumento muy considerable de la rugosidad superficial. El conjunto de todos esos cambios puede ayudar a explicar la prácticamente falta de erosión en el segundo año. No se observó que los tratamientos influyeran significativamente en la velocidad de recuperación de la cobertura vegetal respecto al suelo sin tratar.



Figura 14. Vista parcial del área experimental en el incendio de Cerdedo de 2006, en la primavera siguiente al fuego (Mayo 2007).



Figura 15. Vista parcial (Diciembre 2007) del área experimental dieciséis meses después del incendio de Cerdedo de 2006.



Figura 16. Vista parcial (Agosto 2008) del área experimental de Cerdedo, dos años después del incendio.

INCENDIO DE O IRIXO (Ourense, 2009)

Este fuego se desarrolló entre el 28 de septiembre y el 1 de octubre de 2009, afectando a 350 ha. En las semanas siguientes al incendio, se seleccionó un área de (Coto da Fraga) en una de las laderas del Alto de Foxiño, cubierta por carqueixa, tojo, carqueixa boieira y brezo (*P. tridentatum* U. *europaeus*, *Ulex gallii*, *H. lasianthum*, *Erica umbellata*). La pendiente media era del 36% , la orientación del terreno S.O. y la altitud media s.n.m. 815 m. El sustrato es de esquistos y los suelos son Regosoles alumi-úmbricos, con textura franco-arenosa. El incendio presentó una alta severidad del fuego en el suelo.

El nivel de C en los 2 primeros cm del suelo mineral afectado por el incendio fue de 9,8%, representando una reducción relativa del 43% respecto al nivel correspondiente de un suelo no quemado adyacente. La estabilidad de los agregados del suelo (estimada a través de su diámetro medio ponderado) fue de 0,44 mm, un valor notablemente bajo, reflejando un fuerte impacto del fuego.



Figura 16. Vista parcial (Agosto 2008) del área experimental de Cerdedo, dos años después del incendio.

Los tratamientos, fueron: siembra y mulching + siembra. La dosis de siembra empleada fue la de una siembra aérea (3g/m^2) y estaba formada por una mezcla de semillas con el 35% de *Lolium multiflorum*, 10% de *Festuca arundinacea*, 20% de *Dactylis glomerata*, 5% de *Festuca rubra*, 5 % de *Agrostis tenuis* y 25 % de *Trifolium repens* (las cantidades referidas a peso). En el tratamiento de mulch de paja + siembra, el mulch se aplicó a razón de 2,5 t/h. El mulch proporcionó una cobertura inicial del 83% al suelo quemado (Figura 18) que se mantuvo por encima del 60% hasta la primavera siguiente al incendio (Figura 19). El seguimiento de las pérdidas de suelo y de regeneración de la vegetación se prolongó durante dos años.



Figura 18. Cobertura de mulch de paja en uno de los puntos de muestreo, inmediatamente después de su aplicación en el incendio de O Irixo de 2009.

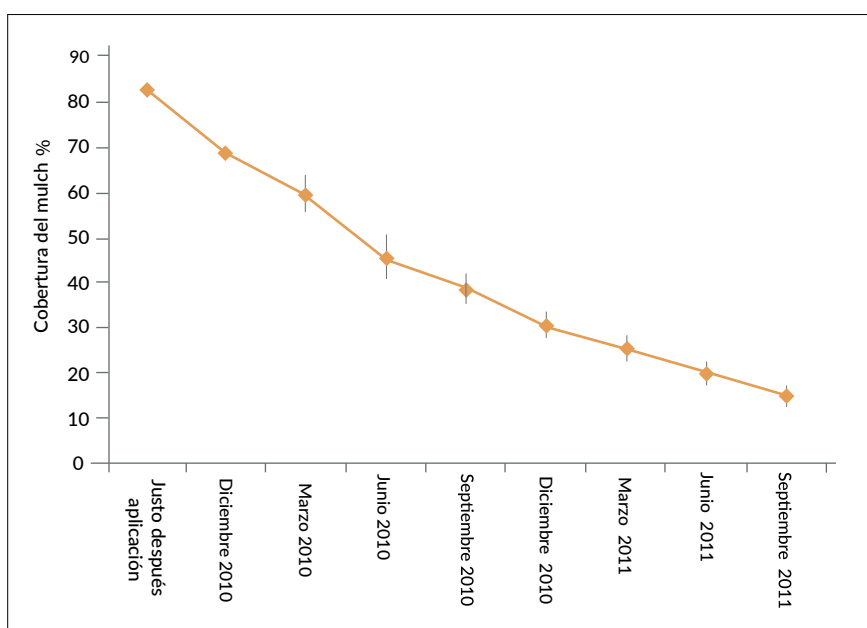


Figura 19. Variación de la cobertura del mulch de paja durante los dos años siguientes a su aplicación. Incendio de O Irixo de 2009. Barras verticales, error estándar.



Figura 20. Sedimentos recogidos tras un episodio de lluvia en las parcelas del dispositivo de estudio instalado en el incendio de O Irixo (2009).

Al final del primer año después del incendio la erosión en el suelo sin tratar fue de 22 t/ha mientras que en los suelos sembrados era 23 t/ha (Figura 21) y en los de mulching + siembra 1,5 t/ha. A los dos años esas cantidades ascendían a 28, 27 y 2 t/ha, respectivamente. La precipitación fue de 993 mm el primer año y de 1179 mm el segundo. La media de la intensidad máxima de la lluvia en 30 minutos durante el primer año después del incendio fue de 4,3 mm/h. Esa cifra fue similar (4,1 mm/h) el segundo año post-fuego.

El estudio mostró que la erosión producida en los diferentes episodios de precipitación aumentó la máxima intensidad de la lluvia en 10 minutos, pero no con la precipitación y la máxima intensidad en 30 minutos, sugiriendo que los picos puntuales de intensidad, aunque bastante inferiores a la capacidad de infiltración de estos suelos forestales, pueden generar la rotura de agregados y liberar partículas de suelo que luego son transportados por la escorrentía. En este estudio los eventos de alta intensidad ocurrieron en verano, cuando el suelo está más seco y la repelencia al agua del suelo es mayor. Ello pudo amplificar el efecto de la intensidad para romper agregados del suelo y también para generar escorrentía superficial, ambos procesos favorecedores de la erosión.

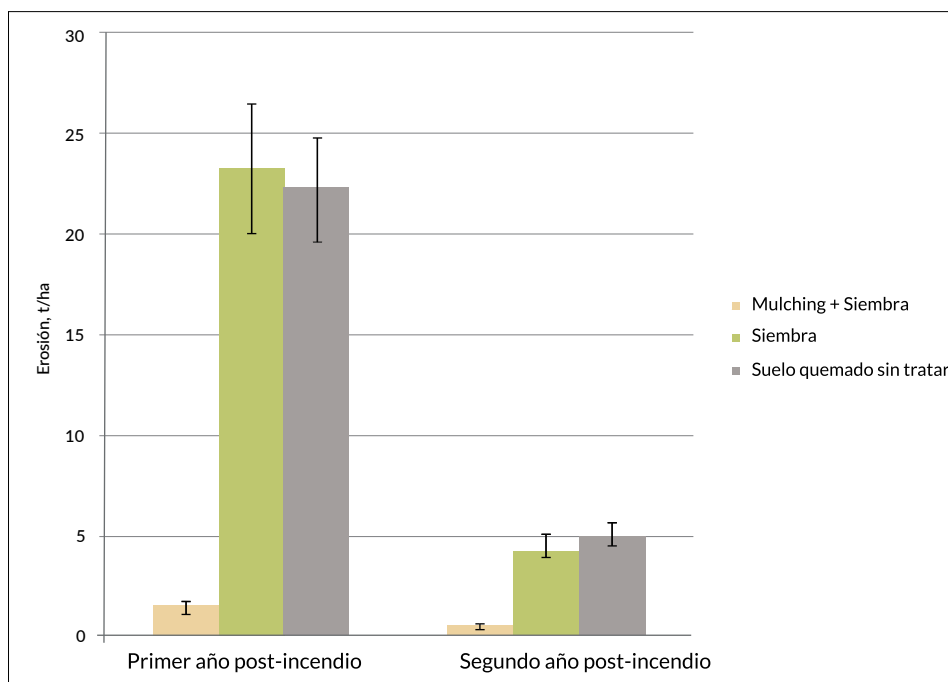


Figura 21. Pérdidas de suelo durante el período estudiado en el incendio de O Irixo (2009). Barras verticales, error estándar.

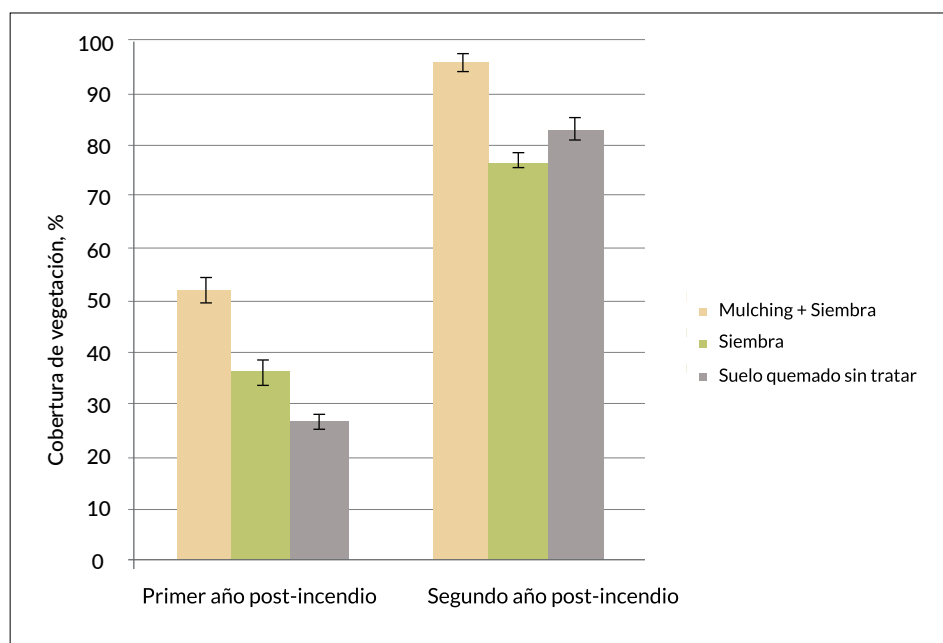


Figura 22. Recuperación de la cobertura vegetal (como grado de recubrimiento del suelo sin tener en cuenta la estratificación) durante el período de estudio. Incendio O Irixo (2009). Barras verticales, error estándar.

La cubierta vegetal aumentó significativamente más en el tratamiento de mulching + siembra que en el de siembra y en el control, que no difirieron entre sí. El efecto fue más pronunciado en el primer año (Figura 22). El mulch pudo amortiguar las temperaturas bajas en el invierno y comienzo de la primavera en la zona y eso puede explicar el más rápido aumento de la cobertura vegetal, observada a comienzos de la primavera en las parcelas con mulch (Figura 23). A los dos años del incendio la cobertura estaba entre el 77% en el tratamiento de siembra y el 96% en el de mulching, cifras análogas a las de otras áreas quemadas en Galicia con vegetación similar.



Figura 23. Al inicio de la primavera siguiente al incendio de O Irixe (2009) el tratamiento de mulching +siembra (centro imagen) ya produjo una mayor cobertura que en los de siembra (izquierda imagen) y control(derecha imagen).



Figura 24. Vista parcial del dispositivo experimental en el incendio de O Irixe de 2009 en Febrero de 2011. La disposición espacial de los rebrotes de carqueixa, extendiéndose principalmente de forma horizontal, ayudan a una rápida cobertura del suelo quemado.



Figura 25. Vista parcial del dispositivo experimental en el área incendiada de O Irixe en 2009 en Junio de 2014. Nótese la cobertura total del terreno.

En este monte se seleccionó un área experimental sobre tojal (*U. europeus*, *U. breoganii*, *D. cantabrica*, *P. aquilinum* y *P. longifolium*) y en ella se efectuaron fuegos experimentales en Octubre de 2009 (Figura 26). La pendiente media era del 40%, la altitud media s.n.m. 600 m y la orientación del terreno N.O. Los suelos son Cambisoles húmicos, desarrollados sobre sustrato granítico. La severidad del fuego en el suelo fue moderada-baja. Los suelos no quemados tenían un nivel de C en los 5 primeros centímetros del suelo mineral de 18,0%, mientras que en los quemados experimentalmente, un día después de la quema 16,5%, reflejando un impacto reducido del fuego.



Figura 26. Uno de los fuegos experimentales en el monte Cabalar. Se realizó como quema contra viento y pendiente para favorecer la consunción del combustible y el calentamiento del suelo.

Se aplicaron dos tipos de tratamientos: mulch de paja (2,3 t/ha) y siembra (45 g/m²) (Figura 23). La siembra tenía la misma composición en peso que la usada en el incendio de O Irixo.



Figura 27. Vista parcial del dispositivo experimental en el monte Cabalar (2009) inmediatamente después de aplicar los tratamientos.

La aplicación de mulch proporcionó una cobertura inmediata del 87% al suelo quemado (Figura 28) que se mantuvo durante los seis primeros meses por encima del 60%.

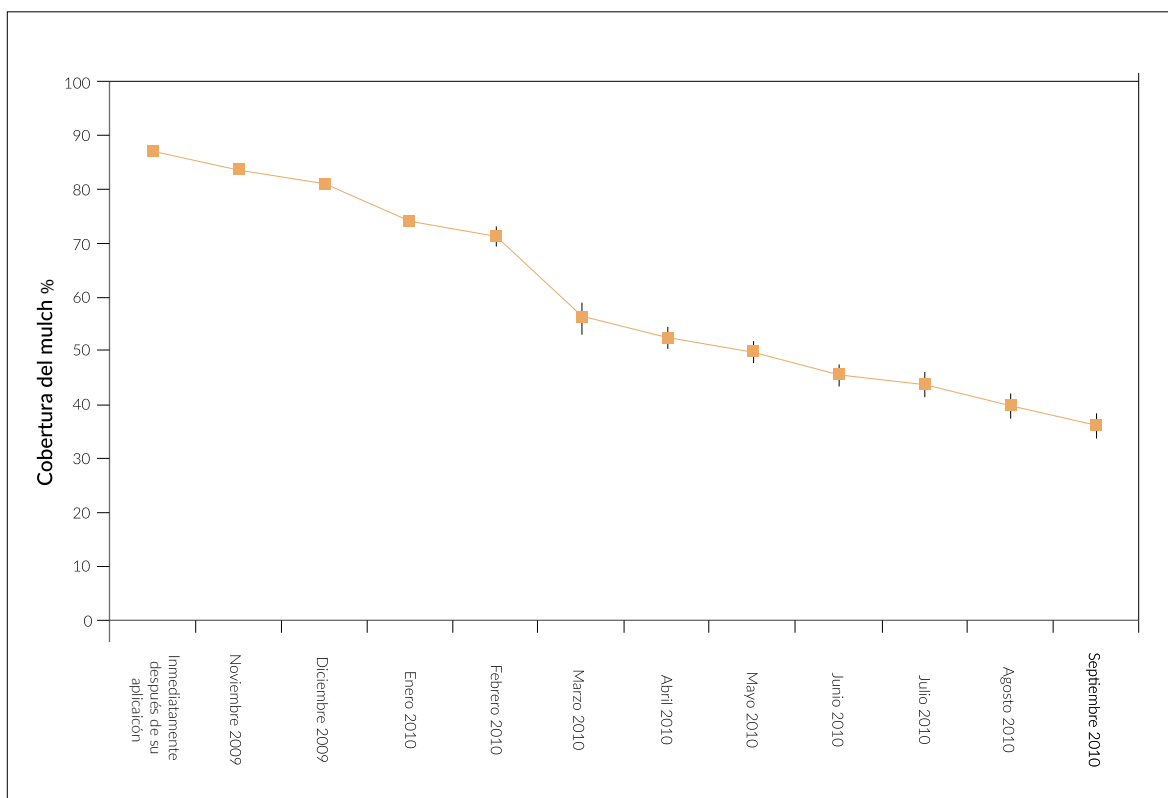


Figura 28. Variación de la cobertura del mulch de paja durante los dos años siguientes a su aplicación. Fuego experimental en el monte Cabalar (2009). Barras verticales, error estándar

En este caso el seguimiento de las pérdidas de suelo y de regeneración de la vegetación se llevó a cabo durante el primer año después del fuego experimental (2009-2010). La precipitación recogida durante ese período fue de 2345 mm. La media de la intensidad de la lluvia máxima en 30 minutos durante el primer año después del fuego fue de 5,8 mm/h.

La cantidad de suelo perdido durante el primer año siguiente al fuego (Figura 29) en el tratamiento de siembra (2,8 t/ha) aunque algo menor que la del suelo sin tratar (3,6 t/ha) no difirió significativamente de este último. Sólo la aplicación de mulch redujo de manera significativa las pérdidas de suelo por erosión (0,4 t/ha).

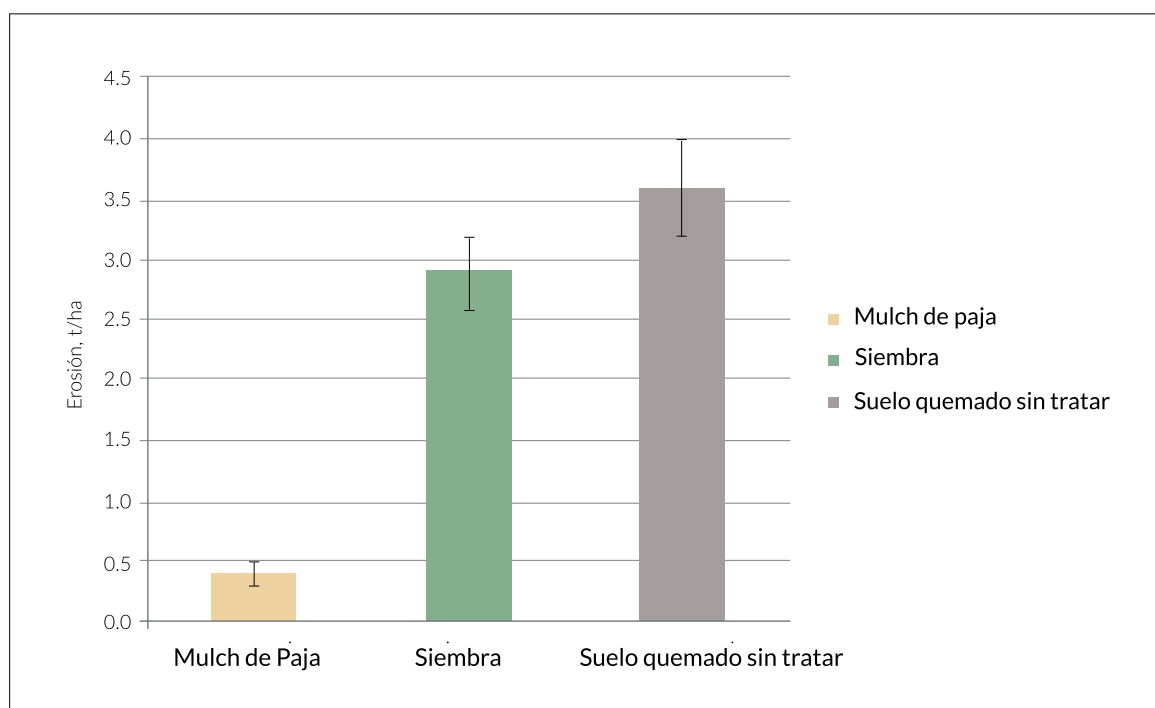


Figura 29 . Pérdidas de suelo durante el período estudiado. Fuego experimental del monte Cabalar(2009) . Barras verticales, error estándar.

Este estudio mostró también que la erosión en las parcelas que no recibieron mulch aumentó con la máxima cantidad de precipitación acumulada en dos días seguidos, en el intervalo entre dos fechas consecutivas de medición de la erosión. También se incrementó con la humedad del suelo (monitorizada en continuo) al comienzo de eventos de lluvia prolongados entre esas mediciones de suelo perdido. Las dos variables son indicadoras del grado de saturación del suelo y éste puede dar lugar a escorrentía cuando se produce posteriormente un nuevo evento de lluvia de suficiente magnitud. Esta última, a su vez, puede tener capacidad para arrancar partículas de suelo y transportarlas, generando así erosión. Sin embargo esa relación fue menos pronunciada o inexistente respectivamente para la escasa erosión producida en el suelo tratado con mulch. Esto sugiere un posible efecto del mulch de mejora de la infiltración, reducción del impacto directo de la energía de la lluvia o de la capacidad de transporte de suelo por la escorrentía superficial, o una combinación de ellos. Por otro lado, la relación entre el calentamiento del suelo durante el fuego y la erosión y de esta última variable con el porcentaje de suelo desnudo demostró la importancia de la severidad del impacto del fuego en el suelo para explicar la erosión, incluso cuando aquella es moderada-baja, como fue el caso de este estudio.

La aplicación de los tratamientos no modificó la velocidad de recuperación de la vegetación, que al cabo de un año presentaba una cobertura similar en todos los casos, sin diferir significativamente entre ellos (Figura 30). La velocidad de recuperación, relativamente alta, pudo verse favorecida por una baja severidad del fuego en la vegetación. La contribución a la cubierta de vegetación de las plantas emergidas a partir de la siembra fue muy baja. No se encontró que la cubierta de vegetación en los suelos quemados sin tratamiento de mulch tuviera efecto alguno sobre la erosión producida en diferentes episodios, a lo largo del primer año tras el fuego.

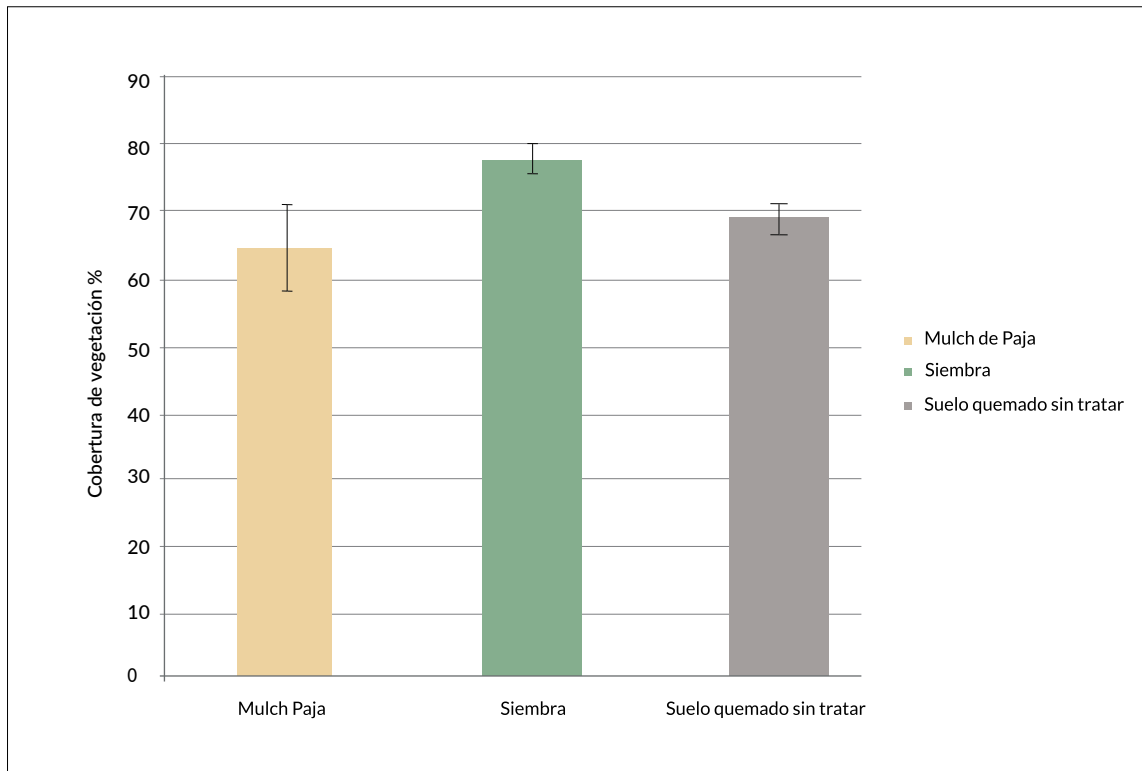


Figura 30. Cobertura vegetal (como grado de recubrimiento del suelo sin tener en cuenta la estratificación) al final del primer año tras el fuego experimental del monte Cabalar (2009). Barras verticales, error estándar.



Figura 31. La recuperación de la cobertura vegetal en el monte Cabalar fue rápida, posiblemente favorecida por la baja severidad del fuego y alta humedad edáfica que propició la pronta colonización por el helecho.

INCENDIO DE CAMBA (Ourense, 2010)

Ocurrió entre el 26 de agosto y el 2 de septiembre de 2010, afectando a 1715 ha, incluyendo una parte de los Montes do Invernadoiro, espacio protegido de la Red Natura en el macizo central orensano. Los ensayos de tratamientos de estabilización del suelo se realizaron en una zona de confluencia de las sierras del Fial das Corzas y de Queixa. La vegetación del sitio era un brezal seco, compuesto fundamentalmente por brezo rojo (*E. australis*) y carqueixa (*P. tridentatum*) con abundancia de carqueixa boeira (*H. lasianthum*). La pendiente media era del 60%, la altitud media s.n.m. 1550 m y la orientación del terreno O.SO. El sustrato es de esquistos, alternando con areniscas, y los suelos son Regosoles alumi-úmbricos y Leptosoles de textura franco-arenosa. La severidad del fuego en el suelo fue moderada-alta. El nivel medio de C en los 2 primeros cm del suelo mineral afectado por el incendio fue de 8,6%.

Los tratamientos aplicados fueron mulch de corteza desfibrada, a razón de 3,5 t/ha (Figura 32) y mulch de paja, con 2 t/ha (Figura 33). La aplicación de mulch proporcionó una cobertura inmediata del 70% en el caso de la paja agrícola y del 58% en el de la corteza desfibrada.



Figura 32. Cobertura del suelo quemado después de la aplicación de la corteza desfibrada en el incendio de Camba de 2010



Figura 33. Cobertura del suelo quemado después de la aplicación de paja agrícola en el incendio de Camba de 2010.

La precipitación fue de 1037 mm el primer año y de 984 mm el segundo. La media de la intensidad máxima de la lluvia en 30 minutos fue de 2,8 mm/h y 3,8 mm/h el primer y segundo año después del incendio, respectivamente.

Al final del primer año siguiente al incendio la erosión en los suelos sin tratar fue de 5,4 t/ha mientras que en los tratados ese valor fue de 0,7 t/ha en el mulching de corteza y 0,5 t/ha en el de paja (Figura 34). En el segundo año después de incendio las pérdidas de suelo fueron muy bajas en todos los casos.

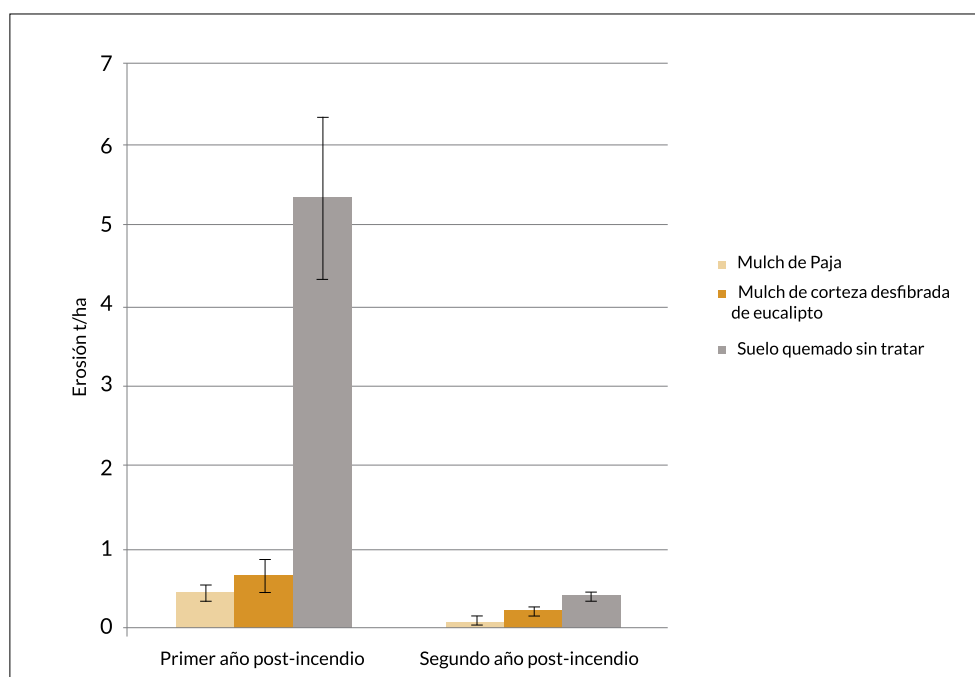


Figura 34. Pérdidas de suelo durante el período estudiado en el incendio de Camba(2010) . Barras verticales, error estándar.

Aunque la cobertura de los dos tipos de mulch fue suficiente en los momentos de mayor riesgo de pérdidas de suelo (el 80% de la erosión del primer año tras el incendio ocurrió en los dos primeros meses), la de paja ofreció mayor protección durante más tiempo (Figura 35), afectando significativamente a la cantidad de suelo perdido, algo mayor con la corteza. El descenso tan marcado en la cobertura de la corteza el primer año pudo estar propiciado por su bajo valor inicial, al ser bastante limitada la cantidad usada, y la fuerte pendiente del sitio.

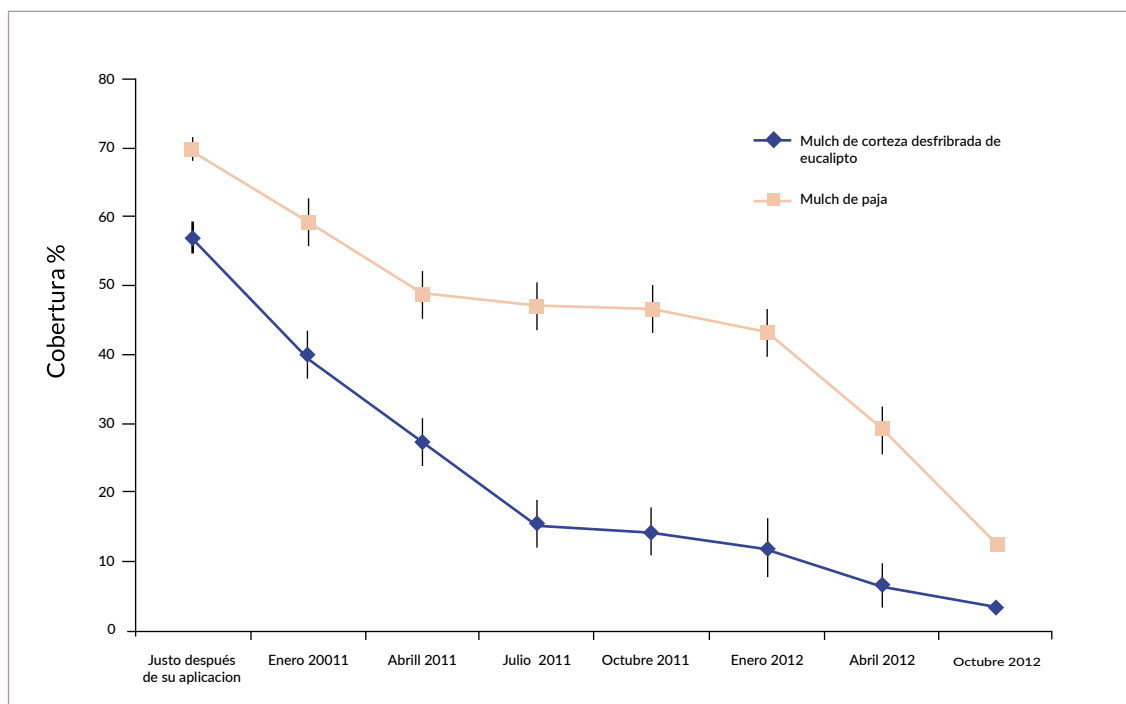


Figura 35. Variación de la cobertura del mulch de paja y de corteza desfibrada de eucalipto durante los dos años siguientes a su aplicación en el incendio de Camba (2010). Barras verticales, error estándar.



Figura 36. Cobertura vegetal en la primavera siguiente al incendio de Camba de 2010 (Junio 2011) en un lugar tratado con mulch de paja. Nótese la escasa cobertura de las especies leñosas.

La cobertura de vegetación el primer año después del fuego estuvo alrededor del 50% en todos los casos. Dos años después la cobertura vegetal variaba entre 69% en los suelos quemados sin tratar y 78% en los de mulch de paja (Figura 37). La adición de mulch favoreció ligera y significativamente el crecimiento vegetal, tanto en cobertura como en altura. Esto fue más marcado en las especies leñosas. Es posible que indujera una mejora en las probablemente duras condiciones microclimáticas del sitio ayudando a mejorar la respuesta de la vegetación. No se detectaron cambios en la composición de especies (Figura 38).

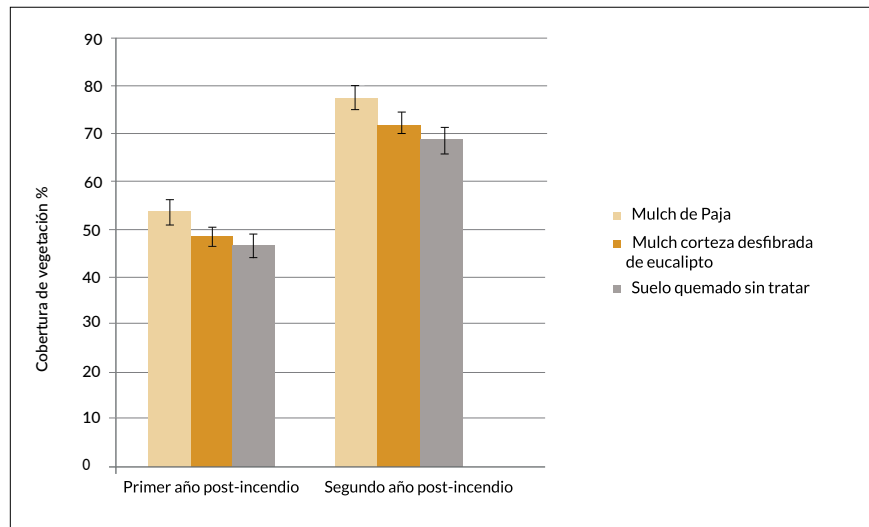


Figura 37. Recuperación de la cobertura vegetal (como grado de recubrimiento del suelo sin tener en cuenta la estratificación) durante el período de estudio. Incendio de Camba (2010). Barras verticales, error estándar.

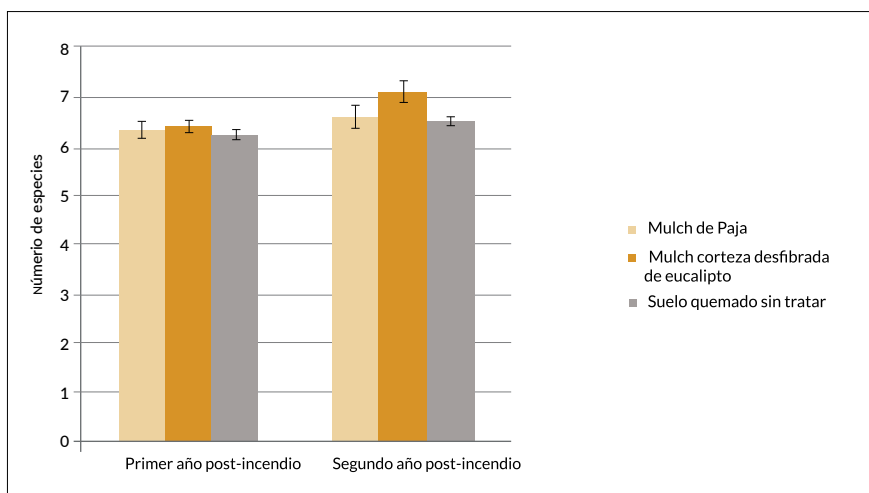


Figura 38. Variación en el número de especies durante el período de estudio. Incendio de Camba (2010). Barras verticales, error estándar.

INCENDIO DE CURES (A Coruña, 2010)

Se inició el 14 de agosto de 2010 afectando a 550 ha. El dispositivo se instaló en un área donde se realizaron medidas paliativas de erosión por parte de la Administración forestal (ladera de Alto do Tronco sobre el reguero Salgueiriños). La vegetación del sitio estaba formada por un latizal joven de *Pinus pinaster*, de muy baja densidad, procedente de la regeneración natural de un incendio anterior, con sotobosque de espeso matorral de tojo (*U. europaeus*) de 1,5-2,5 m de altura. La pendiente media era del 35%, la altitud media s.n.m. 300 m y la orientación del terreno S.E. El sustrato es granítico y los suelos son Regosoles alumi-úmbricos, de textura franco-arenosa, con abundante afloramientos rocosos. La severidad del fuego en el suelo era muy alta. El nivel medio de C en los 2 primeros cm del suelo mineral quemado fue de 7,1%. El diámetro medio ponderado de los agregados del suelo fue de 0,53 mm, indicando un fuerte impacto del fuego en el suelo.



Figura 39. Vista parcial de las parcelas de mulching en el incendio de Cures (2010) a los dos meses de realizado. Nótese la baja cantidad de paja retenida tras las lluvias.

Figura 39. Vista parcial de las parcelas de mulching en el incendio de Cures (2010) a los dos meses de realizado. Nótese la baja cantidad de paja retenida tras las lluvias.

Los tratamientos comparados fueron mulch de paja, a una dosis baja, de 1,5 t/ha (Figura 39), y barreras construidas con trozas y ramas de los árboles quemados, con paja añadida entre ellas para filtrar el agua ayudar a recoger sedimentos (Figura 40) y dispuestas siguiendo curvas de nivel. Se deseaba determinar el cambio en la eficiencia del mulch originado al aplicar una cantidad algo inferior a las ya testadas, lo que podría redundar en menores costes de material y logísticos. La aplicación de mulch proporcionó una cobertura inmediata del 58% (Figura 41) que cayó drásticamente al 30% en solo tres meses y al 18% al año del fuego. Este pronunciado descenso fue probablemente debido a la baja cuantía inicial de la cubierta y la elevada precipitación en ese período (2301 mm).



Figura 40. Vista de una barrera colmatada y rebosada por los sedimentos en el incendio de Cures (2010). Nótese en primer término la paja añadida en los huecos para favorecer la retención de sedimentos. Al fondo puede verse que parte de ese material de las barreras más altas fue removido por el agua y depositado más abajo.

En el segundo año la lluvia fue también alta (2028 mm), contabilizándose en el tercero 1571 mm. La media de la intensidad máxima de precipitación en 30 minutos fue 6 mm/h, 7 mm/h y 4,4 mm/h el primer, segundo y tercer año post-incendio, respectivamente. El seguimiento de las pérdidas de suelo y de regeneración de la vegetación se prolongó durante los tres años siguientes al incendio (2010-2013).

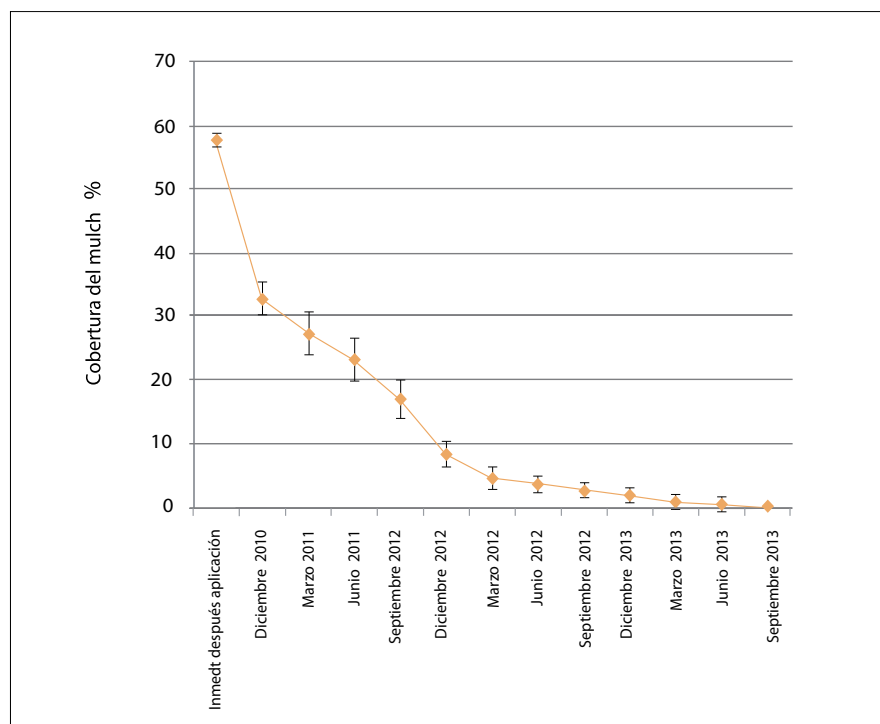


Figura 41. Variación de la cobertura del mulch de paja durante el período de estudio. Incendio de Cures (2010) Barras verticales, error estándar.

La erosión en el primer año en los suelos sin tratar fue 55,4 t/ha y 37,8 t/ha en los provistos de barreras (Figura 42). En el tratamiento de mulch, aunque fue significativamente menor que en los otros dos casos, resultó también alta (25,8 t/ha). Esto se atribuyó a una combinación de escaso recubrimiento inicial del suelo y su rápida disminución, abundante lluvia en ese año y muy alta severidad del fuego en el suelo. La eficiencia media del mulching durante ese primer año fue del 53%. La de las barreras para ese mismo periodo fue 32% y disminuyó rápidamente desde el segundo invierno, cuando fueron rebasadas, una vez colmatadas de sedimentos. La ocurrencia de pérdidas de suelo tan grandes en el segundo año post-incendio no es habitual en Galicia y menos aún la generación de erosión apreciable en el tercero. En el conjunto de los tres años siguientes al incendio la erosión fue de 77,9 t/ha en los suelos sin tratar, 57,6 t/ha en los de barreras y 48,2 en los de mulching a baja dosis, difiriendo significativamente entre ellos.

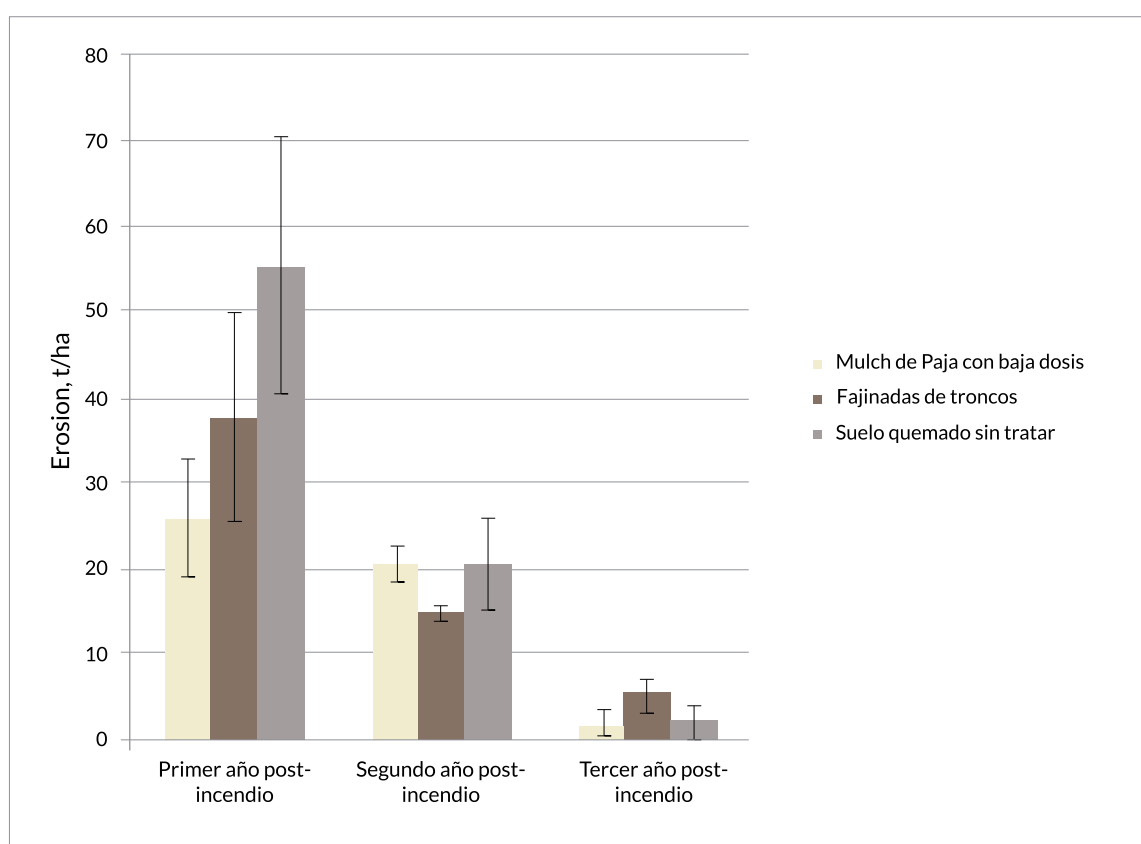


Figura 42. Pérdidas de suelo durante el período estudiado. Incendio de Cures (2010). Barras verticales, error estándar.

La aplicación de los tratamientos no pareció afectar a la recuperación de la cobertura vegetal a corto y medio plazo (Figura 43). Si bien en el primer año hubo una tendencia a ser mayor en el tratamiento de mulch que en el suelo no tratado, no fue significativa estadísticamente, debido a la elevada variabilidad en la respuesta. Al segundo, las diferencias entre tratamientos y control tampoco lo fueron. Tres años después del incendio la cobertura variaba entre el 77% en el tratamiento de fajas y el 99% en el suelo quemado sin tratar sin que asimismo difirieran significativamente entre sí.

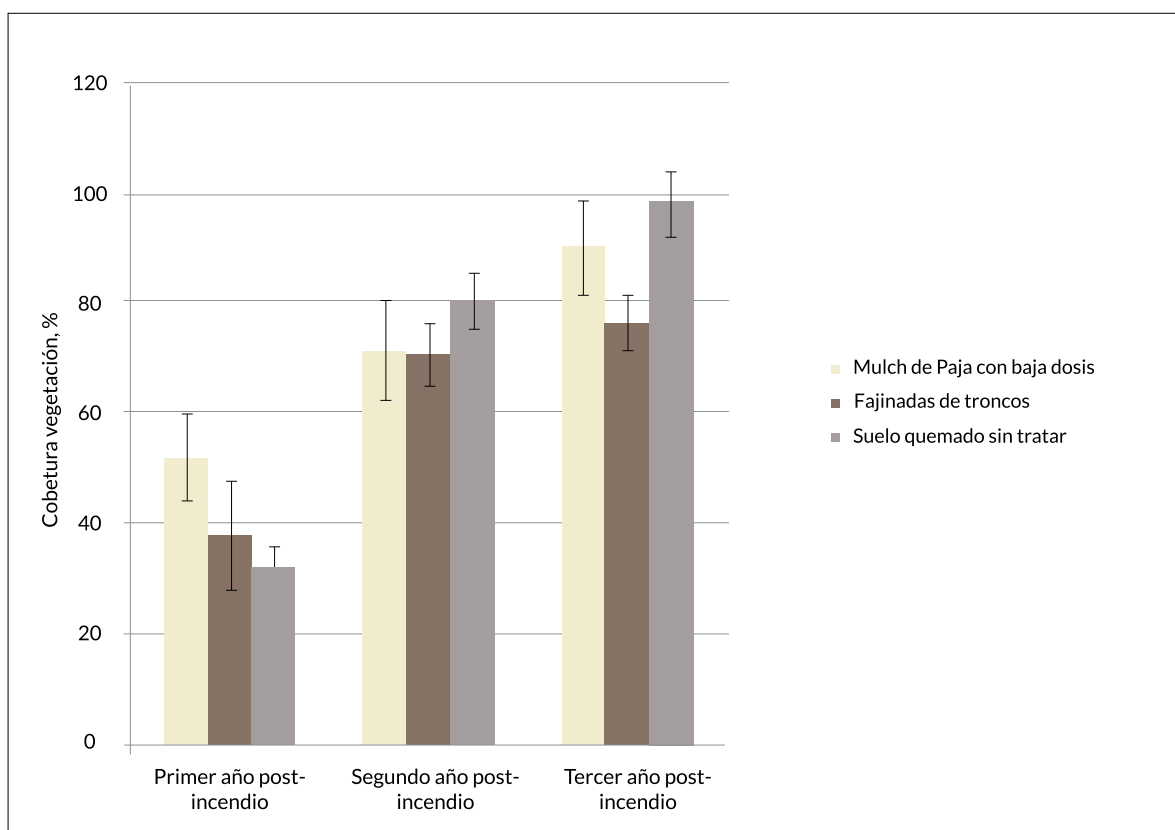


Figura 43. Recuperación de la cobertura vegetal (como grado de recubrimiento del suelo sin tener en cuenta la estratificación) durante el período de estudio. Incendio de Cures (2010) Barras verticales, error estándar.

No se detectó que la cobertura de la vegetación afectara a la cantidad de erosión en el período de estudio, mientras que la máxima precipitación acumulada y la erosividad de la lluvia explicaron una parte significativa de las cantidades de suelo originadas en los sucesivos eventos durante los tres primeros años tras el fuego y mejor que lo hizo la precipitación total.

EXPERIMENTOS COMPLEMENTARIOS SOBRE LA RESPUESTA DE LA VEGETACIÓN AL FUEGO Y LOS TRATAMIENTOS DE ESTABILIZACIÓN SUBSIGUIENTES.

En este período (2006-2012) se llevaron también a cabo algunos estudios que permitieron extraer información adicional sobre el efecto de los tratamientos de reducción de la erosión post-fuego en la regeneración natural de la vegetación.

SOUTELO DE MONTES, FUEGO EXPERIMENTAL (Pontevedra, 2008)

Después de la ejecución de un fuego experimental, de unas 2 ha, el 4 de octubre de 2008, en un área de matorral en el lugar de Serrón, formando parte del monte Costoia, se instalaron 30 parcelas de 4 m² en las que se distribuyeron aleatoriamente los siguientes tratamientos: siembra a una alta dosis (25 g/m²), mulching (0,25 kg/m²) + siembra (25 g/m²) y suelo sin quemar. Las semillas para la siembra eran una mezcla en peso de 35% de *Lolium multiflorum*, 10% de *Festuca arundinacea*, 20% de *Dactylis glomerata*, 5% de *Festuca rubra*, 5 % de *Agrostis tenuis* y 25 % de *Trifolium repens*. La vegetación inicial era la de un tojal arnal (*U. europaeus*) acompañado de brezos pequeños (*E. cinerea* y *D. cantábrica*). El suelo era un Regosol alumi-úmbrico, desarrollado sobre esquistos. La pendiente media de las parcelas era del 15% y la exposición O-SO. La altitud media s.n.m. 860 m.



Figura 44. Aspecto de una parcela de mulching + siembra 9 meses después del fuego experimental en Soutelo de Montes (2009)



Figura 45. Aspecto de una parcela de siembra 9 meses después del fuego experimental en Soutelo de Montes (2009)



Figura 46. Aspecto de una parcela de control (suelo quemado sin tratar) 9 meses después del fuego experimental en Soutelo de Montes (2009)

Los muestreos realizados en el verano siguiente a la quema mostraron que la cobertura vegetal atribuible a la siembra fue muy baja y la debida a la vegetación original en los suelos quemados sin tratar no difería significativamente de la de los tratamientos (Figura 47).

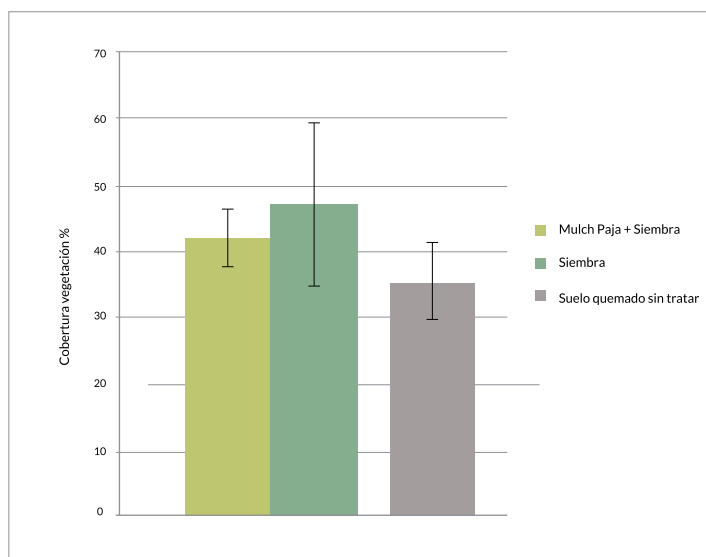


Figura 47. Cobertura vegetal a los nueve meses del fuego experimental en Soutelo de Montes de 2009 y de la aplicación de los tratamientos. Barras verticales, error estándar.

ESCAIRÓN (Lugo,2012)

Este estudio se realizó en un área quemada por el incendio del monte de Estrumil (Escairón, Lugo), en septiembre de 2012, donde se instalaron 80 parcelas de 4 m², en una ladera sobre el río Sardiñeira, para el seguimiento del efecto de la aplicación de mulch (2 t/ha) en la regeneración natural de la vegetación. La pendiente media del terreno era del 35%, orientada al S-S.O. y a un altitud media s.n.m. de 520 m. El suelo era un Leptosol háplico, desarrollado sobre esquistos. La vegetación dominante estaba formada por xesta (*Cytisus striatus*), mezclada con uz blanca (*E. arborea*), carqueixa (*P. tridentatum*) y algunos árboles de pequeño tamaño de rebolo (*Quercus pyrenaica*). La severidad del fuego en el suelo fue moderada/baja.

Los resultados obtenidos al final del primer año post-incendio indicaron que la aplicación de mulch favoreció apreciablemente el establecimiento de la cubierta vegetal (Figura 49), aumentando ésta en 19%. Por otro lado, no se detectó que el mulch de paja afectase a la composición de especies de forma significativa (Figura 50).



Figura 48. Aspecto del área experimental de Escairón al final del invierno siguiente al incendio de 2012

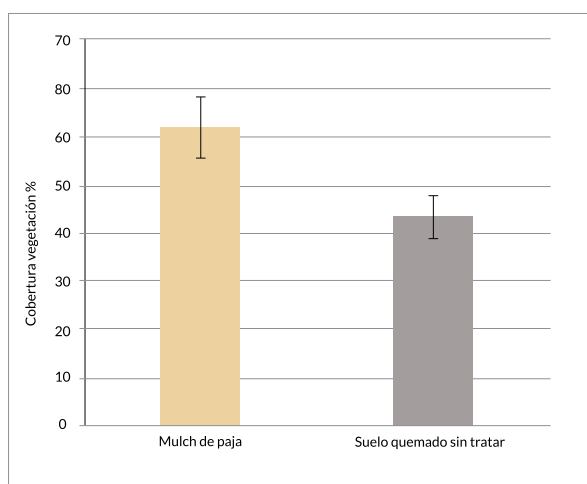


Figura 49. Cobertura vegetal (como grado de recubrimiento del suelo sin tener en cuenta la estratificación) un año después de la aplicación del mulch de paja en el incendio de Escairón (2012) . Barras verticales, error estándar.

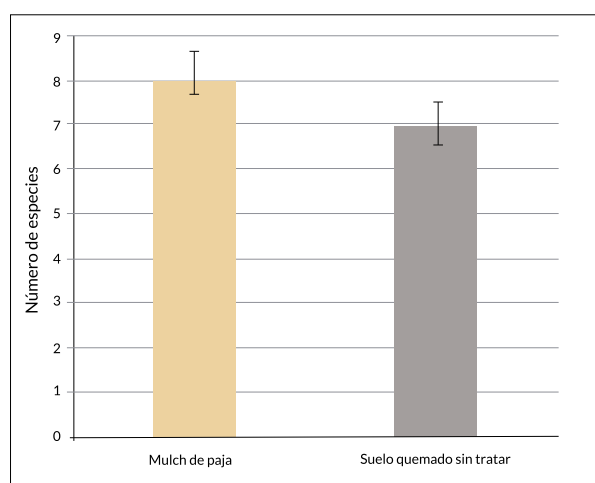


Figura 50. Número medio de especies un año después de la aplicación del mulch de paja en el incendio de Escairón (2012). Barras verticales, error estándar.

CONCLUSIONES

En conjunto, los estudios desarrollados en el periodo 2006-2012 se basaron en el seguimiento de los efectos de diversos tratamientos en la respuesta erosiva y de vegetación en 70 macroparcels instaladas en distintos incendios y fuegos experimentales, por al menos dos años. Asimismo, para completar la evaluación del impacto del fuego y de los tratamientos de estabilización del suelo en la evolución de la vegetación a esas macroparcels se tuvieron también en cuenta los resultados de otras 110 microparcels.

Los resultados obtenidos mostraron que sólo los tratamientos que cubrieron el suelo en más de un 70% resultaron eficaces para reducir la erosión post-incendio.

La paja agrícola proporcionó una alta cobertura y eficiencia en la reducción de la erosión con una cantidad relativamente baja de material (2-2,5 t/ha), debido a su bajo peso específico y su adherencia al suelo. La primera de esas propiedades es importante de cara a facilitar su transporte y dispersión en monte y su aplicación desde el aire. El tamaño y forma de las partículas de paja permite también adaptarse relativamente a las irregularidades del terreno y adherirse al suelo cuando éste tiene un cierto nivel de humedad o la humedad relativa es alta durante la aplicación del mulch. Esa adherencia facilita una mayor resistencia frente al viento y a la fuerza de arrastre del flujo superficial. Es muy importante que la paja esté seca para el éxito del tratamiento. De esta forma se evita transportar un peso inútil de agua y se asegura una adecuada dispersión por el aire, cubriendo más terreno y produciendo un buen contacto con el suelo.

Por su parte, el tipo de astilla de madera usada, aplicada a una dosis de 4 t/ha, no resultó eficaz. Su cobertura del suelo fue baja y posiblemente el tamaño y forma de la astilla empleada, de poco peso, y muy plana, no favoreció el contacto con el suelo y su permanencia. La corteza desfibrada de eucalipto se comportó con eficacia, pero con los inconvenientes relativos a su mayor densidad, bastante menor cobertura a igualdad de peso de paja y mayor dificultad de aplicación. Su alta densidad y el entrecruzado de la fibra, no permiten una dispersión adecuada desde el aire.

La cubierta de mulch favoreció la velocidad de recuperación de la vegetación en lugares más fríos del interior, promoviendo una emergencia más temprana de la vegetación mientras no pareció afectarla en los sitios de mayor influencia costera, de clima más templado. La aplicación de paja no produjo cambios en la composición de especies en las comunidades vegetales analizadas, un factor importante desde el punto de vista de biodiversidad.

Tratamientos como la siembra o las fajinas (tanto de troncos y restos vegetales quemados como de vegetación no quemada, cortada) no fueron efectivos para la reducción de las pérdidas de erosión post-incendio, con eficacias promedio del 9,5 % 16 %, respectivamente, y en el caso de las fajinas resultaron lentos de ejecución.

Es interesante destacar que la conjunción de una muy alta severidad con precipitaciones muy elevadas puede dar lugar a que la erosión post-incendio se prolongue en el tiempo y se tengan pérdidas de suelo apreciables hasta tres años después del incendio.

La erosión generada en el primer año después del incendio supuso de media el 89,1% de la acumulada en los dos primeros años. Cuando se realizó el tratamiento de mulch ese porcentaje fue del 83,1%.

MAS INFORMACIÓN...

Fernández, C.; Vega, J.A.; Jiménez, E.; Fonturbel, T. 2009. Rehabilitación de suelos quemados para el control de la erosión en un área incendiada de Galicia (NW España). 5º Congreso Forestal Español. Avila.

Fernández, C.; Vega, J.A.; Jiménez, E.; Fonturbel, T. 2010. Eficacia de tres tratamientos de rehabilitación para el control de la erosión tras incendio en Galicia. En: Investigación y gestión para la protección del suelo y restauración de los ecosistemas forestales afectados por incendios forestales. Díaz Raviña, M.; Benito, E.; Carballas, T.; Fonturbel, M.T.; Vega, J.A. (eds.): 143-146 FUEGORED 2010. Santiago de Compostela. ISBN: 978-84-8408-583.

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). International Journal of Wildland Fire 20: 104-114

Fernández, C.; Vega J.A.; Jiménez, E. ; Vieira, D.; Merino, A.; Ferreiro A.; Fonturbel, M.T. 2012. Seeding and mulching + seeding effects on post-fire runoff, soil erosion and species diversity in Galicia (NW Spain). Land Degradation and Development. 23: 150-156.

Fernández, C.; Vega, J.A. 2013. Impacto de dos tipos de mulch para el control de la erosión en la recuperación de la cubierta vegetal en un área incendiada del NW de España. VI Congreso Forestal Español. Vitoria.

Fernández, C.; Vega J.A. 2014. Efficacy of bark strands and straw mulching after wildfire in NW Spain: Effects on erosion control and vegetation recovery. Ecological Engineering. 63: 50-57

Fernández, C.; Vega, J.A. 2016 a. Are erosion barriers and straw mulching effective for controlling soil erosion after a high severity wildfire in NW Spain? *Ecological Engineering* 87:132-138.

Fernández, C.; Vega, J.A. 2016b. Efectos de la aplicación de mulch para el control de la erosión post-incendio sobre la recuperación de la vegetación en áreas de matorral. *Cuadernos de la S.E.C.F.* nº42:103-110.

Fernández, C.; Vega, J.A.; Fontúrbel, T.; Barreiro, A.; Lombao, A.; Gómez-Rey, M.X.; Díaz-Raviña, M.; González-Prieto, S. 2016. Effects of straw mulching on initial post-fire vegetation recovery. *Ecological Engineering*. 95: 138-142.

Vega, J.A.; Fernández, C.; Fonturbel, T.; Jiménez, E.; Díaz-Raviña, M.; Martín, A.; Carballas, T. 2010. Comparación de tratamientos de mulching y siembra de herbáceas para control de erosión tras un fuego experimental en matorral en Galicia. En *Investigación y gestión para la protección del suelo y restauración de los ecosistemas forestales afectados por incendios forestales*. Díaz Raviña, M.; Benito, E.; Carballas, T.; Fontúrbel, M.T.; Vega, J.A. (eds.): 297-299. FUEGORED 2010. Santiago de Compostela. ISBN: 978-84-8408-583.

Vega, J.A. ; Fernández, C.; Fontúrbel, T. 2013. Comparación de la eficacia de la siembra y del mulching + siembra para reducir la erosión en un área quemada de Galicia. VI Congreso Forestal Español. Vitoria.

Vega J.A.; Fernández, C.; Fonturbel, 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.; Fonturbel, T. 2015a. Comparing the effectiveness of seeding and mulching + seeding in reducing soil erosion after a high severity fire in Galicia (NW Spain). *Ecological Engineering*. 74: 206- 214

Vega, J.A.; Fernández, C.; Fontúrbel, M.T. 2015b. Comparación de la eficacia del mulching y la siembra para reducir la erosión post-incendio en Galicia. *Montes*.122: 15-20.



ASPECTOS ORGANIZATIVOS Y OTROS CONDICIONANTES EN LA EJECUCIÓN DE TRATAMIENTOS DE ESTABILIZACIÓN DE SUELO POST - INCENDIO

ASPECTOS ORGANIZATIVOS Y OTROS CONDICIONANTES EN LA EJECUCIÓN DE TRATAMIENTOS DE ESTABILIZACIÓN DE SUELOS

INTRODUCCIÓN

La implementación de los tratamientos y actuaciones de mitigación de impactos del fuego es la tarea más importante en todo el proceso de respuesta urgente a los riesgos erosivo-hidrológicos subsiguientes al incendio. La Empresa Pública de Servicios Agrarios Galegos, S.A. (SEAGA) ha sido un actor fundamental en esas tareas llevadas a cabo desde la puesta en funcionamiento del programa. Esta entidad ha acumulado ya una considerable experiencia en este tipo de trabajos, pues ha intervenido en 42 incendios desde el año 2010. SEAGA, como medio propio instrumental y servicio técnico del Sector Público Autonómico ha ejecutado estos trabajos mediante encomiendas de gestión y encargos de la Administración Autonómica. La tramitación administrativa ha sido muy ágil en todos los casos, dado el carácter urgente de las medidas que incluyen y la falta de certidumbre sobre el número final de unidades de obra a ejecutar. En cualquier caso, el primer capítulo de dichos encargos se refiere al diseño de las actuaciones. El proceso resumido es el siguiente:

Comisión de coordinación : Se efectúa la selección de los incendios forestales que serán objeto de evaluación.

Pre-planificación: Recopilación de información sobre el territorio afectado por el incendio, con una primera estimación de las áreas potencialmente más vulnerables.

Evaluación y cartografiado de la severidad del fuego: Se realiza un análisis de la severidad del incendio tanto en la vegetación como en el suelo. El personal del Centro de Investigación Forestal de Lourizán (CIF), centro de referencia en esta materia, prepara la cartografía de aquellas zonas que son consideradas prioritarias dentro de cada incendio.

Replanteo (mapificación): En este momento, el personal de SEAGA y del CIF visita las zonas previamente evaluadas y recoge toda la información posible del terreno, contrastándola con la de la cartografía existente.

Validación: Una vez analizada la información de las zonas afectadas, estimado el riesgo hidrológico-erosivo y los posibles bienes afectados se valida por parte del CIF.

Propuesta de actuaciones: En función de la información anterior y de los criterios de prioridad establecidos, se elabora la relación concreta de trabajos a efectuar en cada zona.

Ejecución de los trabajos: Se inician de modo inmediato tras la propuesta. Todo el procedimiento se lleva a cabo con la máxima premura. A modo de ejemplo, en el año 2017 se produjo una situación crítica debida a la ola de incendios forestales del 16 de octubre. En los días inmediatos a los fuegos, personal del CIF de Lourizán

efectuó las primeras evaluaciones de campo y el 23 de octubre se constituyó la Comisión de Coordinación. La Orden de Ejecución de la Encomienda de gestión se recibió el 3 de noviembre y ese mismo día estaban comenzando los trabajos de campo en las áreas quemadas.

Monitorización: Paralelamente a la ejecución se inicia el proceso de monitorización que permite detectar desviaciones sobre la marcha, corrigiéndolas sobre la marcha y mejorando así los resultados de futuros trabajos. Dicho proceso corre a cargo del CIF y continúa una vez finalizados los trabajos.

La tabla 1 resume las diferentes unidades de obra y extensión de los trabajos efectuados en los últimos años.

Tabla 1. Resumen de los trabajos de mitigación del riesgo hidrológico-erosivo realizados por SEAGA

Año	Nº de incendios	TRABAJO REALIZADO				
		Helimulching (ha)	Mulching manual (ha)	Barreras y fajinadas (ml)	Eliminación madera (ha)	Reparación infraestructuras (ml)
2010	8	180,00	82,00			6.100,00
2013	10	111,80	61,05	3.385,00		62.023,00
2015	2	65,00	3,00	2.090,00		
2016	6	145,29	19,42	3.157,05	436,50	83.000,00
2017	16	160,00	134,35	7.882,00	347,63	69.878,00
Totales	42	662,09	299,82	16.514,05	784,13	221.001,00

A continuación se describen de forma somera las principales actuaciones llevadas a cabo y se comentan brevemente algunos de sus aspectos organizativos y logísticos.

Tratamientos de mulching: (Figura 51) Efectuados para generar rápidamente la cobertura del suelo para su protección con materiales de origen vegetal y por tanto biodegradables. La paja de cereal ha sido el componente más usado, aunque se han empleado también otros materiales tales como astillas o cortezas de especies arbóreas. Aparece diferenciado en helimulching (si se realiza desde el aire con el apoyo de un helicóptero) y mulching manual, si se lleva a cabo por brigadas desde tierra, dada la gran diferencia de rendimiento entre ambas labores.



Figura 51. Área tratada con mulching manual en el incendio de Muñís (Navia de Suarna-Lugo) de 2015

Barreras y fajinadas: (Figura 52) En este grupo aparecen descritas una variedad de estructuras (fajinas, albarradas, barreras filtrantes, biorollos con manta orgánica) situadas siguiendo curvas de nivel en las laderas afectadas o bien (en el caso de albarradas y barreras de troncos) y transversalmente al curso de los cauces temporales para regular las escorrentías y disminuir los arrastres, al retener parcialmente los sedimentos transportados. Los materiales para su ejecución pueden proceder de las zonas afectadas (troncos, ramas, elementos pétreos...) o ser adquiridos (estacas, geotextil, mallas...)



Figura 52. Barreras de troncos colmatadas de sedimentos en un cauce temporal

Tratamiento del arbolado quemado: (Figura 53) En este apartado se incluyen los trabajos de retirada del arbolado de tamaño comercial, dañado por el fuego y los de tratamiento (generalmente de trituración) del arbolado no comercial y sus restos. Tienen la finalidad de disminuir los daños y perjuicios causados por el incendio a los propietarios del monte afectado, al obtener aquellos un beneficio por la comercialización de la madera quemada, que repare parcialmente el costo de las inversiones efectuadas en aquel, y reducir el riesgo de aparición de plagas y enfermedades asociado al debilitamiento del arbolado dañado por el fuego. También ayudar a proporcionar una adecuada cobertura (otra forma de mulching) del suelo, reducir el peligro de la combustión del arbolado caído tras el incendio si el área quemada es afectada por un nuevo incendio y propiciar la descomposición de los residuos, favoreciendo la incorporación de nutrientes al suelo. Igualmente facilitar la preparación del terreno para una futura plantación si ese es el objetivo.

Reparación de infraestructuras: (Figura 54) Incluye un conjunto de actuaciones orientadas a la recuperación funcional de infraestructuras lineales (pistas forestales y caminos), muy vulnerables a los efectos del aumento de la escorrentía y arrastres de sedimentos producidos por las precipitaciones subsiguientes al incendio (Figura 54). Afectan sobre todo al mantenimiento y reparación de cunetas, tajeas y otras obras de paso. Con ello se consigue una correcta evacuación de las aguas, a través de la red de drenaje correspondiente y el mantenimiento de la accesibilidad y movilidad en el monte en condiciones de seguridad.



Figura 53. Trituración del arbolado quemado, sin aprovechamiento comercial por su escaso tamaño, efectuada con retro-araña en el incendio de Arbo (Pontevedra) de 2016. Al fondo zonas tratadas con helimulching.



Figura 54. Infraestructuras forestales reparadas.

METODOLOGÍA

Los aspectos organizativos y logísticos de las actuaciones descritas son de particular importancia, dado el escaso tiempo disponible para su ejecución y la imposibilidad de establecer previsiones de número y tipos de unidades de obra con suficiente antelación.

Recursos

Personal

- Personal técnico forestal: Efectúa el replanteo de las zonas de trabajo y el posterior control y seguimiento de las propuestas y los trabajos ejecutados.

- Personal arqueológico: Supervisión de las afecciones a elementos patrimoniales culturales potencialmente afectados. Aunque pueda parecer anecdótico, dichos elementos están presentes en un gran número de las zonas afectadas por incendios forestales. E incluso estos últimos, al destruir temporalmente la vegetación, permiten su descubrimiento.

- Capataces forestales: ejercen funciones de apoyo al personal técnico en campo tanto para tareas de replanteo y medición, como para el control de la ejecución de los trabajos efectuados por las brigadas y maquinaria correspondientes.

- Brigadas forestales: responsables de la ejecución directa de los trabajos.



Figura 55. Equipo de inventario evaluando un área quemada

Maquinaria:

- Helicóptero dotado de dispositivos para poder llevar a cabo el helimulching.
- Camión grúa: transporte de todo tipo de materiales hasta las zonas de trabajo.
- Vehículos todo-terreno: desplazamientos del personal y transporte de herramientas y pequeño material.
- Tractor autocargador: retirada de madera comercial y transporte de paja a zonas no accesibles al camión grúa.
- Bulldozer: reparación de infraestructuras.
- Retroexcavadora: reparación de infraestructuras.
- Motoniveladora: reparación de infraestructuras.
- Rodillo compactador: reparación de infraestructuras.
- Tractor con desbrozadora: trituración de madera no comercial y restos de corta.
- Retro -araña: trituración de madera no comercial.
- Retroexcavadora con cabezal procesador: trituración de madera no comercial.
- Procesadora forestal: retirada de madera comercial.
- Astilladora: trituración de madera no comercial y restos de corta.
- Maquinaria de mano (motodesbrozadoras, motosierras): apeo de madera, trituración de restos, construcción de fajinadas y otras estructuras .
- Herramientas manuales.

Equipamiento técnicos:

- Equipos informáticos.
- Software: GIS, Tratamiento de imágenes, Ofimática.
- Aparatos de medición: GPS
- Sistemas de comunicación.

Suministros habituales:

- Balas de paja y otros materiales orgánicos para mulch.
- Geotextil.
- Malla filtrante.
- Manta orgánica.
- Estacas.
- Áridos.
- Elementos prefabricados para obras de paso de agua bajo pista forestal.
- Equipos de protección individual.
- Pequeño material.

Configuración de los equipos de trabajo.

Habitualmente los equipos se configuran de la siguiente manera:

Inventario y análisis de la situación :

- Compuesto por un técnico y 1-2 capataces que se desplazan en vehículo todo-terreno dotados con aparatos de medición y geolocalización (GPS).

- Helimulching: (Figura 56)

- Helicóptero equipado con dispositivos de carga, transporte y lanzamiento de mulch.

- Técnico: en contacto con el piloto, dirige las descargas.

- Equipo de servicio al helicóptero (4-5 operarios)

- Camión grúa o tractor autocargador para transporte de paja a la zona de acopio.

- Equipo de repaso: brigada forestal, formada generalmente por 5 operarios con herramientas manuales y vehículos todo-terreno.



Figura 56. Helicóptero en proceso de carga en el punto de acopio de material para realizar la operación de helimulching en el incendio de Arbo (Pontevedra) de 2016. Al fondo zonas tratadas.

Mulching manual:

- Brigada forestal de 5 operarios con herramientas manuales y vehículo todo-terreno.

Apeo de madera

- Brigada forestal de 5 operarios con motosierras, desbrozadoras, herramientas manuales y vehículo todo-terreno.

Trituración del arbolado no comercial: dependiendo del terreno

- Tractor con apero desbrozador.
- Retro -araña.
- Retroexcavadora con cabezal procesador.
- Astilladora: normalmente alimentada por 2 operarios.

Retirada del arbolado quemado :

- Brigada forestal de 5 operarios con motosierras, desbrozadoras, herramientas manuales y vehículo todo-terreno.
- Tractor autocargador.



Figura 57. Arbolado quemado cortado y apilado, dispuesto para su retirada en el incendio de Munís (Navia de Suarna-Lugo) de 2015. Al fondo pueden verse laderas sobre el reguero Entraballúas tratadas con helimulching



Figura 58. Retirada de arbolado quemado con autocargador

OTROS CONDICIONANTES EN LA IMPLEMENTACION DE LOS TRABAJOS

Este tipo de tareas posee una serie de peculiaridades que se traducen en especiales dificultades en su ejecución, impuestas por los siguientes condicionantes:

Espacio: El terreno en que se desarrollan las actuaciones suele presentar las siguientes características:

- Dificilmente accesible: zonas quemadas alejadas de las vías de comunicación, y de ahí que el fuego las haya afectado con mayor intensidad, al resultar la extinción más complicada.
- Orografía compleja: las áreas suelen tener fuertes pendientes, lo cual es perfectamente coherente con presentar mayor riesgo de fenómenos erosivos.
- Pedregosidad: las zonas de trabajo presentan una elevada pedregosidad, a causa de la reiteración de fuegos en buena parte de las localizaciones en que se ha desarrollado actuaciones.

Tiempo: El plazo disponible para la ejecución de las obras es muy corto (normalmente 2-3 meses para los trabajos de control de erosión), por los siguientes motivos:

- Como se ha visto anteriormente, la mayor parte de las pérdidas de suelo se presentan durante los primeros meses tras el incendio, lo que requiere una respuesta urgente.

- La gran mayoría de los incendios se producen en verano, lo que implica la necesidad de materializar las actuaciones sobre el terreno antes de las lluvias de otoño.

- El proceso de identificación, cartografiado y validación de las zonas de trabajo determina el inicio de las obras.

Meteorología: Afecta a cualquier trabajo desarrollado en el medio natural. Habitualmente a principios del otoño las condiciones son cambiantes y poco previsibles.

Condiciones de mercado: Otro de los aspectos que influye en la realización de las tareas es la disponibilidad de recursos impuesta por las condiciones de mercado.

- Recursos humanos: Es frecuente que no haya personal suficientemente cualificado en el mercado laboral dado que, en la época del año en que se desarrollan los trabajos, es habitual que los servicios de prevención y defensa contra incendios forestales estén todavía en período de riesgo alto. Trabajos como los desarrollados en 2016 y 2017 requirieron la contratación de 50 trabajadores.

- Aeronaves: se trata de un sector muy reducido con un número muy limitado de empresas.

- Suministros: Asegurar la disponibilidad de materiales en el momento adecuado es vital y no siempre resulta fácil. Sobre todo en lo que respecta a los materiales vegetales de cobertura. Por ejemplo, el mercado de balas de paja está muy condicionado por la demanda para alimentación del ganado, y ésta depende de las condiciones del año. Hay que tener en cuenta que el uso de un promedio de 2,5 t/ha de material para helimulching puede implicar la necesidad de un suministro de paja de más de 600 t de paja en un período de 1 mes.

- Maquinaria: el final del ejercicio presupuestario suele ser la época del año en que los contratistas de obras públicas tienen una mayor cartera de obras y coincide con el período habitual de realización de los trabajos de estabilización. Por ejemplo las actuaciones de 2016 y 2017 hicieron necesaria la contratación de 25 máquinas.

Normativa: Todas las acciones deben llevarse a cabo desde el más estricto respeto a normativa:

- Contratación de personal: las empresas públicas tienen una serie de limitaciones en cuanto a los procedimientos que la regulan.

- Suministros y servicios: de igual manera, la contratación en el sector público está regida por unas normas que introducen cierta rigidez.

- Afecciones: tanto la ya mencionada potencial afección al Patrimonio Cultural, como las de los Organismos de Cuenca, Patrimonio Natural y otras normas municipales deben ser integradas en el proceso.

CONCLUSIONES

La correcta planificación y organización de los trabajos son las mejores herramientas para llevar a buen término este tipo de tareas, dado todo expuesto, siendo para ello necesario el conocimiento que proporciona la experiencia adquirida.

Se pueden destacar los siguientes aspectos:

El trabajo crítico (puesto que condiciona todos los demás) es el replanteo (o mapificación) de las áreas de trabajo para su posterior validación. Es preciso contar con equipos que tengan experiencia en esta materia.

En la fase de planificación, es vital contar con personal técnico habituado a identificar los factores limitantes de las zonas de trabajo:

- Accesos a las zonas de actuación
- Identificación de la maquinaria más adecuada para la realización de las obras.
- Localización de zonas de acopio de materiales

En gabinete debe haber un apoyo técnico fundamental para:

- Elaboración de cartografía.
- Identificación de posibles afecciones.
- Gestión de permisos y autorizaciones.
- Contratación, formación y equipamiento de personal eventual.
- Organización de compras y suministros

En la fase de ejecución, los equipos deben estar correctamente dirigidos para coordinar al personal y la maquinaria. Una vez que proceso se inicia, se debe retroalimentar, pues comienza la monitorización y la corrección de las desviaciones.

The background of the slide is a photograph of a forest with tall, thin trees. The top half of the image is covered by a semi-transparent blue rectangular overlay, which serves as a background for the title text.

PRINCIPALES RESULTADOS DEL PLAN DE MONITORIZACION DE LOS TRATAMIENTOS EFECTUADOS EN EL PERÍODO 2013-2015

PRINCIPALES RESULTADOS DEL PLAN DE MONITORIZACIÓN DE LOS TRATAMIENTOS EFECTUADOS EN EL PERÍODO 2013- 2015

Siguiendo los pasos establecidos en el protocolo (Figura 2), el Centro de Investigación Forestal de Lourizán diseña un plan de monitorización para evaluar objetivamente la eficacia de las acciones realizadas, detectar errores y proponer mejoras que puedan incrementar la eficacia de las actuaciones en campañas futuras. Los datos resultados obtenidos con el citado plan de seguimiento sirven también para cuantificar una parte esencial de las consecuencias del incendio que se está tratando de mitigar.

A grandes rasgos, la metodología usada implica diseñar y ejecutar un experimento destinado a cuantificar las cantidades de suelo perdidas en un periodo de tiempo determinado tras el incendio; a la vez testar si el tratamiento realizado da lugar a una reducción significativamente estadística de la erosión subsiguiente al fuego, con un determinado nivel de probabilidad (usualmente 95%). Por tanto, tienen que tenerse en cuenta los condicionantes habituales en el diseño de experimentos para que sus resultados sean homologables científicamente. Se requiere para ello la instalación de un conjunto de parcelas, de dimensión suficiente para poder reflejar los procesos que tienen lugar en laderas quemadas y que dan lugar a la remoción y arrastre de partículas de suelo, produciendo su erosión. Una vez decidida la ubicación de las parcelas, se efectúan mediciones topográficas del sitio y de la severidad del fuego en la vegetación y suelo y se recogen muestras de suelo que permitirán determinar cambios en propiedades edáficas clave para cuantificar el impacto del fuego en ambos sistemas. Además, en la parte más extrema ladera debajo de esas parcelas se sitúan barreras verticales de geotextiles que son permeables a la escorrentía pero retienen los sedimentos transportados por ella. En la parte más elevada de la parcela, y a veces en los laterales, se excavan zanjas destinadas a evacuar la escorrentía exterior. A estos regueros se añaden a veces geotextiles, dispuestos verticalmente, para frenar la energía de la posible escorrentía que, procedente de zonas por encima de la parcela de estudio, pudiera penetrar en la parcela objeto de medición y atrapar los sedimentos transportados por aquella.

La instalación se complementa con el emplazamiento de registradores en continuo de la precipitación que permiten determinar con detalle las pautas temporales de la cantidad e intensidad de la lluvia. Se pone, asimismo, en marcha un plan de extracción periódica y pesada de los sedimentos colectados en las barreras inferiores mencionadas, en función de los eventos de lluvia producidos durante el periodo de estudio, y la posterior determinación en laboratorio de su nivel de humedad para referir las cantidades de suelo perdido a peso seco. También se efectúa la limpieza periódica de los sedimentos acumulados en las otras barreras, procediéndose a su mantenimiento y reparación si es preciso. Además, se establece un plan de mediciones periódicas de la cobertura del suelo por parte de la cubierta protectora creada por el tratamiento y la de la vegetación, con la identificación de las especies vegetales correspondientes. Esas mediciones de vegetación persiguen varios objetivos: a) conocer la respuesta de un conjunto de especies al fuego y a los tratamientos, b) evaluar su posible contribución a la reducción de la erosión post-incendio y c) determinar el riesgo de colonización de las áreas quemadas por parte de especies alóctonas, invasoras o no, instaladas de forma natural o como consecuencia de los tratamientos efectuados.



Figura 59. Helimulching en el incendio de Monte Pindo(A Coruña) de 2013



Figura 60. Una de las áreas tratadas con helimulching en el incendio de Ponte Caldelas (Pontevedra) de 2013

En las líneas que siguen se presentan resultados obtenidos durante las campañas realizadas tras los incendios de 2013 y 2015 ya finalizadas. En la actualidad se está llevando a cabo el seguimiento de las correspondientes a los tratamientos realizados después de los incendios de 2016 y 2017 por lo que aún no se dispone de datos definitivos.

En el plan de monitorización de 2013 se estableció un conjunto de 70 parcelas, distribuidas en los incendios de Negreira, Pindo, Ribasieira, Oia-O Rosal y Ponte Caldelas (Figura 6). En todos esos casos se trataba de mulching de paja, a razón de 2,5 t/ha. El seguimiento se realizó durante los dos años siguientes al incendio (2013-2015). Los principales resultados relativos a la las pérdidas de suelo por erosión y regeneración natural de la vegetación se resumen a continuación para cada incendio.

NEGREIRA (A Coruña)

Este incendio comenzó el 11 de septiembre de 2013, afectando a 682 ha. En una de las áreas seleccionadas para la aplicación operativa del tratamiento de helimulching (laderas de los montes de Lueiro sobre el río Xallas) se instaló el dispositivo experimental para monitorización. El sitio era un tojal dominado por *U. europaeus*. La pendiente variaba entre el 41 y el 49%. La altitud s.n.m.era de 400 m y la exposición S.O. El sustrato es de granito-ortogneis y los suelos Regosoles Alumi-úmbricos, de textura franco-arenosa. La severidad media del fuego en el suelo fue alta/ muy alta. El nivel medio de C en los 2 primeros cm del suelo mineral quemado fue de 6,5% y el diámetro medio ponderado de los agregados de 0,62 mm.



Figura 61. Área tratada en las laderas del río Xallas. Incendio de Negreira (2013)



Figura 62. Vista parcial del dispositivo experimental en el incendio de Negreira (2013).

Inmediatamente después de la aplicación del mulch de paja, la cobertura del suelo era del 85% (Figura 63). La precipitación medida recogida durante el primer año post-incendio fue de 1866 mm y de 1540 mm el segundo. El promedio de la intensidad máxima en 30 minutos durante el primer año después del incendio fue 3,9 mm/h. Esa cifra fue 4,1 mm/h el segundo año post-fuego.

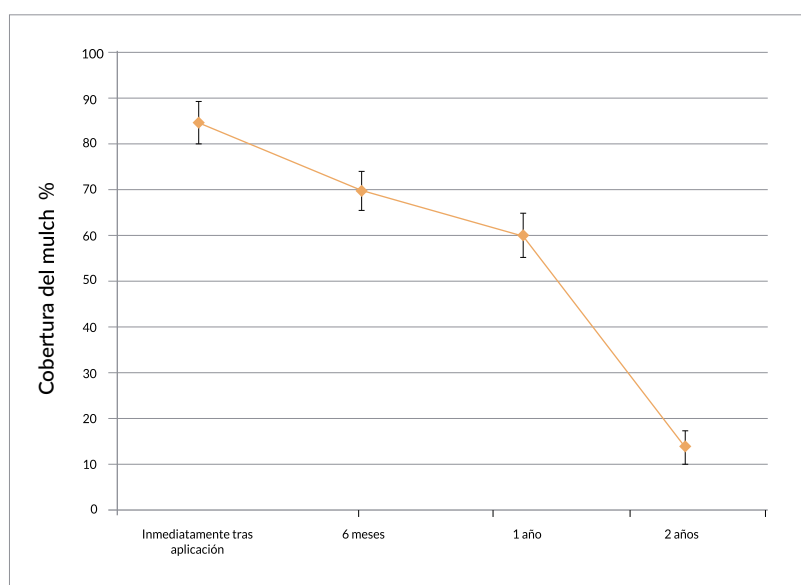


Figura 63. Evolución de la cobertura de mulch de paja a lo largo del período de estudio en el incendio de Negreira(2013). Barras verticales, error

La mayor parte de las pérdidas de suelo se produjeron en el primer año después del incendio. En ese periodo de tiempo la erosión en los suelos sin tratar fue de 41 t/ha, acumulándose hasta 50 t/ha en los dos años siguientes al incendio (Figura 64). El mulch de paja redujo de forma significativa la cantidad de suelo perdido, midiéndose solo 4 t/ha durante los dos años posteriores al incendio.

La recuperación de la vegetación fue bastante rápida, superándose el 70% de cobertura al final del primer año después del fuego, en el límite inferior para garantizar la protección del suelo quemado (Figura 65), y sin observarse diferencias significativas entre los suelos tratados y no tratados. Al final del segundo año post-incendio la cubierta de vegetación era próxima al 100% en los dos tipos de situaciones, que no diferían entre sí.

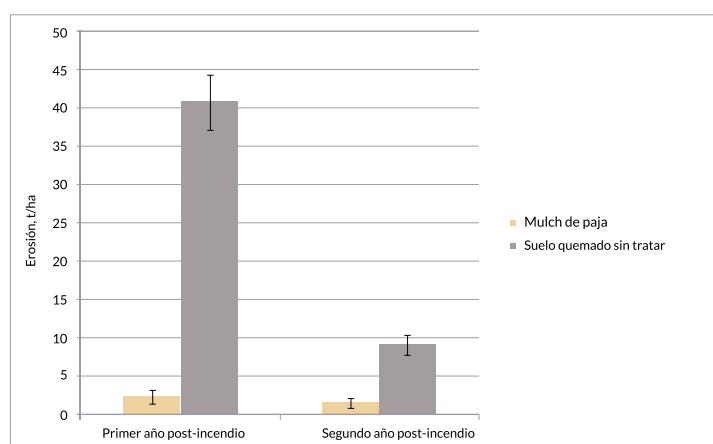


Figura 64. Pérdidas de suelo por erosión durante los dos primeros años tras el incendio de Negreira (2013) . Barras verticales, error estándar.

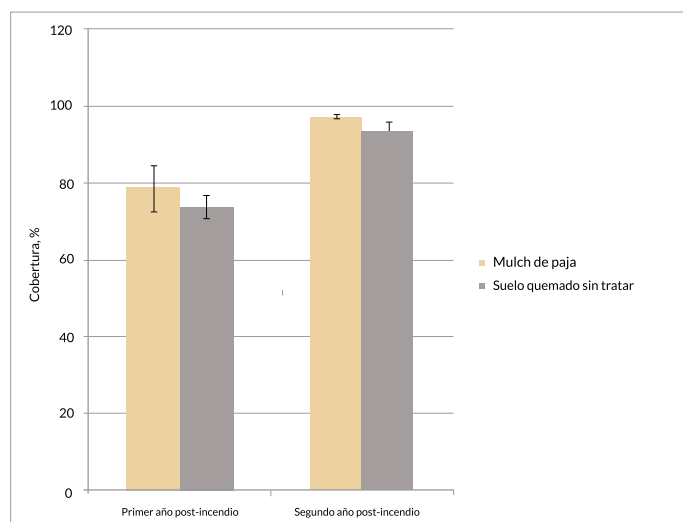


Figura 65. Evolución de la cobertura vegetal (como grado de recubrimiento del suelo sin tener en cuenta la estratificación) durante los dos primeros años tras el incendio de Negreira(2013). Barras verticales, error estándar.



Figura 66. Evolución de la cobertura vegetal al año, dos y cuatro años después del incendio de Negreira de 2013.

CARNOTA-PINDO (A Coruña)

Este incendio se inició el 11 de septiembre de 2013 y afectó a 2037 ha. El dispositivo de seguimiento del tratamiento de helimulching (a razón de 2,5 t/ha) se situó en la zona de a Fonte dos Bimbios tratada con mulch (2,5 t/ha). El área de estudio estaba cubierta de un latizal joven de *Pinus pinaster* procedente de repoblación, tras un anterior incendio (2006), con un sotobosque muy desarrollado de tojo (*U. europaeus*). Las parcelas citadas se situaron en laderas de entre el 48 y el 52% de pendiente, siendo su altitud s.n.m. de 200 m, con exposición S.O. El sustrato es de granito-granodiorita y los suelos Regosoles Alumi-úmbricos y Leptosoles, de textura arenosa-franca. La severidad media del fuego en el suelo fue moderada. El nivel de C en los 2 primeros cm del suelo mineral quemado fue de 7,9% y el diámetro medio ponderado de los agregados de 0,60 mm.



Figura 67. Una de las áreas tratadas en el incendio del monte Pindo (2013).

Inmediatamente después de la aplicación del mulch de paja, la cobertura del suelo era de 82% (Figura 68), permaneciendo por encima del 60% todo el primer año tras el incendio. La precipitación el primer año post-incendio fue de 1280 mm y de 1139 mm el segundo. La media de la intensidad de la lluvia máxima en 30 minutos fue de 3,5 mm/h durante el primer año post-incendio y de 4,3 mm/h el segundo.

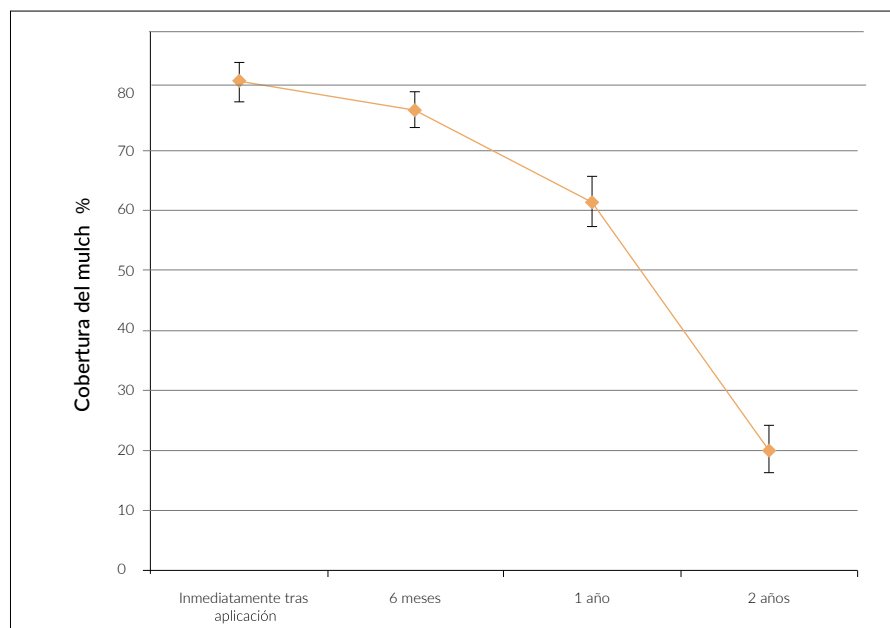


Figura 68. Evolución de la cobertura de mulch de paja a lo largo del período de estudio en el incendio del monte Pindo(2013). Barras verticales, error estándar.

La eficiencia del tratamiento fue muy alta (99%), con 7,4 t/ha, de erosión en los suelos sin tratar el primer año siguiente al incendio, una cantidad significativamente mucho mayor que la medida en los tratados, donde solo se midió 0,1 t/ha (Figura 69). El segundo año post-fuego, la cantidad de suelo perdido fue muy baja en los dos casos.

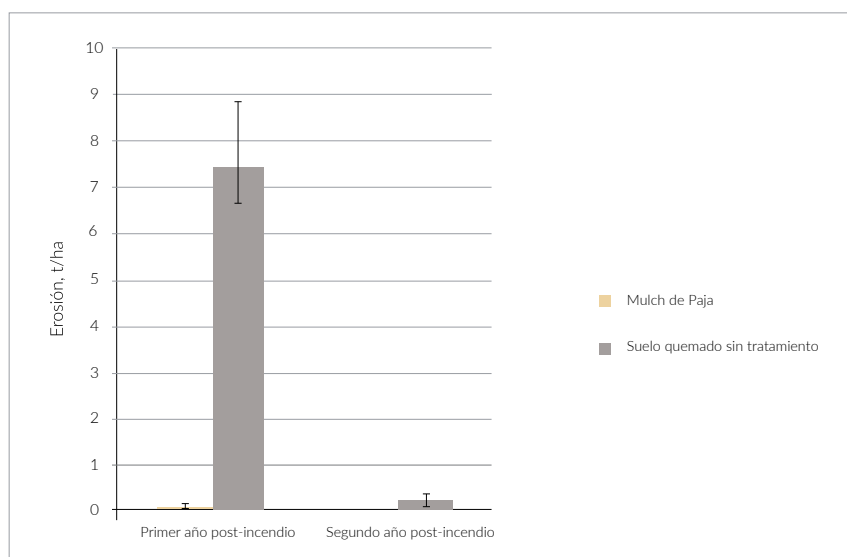


Figura 69. Pérdidas de suelo por erosión durante los dos primeros años tras el incendio del Monte Pindo(2013). Barras verticales, error estándar.

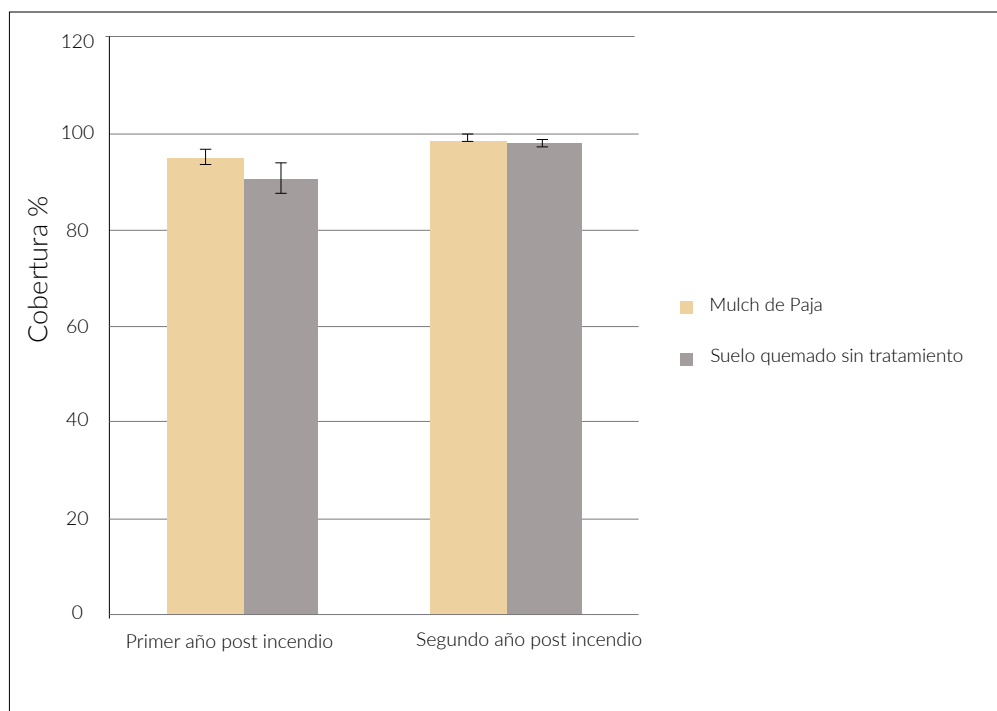


Figura 70 . Evolución de la cobertura vegetal (como grado de recubrimiento del suelo sin tener en cuenta la estratificación) durante los dos primeros años post-incendio del monte Pindo en 2013 . Barras verticales, error estándar.

La cobertura vegetal se recuperó muy rápidamente, superando el 90% al final del primer año post-fuego (Figura 70) en los dos casos, sobre todo debido a la abundancia de helecho (*Pteridium aquilinum*).



Figura 71.. Evolución de la cobertura vegetal al año y a los cuatro años después del incendio del monte Pindo de 2013.

PORTO DO SON-RIBASIEIRA (A Coruña)

Este incendio tuvo lugar el 13 de septiembre de 2013 y afectó a 325 ha. En dos de las áreas destinadas a recibir un tratamiento de mulching de paja (Monte de Xufres), se instalaron las parcelas de monitorización. El área comprendía un latizal joven, procedente de una reforestación de *P.pinaster* de 2007 y tojal (*U. europaeus*). Las parcelas se situaron en laderas de entre el 43 y el 48% de pendiente, a una altitud media s.n.m. de 350 m - 400 m y exposición E. Los suelos eran Regosoles Alumi-úmbricos, desarrollados sobre granito de dos micas y textura arenosa-franca. La severidad media del fuego en el suelo fue moderada/alta. El nivel medio de C en los 2 primeros cm del suelo mineral afectado por el incendio fue de 7,3% y el diámetro medio ponderado de los agregados de 0,62 mm.



Figura 72. Una de las áreas tratadas con mezcla de helimulching y mulching manual en el incendio de Ribasieira (2013).

Inmediatamente después de la aplicación del mulch de paja, la cobertura del suelo era del 84% (Figura 73). La precipitación acumulada durante el primer año post-incendio fue de 2328 mm y de 1871 mm el segundo. La intensidad de la lluvia máxima en 30 minutos promedio fue de 5,1 mm/h durante el primer y segundo año post-incendio.

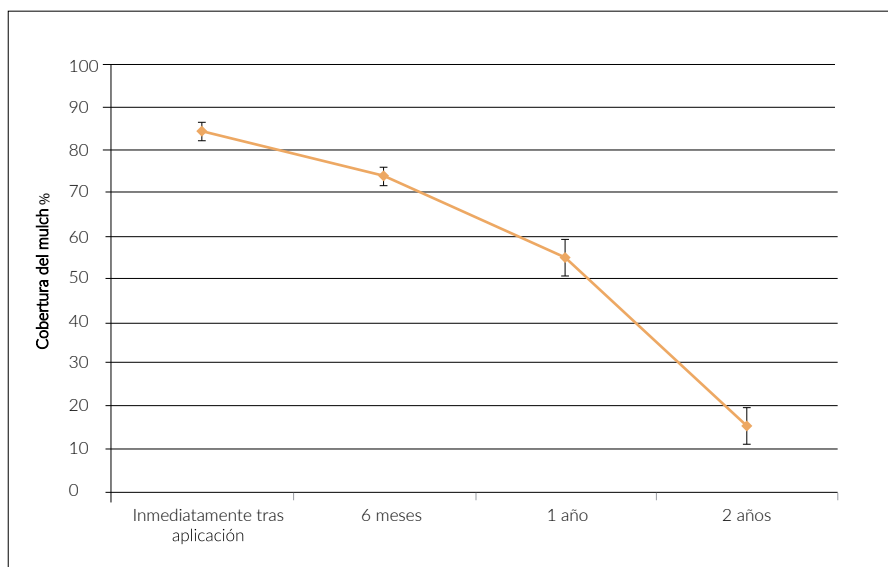


Figura 73. Evolución de la cobertura de Mulch de paja a lo largo del período de estudio. Incendio de Ribasieira (2013). Barras verticales, error estándar.

Al final de primer año después del fuego, la cantidad de suelo perdido en los sitios sin tratar era ligeramente inferior a las 12 t/ha (Figura 74), una cifra significativamente superior a la medida en los suelos tratados con mulch de paja (2,2 t/ha). Durante el segundo año post-fuego, las pérdidas de suelo por erosión fueron muy bajas en los dos casos.

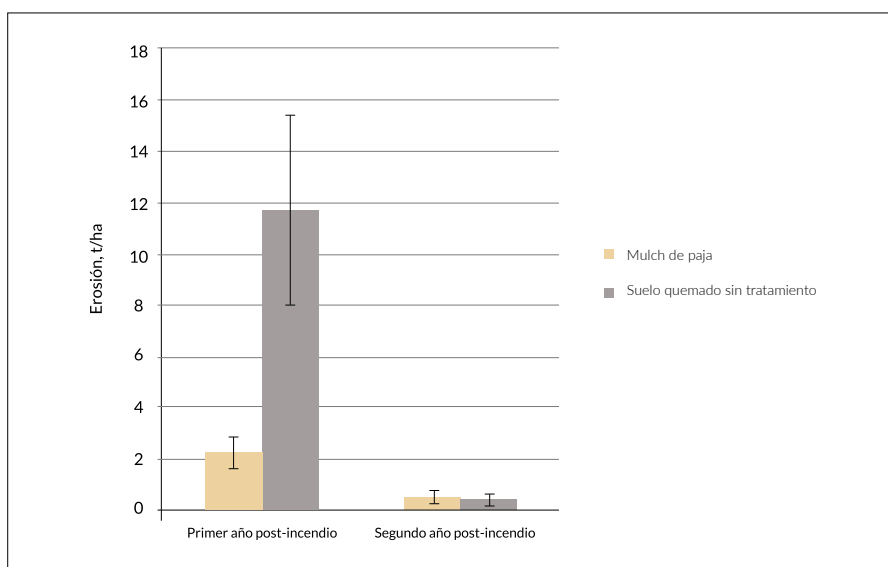


Figura 74. Pérdidas de suelo por erosión durante los dos primeros años tras el incendio de Ribasieira en 2013. Barras verticales, error estándar.

La cobertura de la vegetación al final del primer año después del fuego varió entre el 63% en los suelos tratados y 73% en los sin tratar, (Figura 75), sin que difirieran significativamente esas dos cantidades. Dos años después del fuego la cubierta de vegetación era casi del 100% en las dos situaciones consideradas.

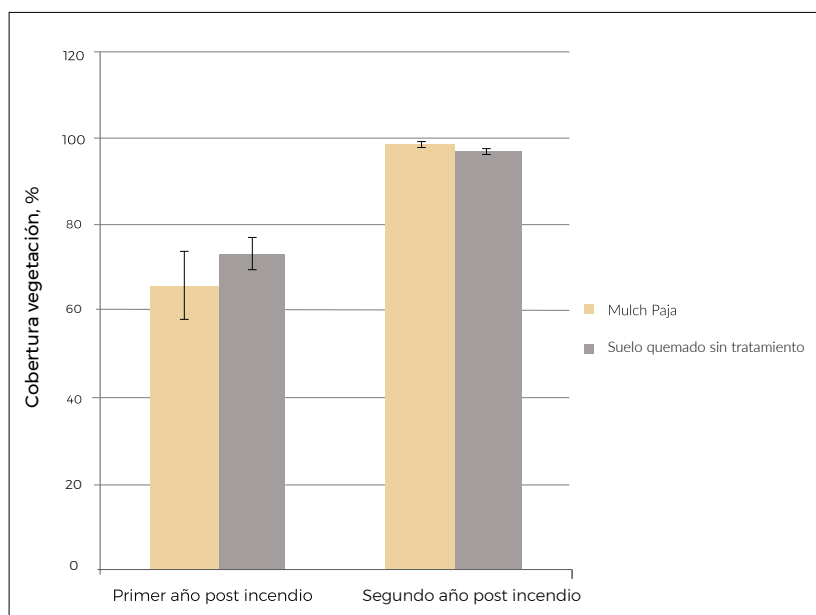


Figura 75. Evolución de la cobertura vegetal (como grado de recubrimiento del suelo sin tener en cuenta la estratificación) en Ribasieira durante los dos primeros años tras el incendio de 2013. Barras verticales, error estándar.

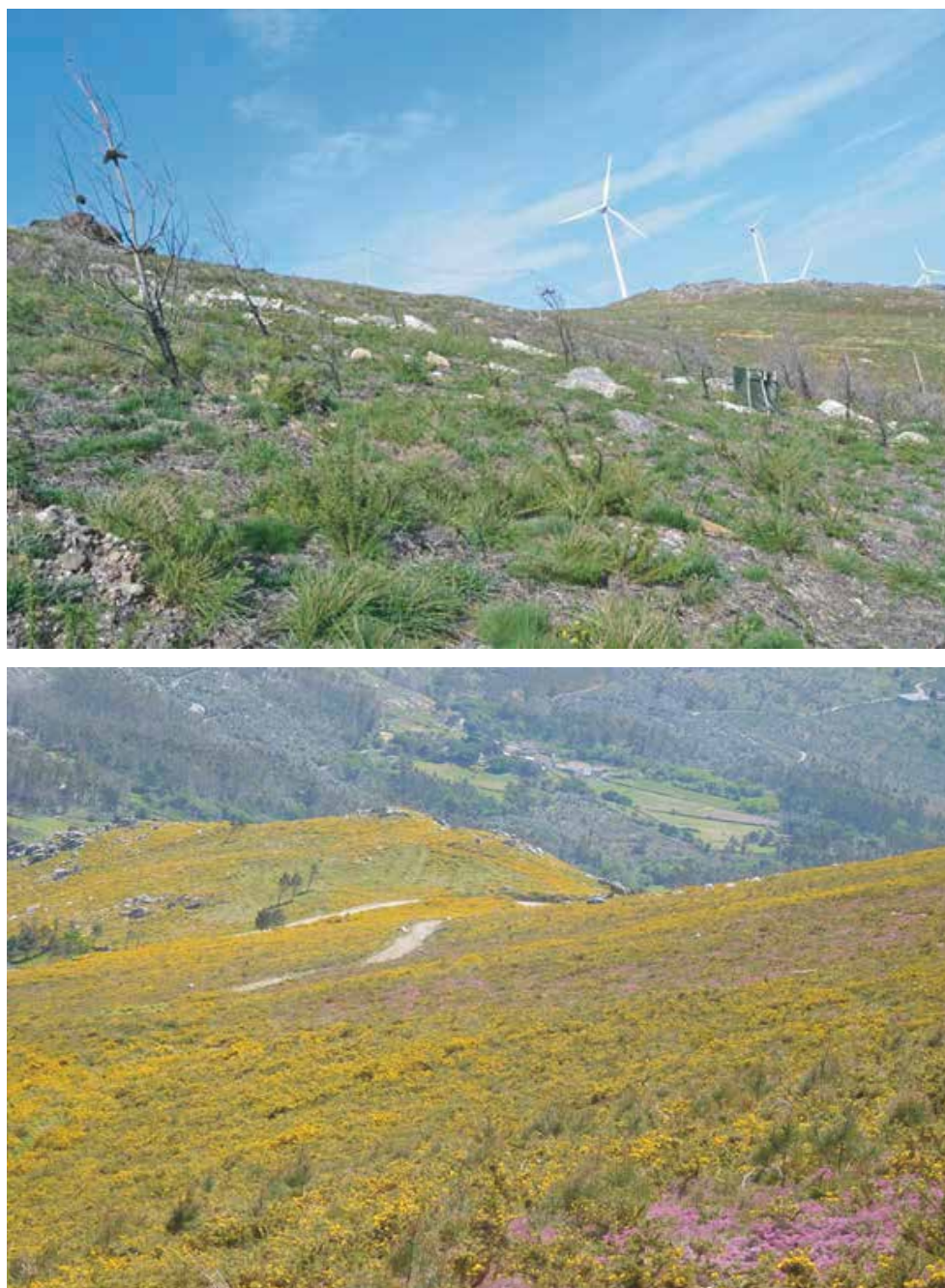


Figura 76. Aspecto general del área tratada un año y cuatro años después del incendio de Ribasieira de 2013.

PONTE-CALDELAS (Pontevedra)

Este incendio se originó el 4 de septiembre de 2013, afectando a 747 ha. En tres de las áreas donde se aplicaron los tratamientos de mulching de paja (ladera de solana del Monte Cotadorio sobre Barbudo, ladera de umbría sobre Rebordelo y ladera da costa da Xandra, respectivamente) se situaron un total de 30 parcelas de 80 m², quince usadas como control y las restantes con tratamiento. La formación vegetal dominante en las tres áreas era la de un tojal de *U. europaeus* con mayor o menor abundancia de helecho; en una de las zonas había pies aislados de carballo y pino y en otra de eucalipto. La pendiente de las parcelas osciló entre el 27 y el 43%. La altitud media s.n.m. era de 480 m y la exposición osciló entre N-NE y SO. Los suelos son Regosoles Alumi-úmbricos desarrollados sobre granito de dos micas y de textura arenosa-franca. La severidad media del fuego en el suelo fue alta-muy alta. El nivel medio de C en los 2 primeros cm del suelo mineral quemado fue de 9,4% y el diámetro medio ponderado de los agregados de 0,57 mm.



Figura 77. Una de las áreas tratadas con mulching en el incendio de Ponte Caldelas en 2013.

Inmediatamente después de la aplicación del mulch de paja, la cobertura media del suelo era 87% (Figura 78), manteniéndose un año por encima del 60%, a pesar de la fuerte precipitación acumulada durante el primer año post-incendio que alcanzó 2808 mm, mientras en el segundo se recogieron 1378 mm. El promedio de la intensidad máxima de lluvia en 30 minutos durante ese primer año fue 4,5 mm/h. Esa cifra fue 5,0 mm/h durante el segundo.

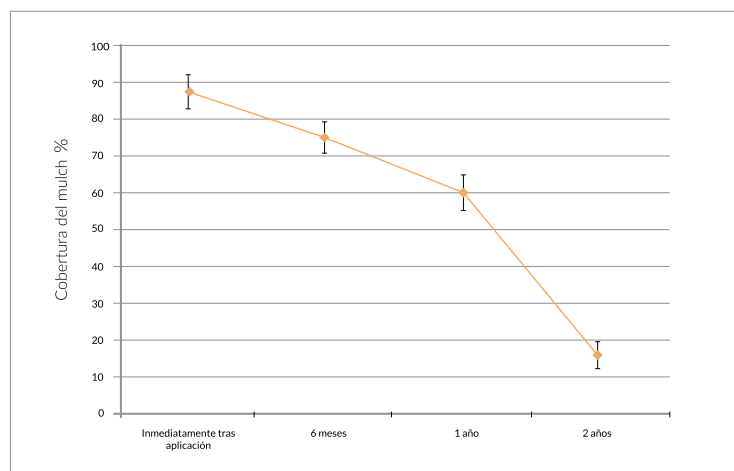


Figura 78. Evolución de la cobertura de mulch de paja a lo largo del período de estudio en el incendio de Ponte Caldelas(2013) . Barras verticales, error estándar.

La erosión promedio producida para el conjunto de las quince parcelas situadas en los suelos sin tratar fue de 43 t/ha, en el primer año post-incendio, significativa y notablemente más alta que la medida en las parcelas tratadas con mulch de paja, inferior a 2 t/ha (Figura 79). Durante el segundo año post-fuego, la erosión en los suelos sin tratar siguió siendo alta (11t/ha), probablemente como consecuencia de la elevada severidad del fuego en el suelo.

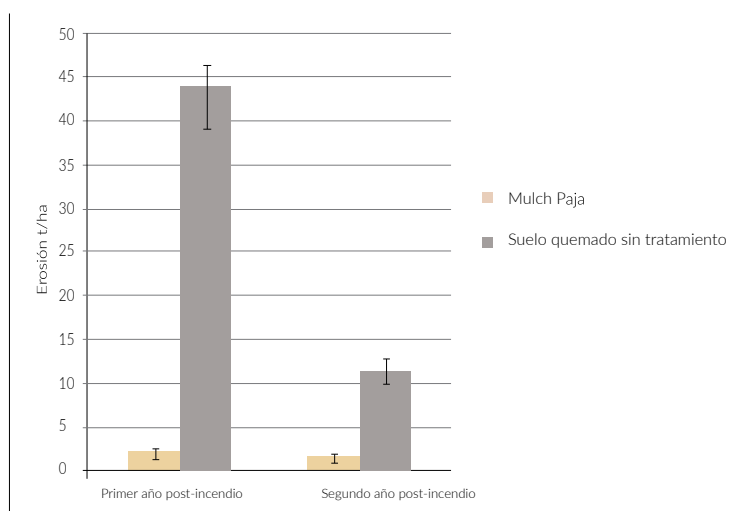


Figura 79. Promedio de las pérdidas de suelo por erosión durante los dos primeros años post-incendio medidas en las 30 parcelas de de monitorización en el incendio de Ponte Caldelas de 2013. Barras verticales, error estándar.

La cobertura de la vegetación al final del primer año después del fuego varió entre el 63% en los suelos tratados y 73% en los sin tratar, (Figura 75), sin que difirieran significativamente esas dos cantidades. Dos años después del fuego la cubierta de vegetación era casi del 100% en las dos situaciones consideradas.

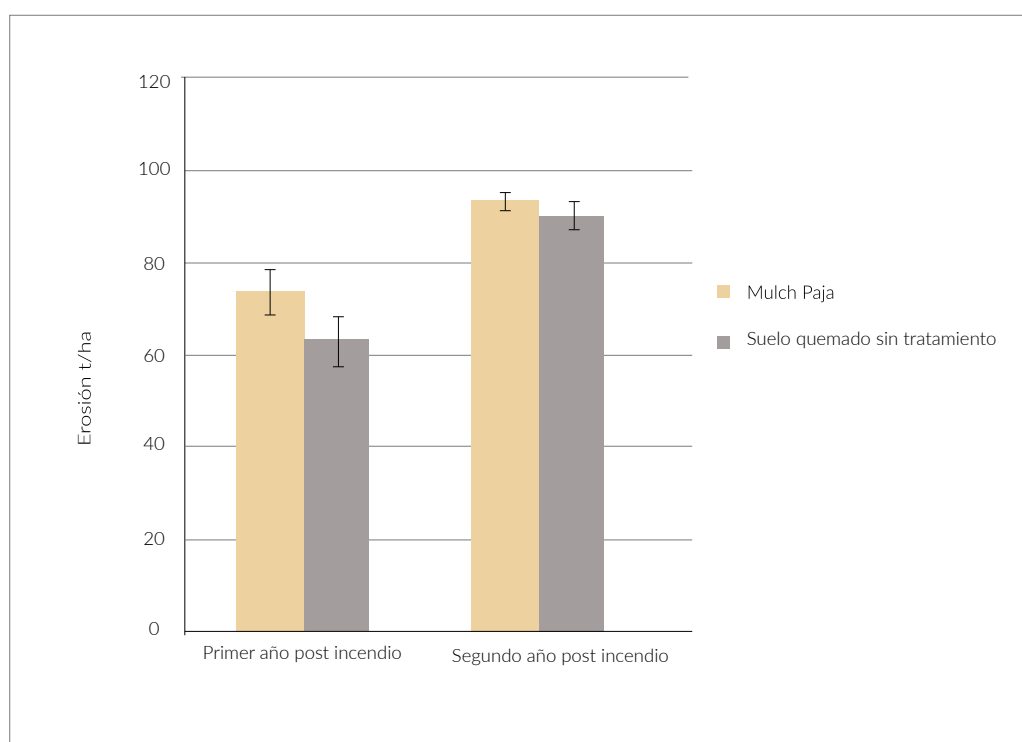


Figura 80 . Evolución de la cobertura vegetal (como grado de recubrimiento del suelo sin tener en cuenta la estratificación) durante los dos primeros años post-incendio media de las 30 parcelas de de monitorización en el incendio de Ponte Caldelas de 2013. Barras verticales, error estándar.



Figura 81. Cobertura vegetación en el área de monitorización de Costa da Xandra uno y dos años tras el incendio de Ponte Caldelas de 2013 .Esta zona sufrió de nuevo los efectos del fuego en Octubre de 2017.

OIA- O ROSAL (Pontevedra)

Este incendio se produjo el 26 de agosto de 2013, afectando a 1812 ha. En una de las áreas donde se habían prescrito tratamientos de mulching de paja a 2,5 t/ha (Ladeira da Forcadiña sobre el reguero Acevedo) se instaló un dispositivo de monitorización. El área experimental estaba cubierta de tojo (*U. europaeus*) de elevada talla (2 m). La pendiente oscilaba entre el 42 y el 53% (Figura 82). La altitud s.n.m. era de 250 m y la exposición N-NE. Los suelos son Regosoles Alumi-úmbricos y Leptosoles desarrollados sobre granito y con textura arenosa-franca. La severidad media del fuego en el suelo fue muy alta. La concentración de C en los 2 primeros cm del suelo mineral quemado fue de 6,74% y el diámetro medio ponderado de los agregados de 0,58 mm.



Figura 82. Vista parcial de una de las áreas de monitorización situada en la Ladeira da Forcadiña, sobre el reguero Acevedo, en el incendio de Oia-O Rosal de 2013.

Inmediatamente después de la aplicación del mulch de paja, la cobertura del suelo era del 85% (Figura 83), siendo mayor a 60% todo el primer año post-incendio.

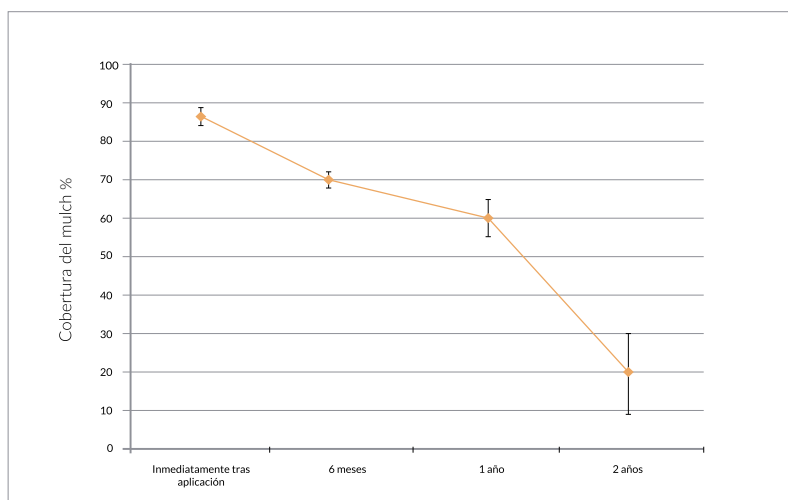


Figura 83. Evolución de la cobertura de mulch de paja en la Ladeira da Forcadiña, lo largo del período de estudio. Incendio Oia-Rosal (2013). Barras verticales, error estándar.

La precipitación acumulada en ese año fue de 2696 mm y de 1827 mm el segundo tras el incendio. El promedio de la intensidad máxima de la lluvia en 30 minutos durante el primer año después del fuego fue 5 mm/h. En el segundo año 5,4 mm/h. La erosión en los suelos sin tratar (32 t/ha) en el primer año fue significativamente mayor que en los tratados, donde se midió 3,5 t/ha (Figura 84). Durante el segundo año, la erosión en los suelos sin tratar todavía fue de 6 t/ha.

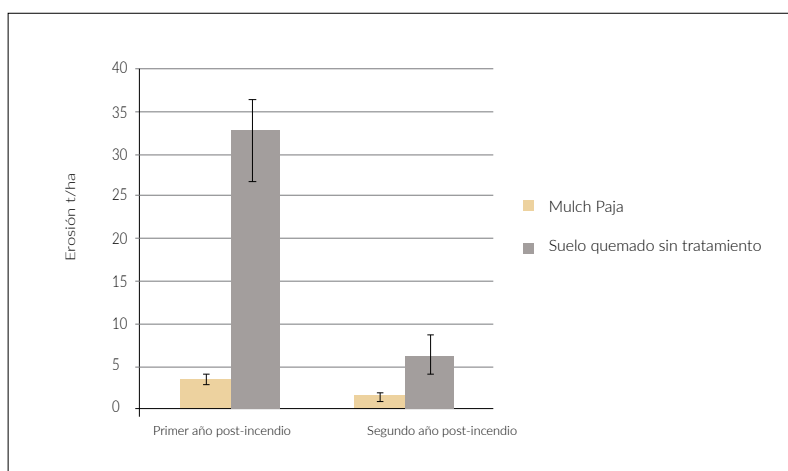


Figura 84. Pérdidas de suelo por erosión durante los dos primeros años post-fuego en la Ladeira da Forcadiña (Incendio de Oia-Rosal de 2013). Barras verticales, error estándar.

La cobertura de la vegetación al final del primer año después del fuego era alrededor del 50%. Al final del segundo año después del incendio la cubierta de vegetación oscilaba entre el 89% en el suelo sin tratar y el 95% en el tratamiento de mulch de paja, sin diferir significativamente entre ellas (Figura 85), alcanzando un buen nivel de protección del suelo.

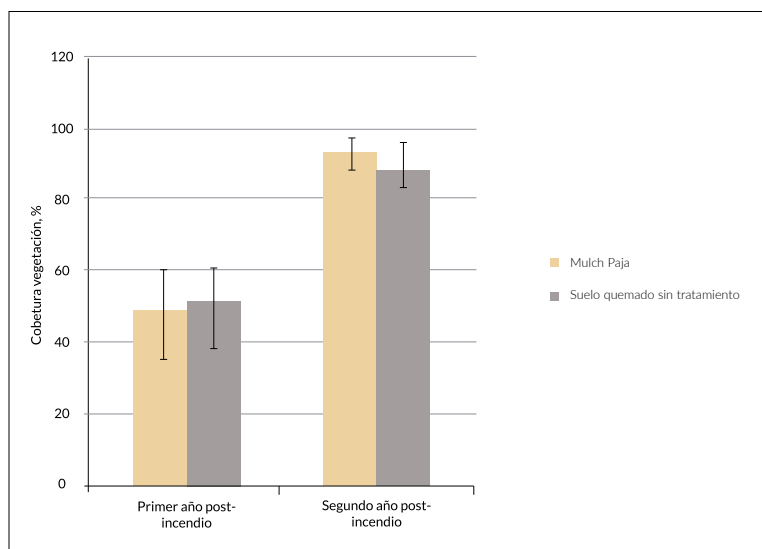


Figura 85. Evolución de la cobertura vegetal (como grado de recubrimiento del suelo sin tener en cuenta la estratificación) durante los dos primeros años post-fuego en la Ladeira da Forcadiña.(Incendio de Oia-Rosal de 2013). Barras verticales, error estándar.



Figura 86. Cobertura de la vegetación uno, dos y cuatro años después del incendio de 2013 en el área de monitorización de Oia-Rosal. .

ANÁLISIS DE LA COMPOSICIÓN DE ESPECIES VEGETALES

El seguimiento de la recuperación de la diversidad vegetal no ha indicado una presencia significativa de especies foráneas en las áreas tratadas con mulching en comparación con las control. A pesar de una mayor cobertura de esas especies en los momentos iniciales en las zonas tratadas (Figura 87), esa cifra sólo representó una pequeña parte de la cobertura vegetal. Ninguna de las especies alóctonas encontradas fue específica de las áreas tratadas con mulch.

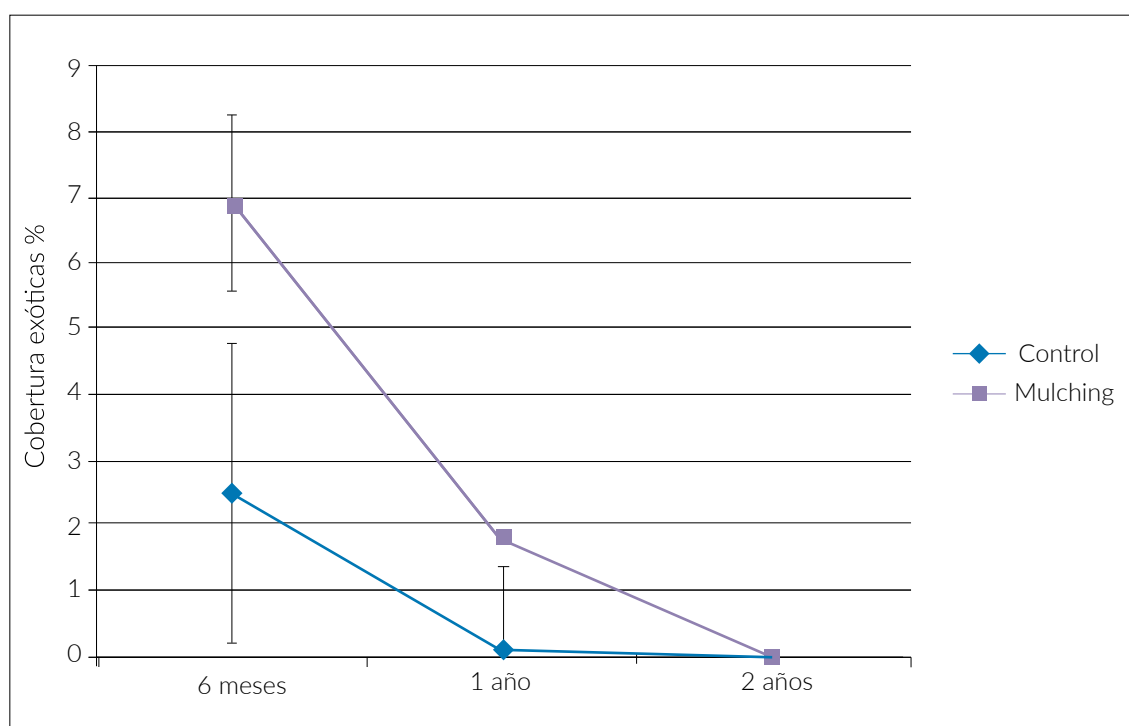


Figura 87. Cobertura media de exóticas en las áreas de monitorización instaladas tras los incendios de verano de 2013. Barras verticales, error estándar.

Las especies encontradas en las áreas experimentales analizadas se listan a continuación.

Tabla 2. Listado de especies presentes en las áreas experimentales consignado su origen

Especie	Origen
<i>Pinus pinaster</i> Ait.	Nativa
<i>Quercus robur</i> L.	Nativa
<i>Pyrus communis</i> L.	Nativa
<i>Ulex minor</i> L.	Nativa
<i>Ulex europaeus</i> L.	Nativa
<i>Ulex micranthus</i> Lange	Nativa
<i>Cytisus striatus</i> (Hill) Rothm.	Nativa
<i>Pterospartum tridentatum</i> (L.) Willk.	Nativa
<i>Halimium lasianthum</i> ssp. <i>alyssoides</i> (Lam.) Greuter	Nativa
<i>Erica umbellata</i> (L.) Loebl.	Nativa
<i>Erica cinerea</i> L.	Nativa
<i>Erica ciliaris</i> Loebl. (L.)	Nativa
<i>Erica arborea</i> L.	Nativa
<i>Calluna vulgaris</i> (L.) Hull	Nativa
<i>Daboecia cantabrica</i> (Huds.) K. Koch	Nativa
<i>Salix atrocinerea</i> Brot.	Nativa
<i>Arenaria montana</i> L.	Nativa
<i>Adenocarpus complicatus</i> (L.) Gay	Nativa
<i>Xolantha globulariifolia</i> (Lam.) Gallego, Muñoz Garm. & C. Navarro	Nativa
<i>Lithodora fruticosa</i> (L.) Griseb.	Nativa
<i>Rubus</i> sp. L.	Nativa
<i>Pteridium aquilinum</i> (L.) Kuhn	Nativa
<i>Dactylis glomerata</i> L.	Nativa
<i>Bromus catharticus</i> Vahl.	No nativa
<i>Anthoxanthum odoratum</i> L.	Nativa
<i>Agrostis curtisii</i> Kerguelen	Nativa
<i>Agrostis tenuis</i> Sibth.	Nativa
<i>Agrostis delicatula</i> Pourret	Nativa
<i>Pseudarrhenatherum longifolium</i> (Thore) Rouy	Nativa
<i>Poa pratensis</i> L.	Nativa
<i>Lolium perenne</i> L.	Nativa
<i>Hordeum vulgare</i> L.	No nativa
<i>Holcus lanatus</i> L.	Nativa
<i>Triticum aestivum</i> L.	No nativa
<i>Festuca arundinacea</i> Schreb.	Nativa
<i>Teucrium scorodonia</i> L.	Nativa
<i>Digitalis purpurea</i> L.	Nativa
<i>Coniza canadensis</i> (L.) Cronq.	No nativa
<i>Carum verticillatum</i> (L.) Koch.	Nativa
<i>Senecio vulgaris</i> L.	Nativa
<i>Rumex acetosella</i> L.	Nativa
<i>Hypochoeris radicata</i> L.	Nativa
<i>Asphodelus albus</i> Miller	Nativa

<i>Andryala integrifolia</i> L.	Nativa
<i>Sedum brevifolium</i> DC.	Nativa
<i>Simethis matiazzii</i> (Vand.) Sacc.	Nativa
<i>Jasione montana</i> L.	Nativa
<i>Potentilla erecta</i> (L.) Raeusch.	Nativa
<i>Lotus corniculatus</i> L.	Nativa
<i>Cyperus longus</i> L.	Nativa
<i>Hypericum perforatum</i> L.	Nativa
<i>Plantago major</i> L.	Nativa
<i>Ornithopus compressus</i> L.	Nativa
<i>Anthemis arvensis</i> L.	Nativa
<i>Raphanus raphanistrum</i> L.	Nativa
<i>Capsella bursa-pastoris</i> (L.) Medick	Nativa
<i>Hieracium pillosella</i> L.	Nativa
<i>Crepis capillaris</i> (L.) Wallr.	Nativa
<i>Sherardia arvensis</i> L.	Nativa
<i>Reseda media</i> Lag.	Nativa
<i>Reseda luteola</i> L.	Nativa
<i>Polygala microphylla</i> L.	Nativa
<i>Taraxacum officinale</i> Weber	Nativa
<i>Hyacinthoides non-scripta</i> (L.) Chouard ex Rothm.	Nativa
<i>Teesdalia nudicaulis</i> (L.) R. Br.	Nativa
<i>Anarrhinum bellidifolium</i> (L.) Willd.	Nativa
<i>Viola riviniana</i> Rchb.	Nativa
<i>Cirsium filipendulum</i> Lange	Nativa
<i>Logfia minima</i> (Sm.) Dumont.	Nativa
<i>Stellaria media</i> (L.) Vill.	Nativa
<i>Spergula arvensis</i> L.	Nativa
<i>Mentha suaveolens</i> Ehrh.	Nativa



OTRAS EXPERIENCIAS EN MASAS ARBOLADAS QUEMADAS

Se ha mencionado anteriormente que las zonas del incendio en donde coinciden áreas afectadas con alta severidad del fuego en el suelo, con masas que han sufrido un fuego de copa (consumiéndose las hojas y ramillas finas de esta última por el fuego), son generalmente prioritarias para la protección del suelo. Ello es porque a la fuerte perturbación en el suelo se une la ausencia de aporte de resto vegetal alguno capaz de ofrecer protección al suelo frente a su exposición directa a la lluvia. Sin embargo, no existía ninguna información en Galicia comparando simultáneamente las cantidades de suelo perdido, en zonas de copa soflamada (en la que la hoja afectada por el calor cae rápidamente creando una capa protectora del suelo), y otras sin ese resguardo por haber sufrido fuego de copa.

Por otro lado, la mitigación del riesgo de erosión tiene, en muchas ocasiones, que compatibilizarse con el aprovechamiento del arbolado quemado. Aunque las operaciones de corta y saca de la madera quemada suelen planificarse de forma inmediata, lo habitual es que transcurran unos meses hasta su ejecución. Durante ese tiempo, se concentra la mayor parte del riesgo de erosión y las acciones urgentes de estabilización del suelo pueden, además de mitigarlo, reducir incluso los posibles efectos perturbadores para el suelo recién quemado, asociados a la corta.

Comparación de la eficacia de la hojarasca caída y el helimulching para reducir el riesgo de erosión: La experiencia del incendio de Munís (Navia de Suarna) de 2015

Este incendio tuvo lugar entre 25 y 27 de julio de 2015 y afectó a 410 ha de monte, con arbolado de *P.pinaster*, *P.radiata*, *P.sylvestris* y *Q.robur* y matorrales dominados por uz bermella (*E.australis*) y carqueixa (*P.tridentatum*). La aplicación de paja, a razón de 3,5 t/ha, fue el tratamiento prescrito para áreas afectadas por alta severidad del fuego en la vegetación (fuego de copa) y en el suelo y fue ejecutado mayoritariamente utilizando helicóptero. Otras áreas del mismo tipo fueron seleccionadas como control y no recibieron ningún tratamiento. Finalmente se eligieron también áreas donde el arbolado tenía las copas soflamadas, en las que no se ejecutó ningún tratamiento, y que permitieron comparar la eficacia del mulch creado por la hoja caída con la del helimulching, en cuanto a la reducción de la erosión post-fuego. En total, se instalaron 30 parcelas de 80 m² en tres situaciones de arbolado diferentes: a) 10 en áreas que habían sufrido fuego de copa (sin tratamiento), b) 10 en áreas con fuego de copa donde se aplicó helimulching y c) otras 10 en áreas donde el arbolado presentaba la copa soflamada y se había producido un mulch de forma natural por la hoja desprendida del arbolado. La pendiente media del terreno en a) y b) fue de 54% (variando entre el 42% y 70%). En las parcelas de la zona c), la pendiente media era del 55% (variando entre el 31% y el 72%). La exposición varió entre SE y NE. La altitud media s.n.m. 650m. Los suelos son Alumi-úmbricos desarrollados sobre esquistos. La severidad del fuego en el suelo era moderada-alta. La erosión generada en las tres situaciones mencionadas se midió durante los dos años siguientes al incendio (2015-2017).

Inmediatamente después de la aplicación del mulch de paja, en las zonas que habían sufrido fuego de copas, la cobertura del suelo era del 90%. En las zonas de arbolado soflamado, las hojas caídas cubrieron totalmente el suelo quemado en las semanas siguientes al incendio, consiguiendo una cobertura completa del terreno. La precipitación durante el primer año post-incendio fue de 1001 mm y de 704 mm el segundo. El promedio de la intensidad de la lluvia máxima en 30 minutos durante ese primer año fue 3,7 mm/h. y 4,2 mm/h el segundo



Figura 88. Mulching manual aplicado por fajas (fondo de la imagen a la derecha) y con helicóptero (en primer término y al fondo a la izquierda) tras el incendio de Munís (Navia de Suarna-Lugo) en 2015.

La erosión acumulada al final del primer año post-incendio en los suelos sin tratar fue de casi 10 t/ha (Figura 89). Durante ese período la erosión en las parcelas tratadas con mulch de paja fue de 0,5 t/ha, una cifra similar a la de las zonas de copa soflamada(0,3 t/ha), en donde la hojarasca cubría totalmente el suelo. La erosión durante el segundo año fue muy baja en todos los casos.

Como en los estudios anteriores, no se encontró que la aplicación de mulch afectase a la recuperación de la cobertura vegetal o a la composición de especies.

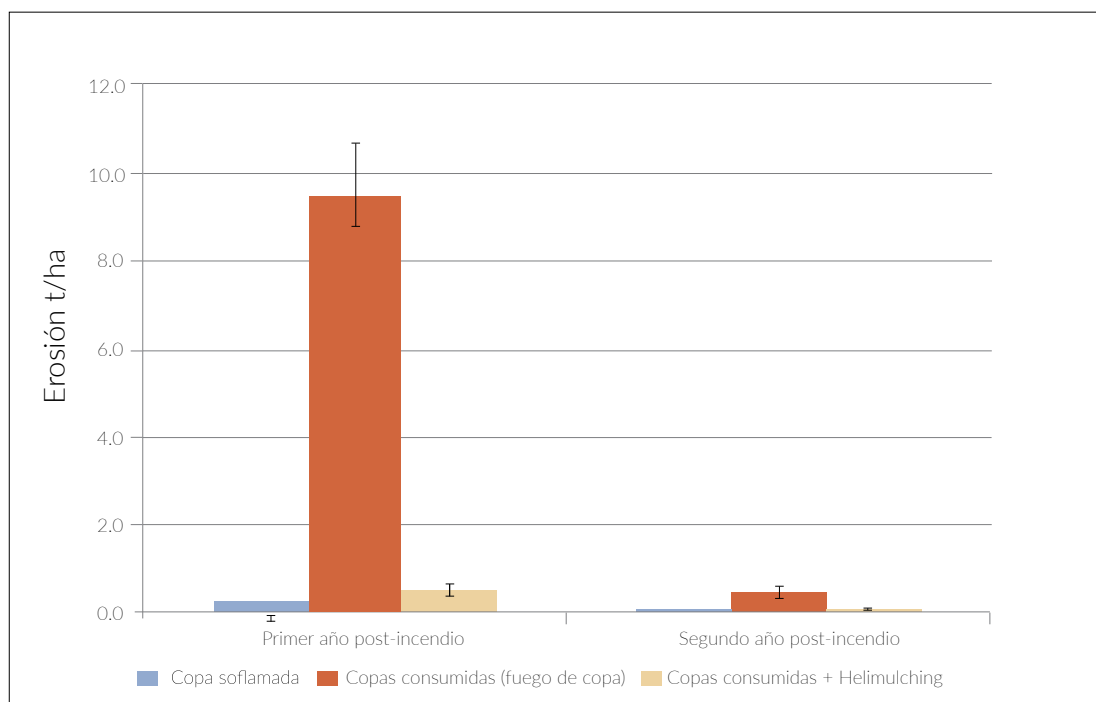


Figura 89. Pérdidas de suelo por erosión durante los dos primeros años siguientes al incendio de Munís de 2015. Barras verticales, error estándar.



Figura 90. Vista parcial de una de las áreas de monitorización un año después del incendio de Munís de 2015.



Figura 91. Vista parcial del área incendiada en Munís en 2015, dos años después del fuego.

Mulching después de incendio para limitar también los efectos de la corta a hecho del arbolado quemado

En rodales de *Pinus pinaster* que habían sufrido fuego de copa durante el incendio de Oia-O Rosal en 2013, con sotobosque de tojo (*U.minor*, *U.micranthus*) carqueixa (*P.tridentatum*) y brezo (*E.umbellata*) se ensayó el uso de corteza desfibrada de eucalipto como mulch para limitar la erosión post-incendio. Se instalaron 36 parcelas de 80 m² en laderas con pendiente del 22 al 55%, con orientaciones O y SO y altitudes s.n.m. entre 125 y 350 m. Para conseguir una cobertura inicial del suelo del 80% se necesitaron 11 t/ha de corteza (peso seco) que se aplicaron manualmente. A los seis meses esa cobertura había descendido al 68%. Los suelos tenían un sustrato de mica-esquisto y eran Regosoles Alumico-úmbricos y Leptosoles. La severidad del fuego en el suelo fue moderada en todos los casos.



Figura 92. Vista parcial de uno de los dispositivos experimentales en el incendio de Oia-Rosal (2013), instalado en un área afectada por un fuego de copa.



Figura 93. Cobertura del suelo después de la aplicación de corteza desfibrada de eucalipto en parcelas de monitorización en el incendio de Oia-Rosal (2013).

Durante los seis primeros meses después del incendio (período previo a la corta a hecho del arbolado) la erosión en el suelo quemado sin tratar fue 18,5 t/ha, mientras que donde se aplicó el mulch de corteza esa cifra fue de 2,9 t/ha (Figura 94) lo que supone una eficacia del 84% . Durante ese período la precipitación fue de 1716 mm y 5,0 mm/h el promedio de la intensidad de la lluvia máxima en 30 minutos. En ese mismo intervalo de tiempo la vegetación cubrió el 25% del terreno.

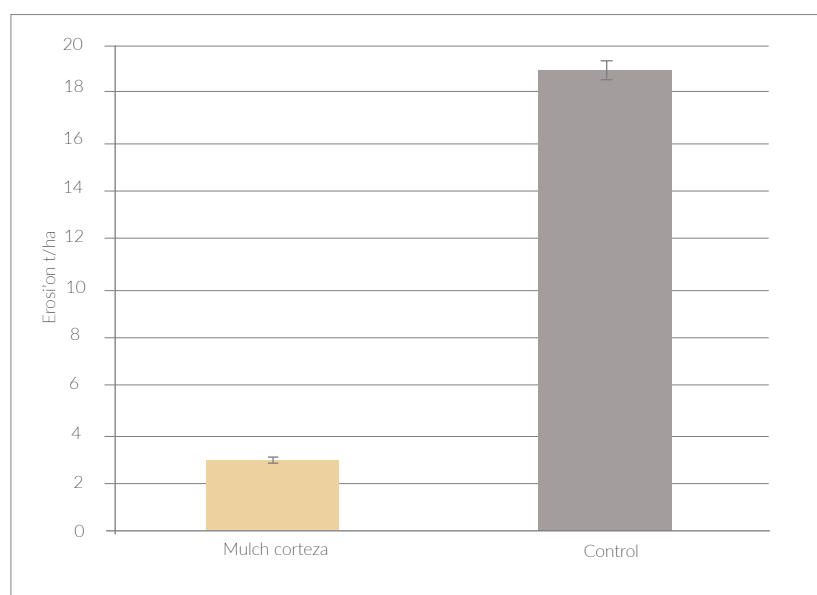


Figura 94. Pérdidas de suelo por erosión durante los seis primeros meses post-incendio y antes de la corta a hecho del arbolado. Incendio de Oia-Rosal de 2013. Barras verticales, error estándar.

Durante los 18 meses siguientes a la corta del arbolado (Marzo 2014 a Septiembre de 2015) se continuaron cuantificando las pérdidas de suelo por erosión. En este período la precipitación fue 2244 mm y el promedio de la intensidad máxima en 30 minutos de 4 mm/h. Los tratamientos se reajustaron de la siguiente manera: mulching corteza + corta arbolado; no mulching + corta; no mulching + no corta.

La aplicación de mulch aún después de la corta a hecho del arbolado quemado redujo significativamente las pérdidas de suelo durante el período analizado en relación a las zonas sin cobertura del suelo, tanto en las que se efectuó la extracción del arbolado quemado como en las que no (Figura 95). En las zonas sin mulch, las pérdidas de suelo fueron inferiores a las observadas durante los seis primeros meses post-incendio.

Resumiendo, dejar el arbolado quemado en pie sin cortar después del incendio y sin haber tratado el suelo generó una erosión acumulada de 25,5 t/ha en los dos años siguientes al incendio. Como contraste, el tratamiento con mulch y la corta a los seis meses del incendio dio lugar a una erosión de solo 5.9 t/ha (reducción del 76%), mientras que la corta, realizada en ausencia de tratamiento en el suelo, resultó en 27,2 t/ha, cifra muy similar a la de la primera opción.

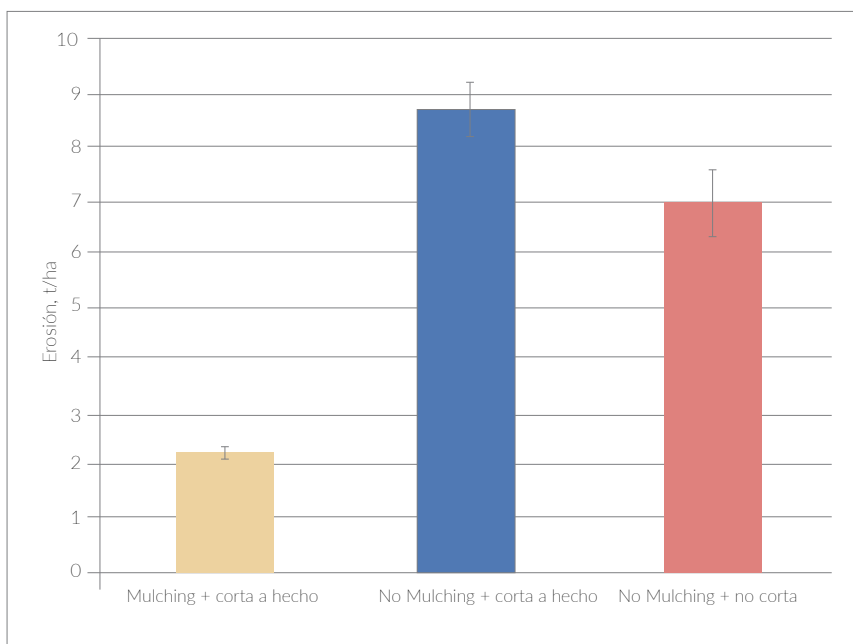


Figura 95 . Pérdidas de suelo por erosión acumulada en los dieciocho meses siguientes a la corta a hecho del arbolado quemado. Incendio Oia-Rosal de 2013. Barras verticales, error estándar.

La aplicación de mulch no afectó a la regeneración natural de la vegetación (Figura 96); en particular no redujo la regeneración por semilla de *P.pinaster*, cuyas plántulas fueron emergiendo a partir de la primavera siguiente al incendio.



Figura 96. Aspecto general de una de las parcelas de monitorización dos años después del incendio de Oia-Rosal de 2013 y un año y medio tras la corta a hecho del arbolado quemado, mostrando una buena regeneración natural de *P.pinaster* y de la vegetación arbustiva.

CONCLUSIONES

Esta serie de trabajos de monitorización ha recogido información de 136 macroparcelas durante dos años después del incendio, permitiendo evaluar la capacidad de tratamientos de helimulching, efectuados por la Administración forestal gallega, para mitigar el riesgo erosivo subsiguiente al fuego, en áreas forestales quemadas de Galicia de características diversas. La mayoría de ellas se encuentran situadas en la zona occidental, de mayor influencia atlántica, y por tanto sometida a mayor precipitación y erosividad de la lluvia.

De los datos obtenidos en ese periodo cabe destacar algunas conclusiones:

Se confirmó que en ausencia de tratamiento el proceso erosivo post-incendio se concentra principalmente en el primer año. En estos casos el 88% del suelo perdido en los dos años siguientes al fuego. Cuando se aplicó mulching de paja o de corteza ese porcentaje fue del 78%.

La eficacia del mulch de paja fue muy alta, con un promedio del 92%, superando en todos los casos el 80%, para una cantidad aplicada de 2,5 a 3,5 t/ha (en peso húmedo). Las rachas de viento pueden afectar a la cobertura del mulch de paja, reduciéndola. Esto implica desde el punto de vista práctico que en lugares ventosos la eficiencia de este tratamiento puede disminuir. Este efecto puede aminorarse utilizando mayor cantidad de mulch y combinando ese tratamiento con otros.

También fue muy elevada la eficacia obtenida con mulch de cortera desfibrada de eucalipto, un 84% de media, aunque en este caso la cantidad utilizada fue mucho mayor 11t/ha (en peso seco) y tuvo que efectuarse a mano.

La severidad del fuego en el suelo y el diámetro medio de los agregados fueron factores moduladores del efecto reductor del mulching de paja en las zonas costeras, bajo una mayor precipitación, y sobre suelos desarrollados en sustratos graníticos y similares. Ambas variables actuaron sobre la cantidad de suelo perdido en los sitios tratados con mulch, disminuyendo su eficacia cuando la severidad era mayor y el tamaño de los agregados más reducido.

La cobertura de la vegetación el primer año siguiente al incendio no ayudó a reducir la erosión generada en ese período.

El tratamiento de mulching no afectó a la cobertura de la vegetación. Tras el primer año del incendio fue, como promedio, 67% en los sitios sin tratar y 69% en los sitios semejantes tratados con mulch. Tampoco en el segundo año siguiente al fuego, con 99% y 102%, respectivamente.

Se comprobó que la capa de hojarasca creada por la hoja desprendida del arbolado con las copas soflamadas es sumamente eficaz en el control de la erosión siguiente al incendio. También que el mulch de paja proporcionó una protección similar.

En las masas afectadas por fuegos de copa, la aplicación del mulch inmediatamente después del incendio tuvo un efecto muy positivo para reducir el impacto de la corta y saca del arbolado quemado. Más aún, la ausencia de corta en esas masas, sin aplicar medidas de protección del suelo, genera una erosión equivalente a la causada por la corta. Esto señala áreas de prioridad para efectuar tratamientos.

MAS INFORMACION...

Fernández, C.; Vega, J.A. 2016. Effects of mulching and post-fire salvage logging on soil erosion and vegetative regrowth in NW Spain. *Forest Ecology and Management*. 375: 46-54.

Fernández, C.; Vega, J.A.; Fontúrbel, T. 2016. Reducing post-fire soil erosion from the air: Performance of heli-mulching in a mountainous area on the coast of NW Spain. *Catena*. 147: 489-495.

Fernández, C.; Vega, J.A.; Fontúrbel, T. 2017. Aplicación de helimulching para reducir la erosión post-incendio en Galicia. VII Congreso Forestal Español. Plasencia.

CONCLUSIONES GENERALES

En las líneas anteriores se han descrito los principales resultados obtenidos en trabajos destinados a evaluar la eficacia de diferentes tratamientos de mitigación del riesgo erosivo post-incendio, desarrollados por el Centro de Investigación Forestal de Lourizán. Como se ha indicado, esos estudios se realizaron en etapas diferentes, y tuvieron enfoques distintos aunque complementarios. La primera etapa estuvo orientada principalmente a testar la idoneidad de diferentes tratamientos en las condiciones ambientales gallegas y la segunda a monitorizar la eficacia de los tratamientos de mulching realizados por la Administración forestal a una escala operativa mayor. Tras los resultados se han presentado para cada etapa, unas conclusiones parciales con los aspectos más destacables desde el punto de vista práctico.

A continuación se ofrecen unas conclusiones de conjunto.

- Las mediciones de suelo perdido tras incendio confirman la conveniencia de realizar acciones de mitigación del riesgo erosivo subsiguiente al fuego. Esta es la primera vez que se dispone de un conjunto de datos de este tamaño sobre la erosión generada tras incendios y fuegos de diferente severidad en Galicia y medida in situ y a escala de ladera. Como promedio, la erosión producida supuso unas 24t/ha de suelo perdido en el primer año y 4,8 t/ha en el segundo. Esas cifras representan un elevado potencial de degradación y pérdida de un capital natural no renovable, clave en el ecosistema afectado y en su productividad futura. También indican un alto riesgo de incrementar la carga sólida en cursos de agua, con el correspondiente efecto asociado para su calidad y la capacidad de generar consecuencias adversas fuera del área quemada.

Dado que los estudios efectuados mostraron que en los seis meses primeros tras el incendio se pierde, como promedio, entre el 70 y 90% del suelo erosionado el primer año después del fuego, se demuestra la necesidad de actuar con urgencia mediante tratamientos de estabilización.

En los sitios en los que el suelo quemado queda sin protección después del incendio las variables que mejor explicaron la erosión el primer año tras incendio fueron la severidad del fuego en el suelo, estimada a través de un sistema basado en sencillos indicadores, desarrollado en el CIF-Lourizán, y la precipitación anual. Esto confirma la validez del modelo de predicción de erosión previamente obtenido para Galicia por Fernández y Vega (2016).

Una consecuencia inmediata de lo anterior es que las zonas forestales de Galicia que reciben mayor precipitación son también las sometidas a un mayor riesgo erosivo, a igualdad de severidad del fuego. Al mismo tiempo, subraya la necesidad de contar con un sistema de evaluación rápida de la severidad del fuego en el suelo.

-La recuperación de la cobertura de la vegetación durante el primer año post-incendio, en lugares afectados por fuego de copa o en matorrales, no contribuyó a limitar la cantidad de suelo perdido en ese período. Esto no debería entenderse como una ausencia absoluta de contribución de la vegetación quemada en la mitigación la erosión.. Al margen de otras consideraciones ligadas al papel de las partes subterráneas de la vegetación quemada para la estabilidad de las laderas frente al deslizamiento y movimiento en masa, hay que recordar que la vegetación surgida a partir de la primavera siguiente al incendio ayuda activamente a reducir la erosión subsiguiente. Sin embargo, en conjunto, dada su escasa cobertura aérea en los seis primeros meses (alrededor de un 20% de promedio), cuando casi toda la erosión del primer año post-fuego tiene lugar, no puede coadyuvar de forma efectiva al control de la erosión. El problema es que su cooperación a partir de la primavera siguiente al incendio(,) llega tarde, cuando la mayor parte precipitación de ese año ya ha ocurrido. Esta es la razón de por qué la siembra de gramíneas y leguminosas es muy poco eficaz para reducir la erosión post-incendio en las condiciones de Galicia.

-La cobertura de la vegetación alcanzada al año siguiente del fuego estuvo significativamente influenciada de forma negativa por la severidad del fuego en el suelo.

-La eficacia del mulching depende principalmente del porcentaje de cobertura del suelo logrado con la aplicación del material correspondiente. De todas formas es preciso asegurar una cubierta inicial que supere el 80%. Para ello se requiere una cantidad por encima de 2,5 t/ha. Si se usan valores inferiores a esa cantidad, su eficacia disminuye notablemente, especialmente con alta precipitación y en lugares muy ventosos.

-El mulch de paja presentó ventajas indudables frente al de corteza, no tanto en términos de eficacia (algo menor) como de eficiencia, debido a unos mayores costes de transporte y sobre todo de aplicación. Esta diferencia crece cuando comparamos el tratamiento aéreo de paja con la aplicación manual de la corteza en tierra. Por otra parte, el triturado in situ del arbolado quemado no comercial se

presenta como una alternativa prometedora en determinadas zonas y está sujeta a seguimiento actualmente.

-Se detectó una influencia positiva del mulching sobre la recuperación de la cobertura vegetal en los sitios del interior de Galicia. Es probable que el mulch proporcionara un microclima más favorable al desarrollo vegetal. Por su parte, una alta severidad del fuego en el suelo propició un retraso de la recuperación de las partes aéreas de las plantas.

-No se detectó que la aplicación del mulch de paja se tradujera en un aumento persistente de especies alóctonas. Cuando se observó fue un fenómeno transitorio, posiblemente debido a la fuerte competencia de las plantas rebrotadoras autóctonas que cubrieron además el espacio con prontitud.

-Se confirmó la eficacia de la hojarasca creada por la hoja desprendida del arbolado con las copas soflamadas en el control de la erosión siguiente al incendio, siempre que su cobertura del suelo quemado sea la adecuada. Su eficacia fue similar al logrado con 3-3,5 t/ha del mulching de paja agrícola.

-Los primeros resultados obtenidos sobre el efecto del mulching para reducir el impacto de la corta y saca de la madera quemada muestran que el aprovechamiento del arbolado afectado precisa ser compatibilizado con la mitigación del riesgo erosivo post-incendio. Más concretamente, en las cortas efectuadas en masas afectadas por fuego de copas se necesitan tratamientos de mulching para evitar importantes pérdidas de suelo.

REFLEXIONES FINALES

La información resumida en este trabajo muestra como los resultados de la investigación aplicada han podido ofrecer soluciones para la mitigación de una de las consecuencias más negativas de los incendios forestales. Posiblemente estos datos puedan servir también para orientar acciones en áreas con similares condiciones. Es claro que el riesgo erosivo-hidrológico activado por el incendio forestal tiene una fuerte dependencia meteorológica y por tanto, incluye una alta dosis de incertidumbre. Además ante eventos meteorológicos extremos la capacidad humana de reducción de sus impactos es hoy día limitada. Sin embargo, en la gran mayoría de las situaciones comunes las posibles consecuencias de esos riesgos son suficientemente graves como para requerir una respuesta paliativa urgente que, como se ha visto, puede ser eficaz.

Como se ha indicado a lo largo de las líneas anteriores, la monitorización de los tratamientos efectuados constituye no solo una etapa clave dentro de la planificación y ejecución de actuaciones urgentes de mitigación del riesgo hidrológico erosivo. Es una oportunidad especial de aumentar nuestro conocimiento de los procesos erosivos en su entorno natural y así poder mejorar las actuaciones futuras que tratan de limitar su impacto.

Compatibilizar el aprovechamiento del arbolado quemado con la protección del suelo es un fuerte reto y, dada la importancia de los recursos forestales en Galicia, constituye un objetivo clave en el que se continúa actualmente trabajando.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se ha realizado en el marco del proyecto PLURIFOR (SOE1/P4/F0112) del programa Interreg-Sudoe de la Unión Europea.

Muchas personas han contribuido de diferente manera para poder recoger la información obtenida en este trabajo. No hubiera sido posible sin el esfuerzo y la dedicación del personal del Departamento de Protección Forestal del Centro de Investigación Forestal de Lourizán, en particular de José Gómez, Jesús Pardo, Emilia Puga, José Ramón González y Antonio Arellano.

Centro de Investigación Forestal
LOURIZÁN

