

COMPORTAMIENTO DEL FUEGO, INTENSIDAD Y EFECTOS SOBRE EL SUELO EN QUEMAS CONTROLADAS DE MATORRAL VALENCIANO EN VERANO Y EN OTOÑO

M^a José Molina & Josep V. Llinares

Centro de Investigaciones sobre Desertificación -CIDE (CSIC-Universidad Valencia-Generalitat Valenciana). Camí de la Marjal s/n 46470 Albal, Valencia. Telf.: 96 1260126; Fax: 96 1270967
E-mail: maria.j.molina@uv.es

RESUMEN

A través de fuegos experimentales realizados en verano y en otoño en dos zonas representativas de la Comunidad Valenciana se han determinado las relaciones entre parámetros del fuego como la velocidad de propagación y la duración de la llama, la temperatura y la humedad del aire, del suelo y la vegetación, los parámetros del combustible como son la cantidad y la estructura, y la elevación de la temperatura y su duración en el suelo. La intensidad del fuego, medida a través de estas dos últimas, aumenta al aumentar la temperatura y la sequedad del aire, al aumentar la sequedad del suelo y la vegetación, al aumentar la carga de combustible vegetal, al aumentar su continuidad espacial y al reducirse la heterogeneidad de la estructura del combustible.

En fuegos de otoño la temperatura máxima y la duración del calor en el suelo se reducen entre 5 y 7 veces respecto a los fuegos de verano. Esta reducción de la intensidad induce una reducción de la severidad del fuego en el suelo y en la vegetación comparada con la severidad de los efectos ocasionados por los fuegos de verano.

Tras fuegos de verano en matorrales con carga de combustible entre 2 y 4 kg m⁻² y dis-

tribución espacialmente continua, la superficie del suelo alcanza temperaturas máximas cuyas medias oscilan entre 420 y 537 °C. Temperaturas superiores a 100°C se mantienen en el suelo durante 17 y 36 minutos respectivamente. Este gradiente de intensidad se manifiesta en la severidad de los efectos en el suelo, de modo que aumenta la mineralización de la materia orgánica y la degradación de la estructura del suelo. Ambos inducen un aumento de la erosionabilidad del suelo, un descenso de su capacidad para almacenar agua y un aumento de la escorrentía y de la exportación de nutrientes fuera de las laderas que es proporcional a la intensidad.

Tras fuegos de otoño en matorrales con carga de combustible entre 2 y 4 kg m⁻², la superficie del suelo alcanza temperaturas máximas cuyas medias oscilan entre 151 y 245 °C. Temperaturas superiores a 100°C se mantienen durante 2.6 y 5 minutos respectivamente. La mineralización de la materia orgánica y la degradación de la estructura del suelo se reducen respecto a los fuegos de verano. A pesar de ello, el suelo afectado por el fuego de otoño es más erosionable que el suelo no afectado por el fuego. Este aumento de la erosionabilidad puede ocasionar pérdidas importantes de suelo y nutrientes dependiendo de la intensidad de las lluvias poste-

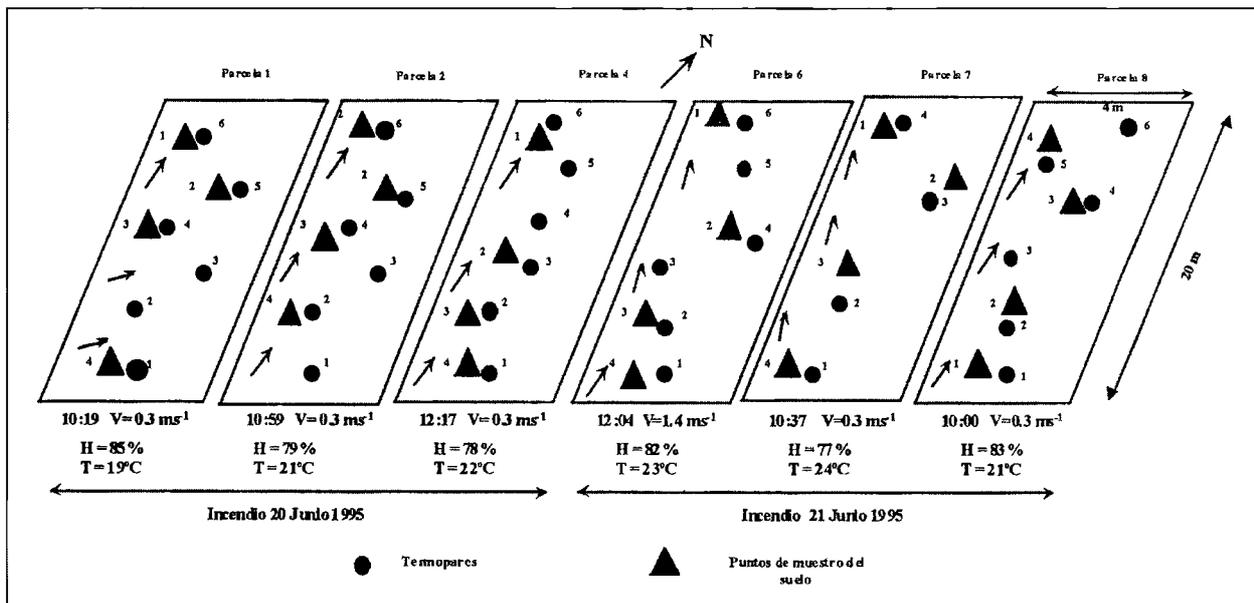


Fig. 1.- Esquema del diseño experimental en los fuegos de verano de La Concordia

riores al fuego y de la topografía de la zona. Sólo en aquellas zonas donde éstas últimas impidan la exportación neta de suelo y nutrientes los fuegos prescritos de otoño no ocasionaran reducción importante de la productividad del suelo y ello disminuirá también la pérdida de productividad de la vegetación y los posibles riesgos de contaminación de aguas y suelo de otros lugares próximos a ellos.

INTRODUCCIÓN

Como resultado de los cambios en el uso del territorio, los montes de la Comunidad Valenciana están afectados por intensos, extensos y frecuentes incendios.

En el marco de dos proyectos europeos un equipo de investigadores del CSIC en Valencia hemos realizado quemas experimentales de matorral en dos zonas forestales (La Concordia y Portacoeli) similares en cuanto a clima, suelo, tipo y edad del matorral. En la primera zona, las quemas se realizaron en Junio de 1995 y, en la segunda, en Diciembre de 1996.

El objetivo de la comunicación es dar a conocer los resultados obtenidos en cuanto al

comportamiento del fuego, los niveles de intensidad medidos en el suelo y los efectos en sus propiedades.

Desde el punto de vista de la aplicabilidad de estos resultados en la gestión forestal la presentación de resultados se centrará en tres aspectos:

- 1) La relación entre la velocidad de propagación del fuego y de su variabilidad, la carga y la estructura del combustible
- 2) La comparación de la intensidad del fuego en una época de "alto riesgo" (verano) y en otra de "bajo riesgo" (otoño) y de sus efectos en el suelo después de la primeras lluvias posteriores al fuego, especialmente en las propiedades que influyen en su erosionabilidad y en su régimen hídrico.
- 3) Las implicaciones ecológicas de estos cambios en la dinámica de los procesos suelo-vegetación-erosión

MATERIAL Y MÉTODOS

Fuegos de verano en La Concordia

En la zona de experimentación de la

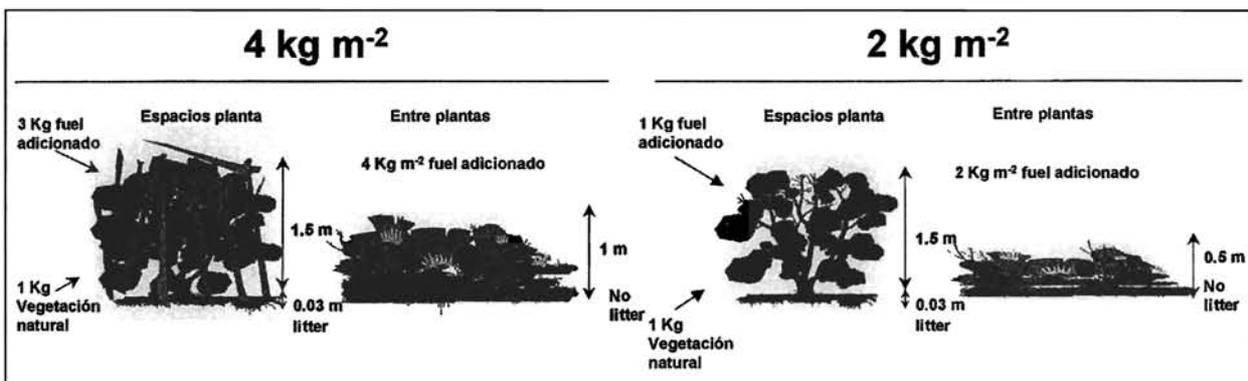


Fig. 2.- Esquema de la cantidad de combustible y de su estructura en los fuegos experimentales de verano en la Concordia

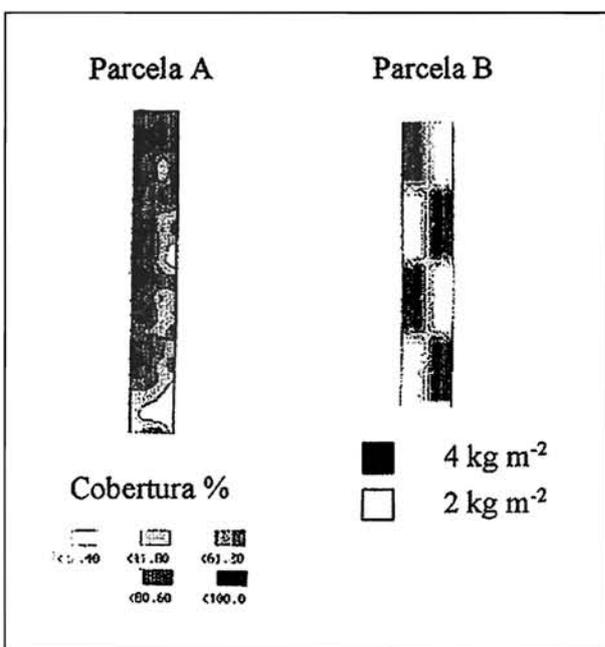


Fig. 3.- Esquema de la distribución espacial del combustible en los fuegos experimentales de otoño en Portacoeli. Parcela A: Vegetación natural. Parcela B: Combustible añadido.

Concordia (39° 45' N, 0° 43' O) se eligió una ladera con orientación SO y pendiente entre 30 y 40%. El suelo es poco profundo (30-40 cm), pedregoso, del tipo Leptosol rendzínico (FAO, 1988), formado sobre calizas del Jurásico. El matorral (desarrollado tras un incendio de agosto de 1978), está dominado por el romero (*Rosmarinus officinalis*) y la aliaga (*Ulex parviflorus*). Su distribución, a escala de parcela, es espacialmente heterogénea, de modo que hay un 50% de la superfi-

cie del suelo ocupado por el matorral y la hojarasca que éste incorpora a la superficie del suelo y, en conjunto, poseen una cantidad de biomasa seca de 1kg m⁻². El 50% restante está ocupado por fragmentos rocosos y especies herbáceas y leñosas de poco porte que no aportan prácticamente hojarasca a la superficie del suelo y cuya carga de biomasa es prácticamente inapreciable.

En la zona se delimitaron 9 parcelas de 20 m de largo por 4 m de ancho a las que se asignó al azar tres tratamientos. Tres parcelas se tomaron como control (no incendiado). A tres parcelas se les añadió biomasa seca hasta conseguir una carga de combustible espacialmente continua de 4 kg m⁻². A este tratamiento lo llamamos "Fuego Intenso". A las otras tres parcelas se les añadió biomasa seca hasta conseguir una carga de combustible espacialmente continua de 2 kg m⁻² pero de estructura vertical más heterogénea que la anterior. A este tratamiento lo llamamos "Fuego Moderado". Un esquema del diseño experimental puede verse en la Figura 1. Un esquema de la heterogeneidad de la estructura del combustible en ambos tratamientos puede verse en la Figura 2.

Fuegos de otoño en Portacoeli

En el área de Portacoeli (39° 40' N, 0° 29' O) se eligió una ladera con orientación SO, perfil cóncavo-convexo y pendiente media del 20%. El suelo es similar al de La Concordia, aunque desarrollado sobre con-

Tabla 1.- Velocidad de propagación y duración de la llama en fuegos de verano y otoño en función de la carga y estructura del combustible, las condiciones meteorológicas y el estado de humedad del suelo y la vegetación

Zona	Época	Humedad del suelo y vegetación	Combustible (kg m ⁻²)	Estructura horizontal	Estructura vertical	Condiciones Meteorológicas			Veloc. Propaga. (m.s ⁻¹)	Duración llama (min)
						Humedad %	Temperatura (°C)	Velocidad viento (m.s ⁻¹)		
La Concordia	Junio 95	Secos	4	Continua	+ homogénea (1-1.5 m)	82±3.6	20.7±1.5	0.3	0.145±0.073	4.76±2.03
		Secos	2	Continua	+ heterogénea (0.5-1.5 m)	79.3±2.5	22.7±1.5	1±0.6	0.212±0.034	1.40±0.46
Portacoeli	Dici. 96	Suelo húmedo Fuel seco*	2-4	Continua	+ homogénea (0-1 m)	55	9.3	1.4 (SE)	0.165±0.174	2.84±1.65
		Húmedos	2	Discontinua	+ heterogénea (0 - 1.5 m)	47	9.3	1.4 (direc. variable)	0.049±0.024	1.44±0.80

* aunque cierta condensación de humedad ambiental de la noche anterior

glomerados del Muschelkalk. La composición, la edad del matorral, su distribución espacial y la carga media de combustible vegetal también son similares. Un esquema de la distribución espacial del matorral puede verse en la Figura 3.

Se realizó un fuego experimental en Diciembre de 1996 en una parcela de 40 m de largo por 8 de ancho, sin adición previa de combustible (Parcela A).

En otra parcela de 16 m de largo por 8 de ancho (Parcela B) cuya vegetación de partida estaba constituida por herbáceas y leñosas sufruticosas de bajo porte y escasa biomasa, se añadió biomasa seca en cantidad y distribución espacial también indicadas en la Figura 3. El fuego se realizó el mismo día que en la anterior.

RESULTADOS

Relación entre la velocidad de propagación del fuego, la duración de la llama, y la carga y la estructura del combustible en los experimentos de fuego de verano y otoño

En la Tabla 1 puede observarse que, para

condiciones meteorológicas similares, la velocidad media de propagación en los fuegos de verano tiende a disminuir al aumentar la carga de combustible. Sin embargo, su variabilidad tiende a aumentar.

Al descenso de la velocidad de propagación le acompaña un aumento de la duración de la llama pero también un aumento de su variabilidad.

El aumento de la duración de la llama está de acuerdo con el descenso de la velocidad de propagación si se tiene en cuenta que el tiempo necesario para la combustión del fuel aumenta al incrementarse la carga de biomasa seca y ello retrasa la propagación de la llama.

Es esperable que una estructura vertical más homogénea, como es el caso de las parcelas con 4 kg m⁻², indujera un descenso de la variabilidad en la velocidad de propagación. Sin embargo ocurre lo contrario. La razón hay que buscarla en la variabilidad de la duración de la llama.

Una menor velocidad de propagación y una mayor duración de la llama en los fuegos de matorral con 4 kg m⁻² respecto a los de 2 kg m⁻² indican que el tiempo de residencia del fuego en los primeros debe ser mayor, y, por

Tabla 2.- Comparación de la intensidad de los fuegos de verano y otoño y de sus efectos en las propiedades del suelo después de las primeras lluvias posteriores al incendio

Zona	Época	Combustible (kg m ⁻²)	Temperatura Max. (°C)	Duración t >100°C (min.)	Nº muestra Periodo	Materia Orgánica %	Nitrógeno mineral (mg/100g)	Fósforo asimilable (mg/100g)	Macro+ microa-gregados(%)	Agua a capacidad de campo
La Concordia	Verano	4	537	36	12 Antes	8.8	3.2	2.1	82.7	44.9
					12 Después	7.8	5.87	13	82.1	39.9
		2	420	17	12 Antes	8.8	3.2	2.1	82.7	44.9
					12 Después	9.2	4.4	5.4	80.3	45.8
Portacoeli	Otoño	2-4	245.3	5.0	10 Antes	7.8	1.9	0.9	81.9	26.3
					10 Después	7.6	3.4	4.3	81.4	27.2
		2	150.9	2.6	10 Antes	7.8	1.5	0.8	73.8	25.9
					10 Después	8.3	2.8	1.9	66.3	28.7

lo tanto, mayor su severidad en la parte aérea de la vegetación y en el suelo.

En la parte inferior de la Tabla 1 puede observarse que en el fuego de otoño, para fuegos de matorral espacialmente continuo y carga de combustible entre 2 y 4 kg m⁻² si éste está formado por biomasa seca muerta, se alcanza una velocidad de propagación media y una duración de la llama que está entre las que se alcanzan para fuegos de entre 2 y 4 kg m⁻² de combustible en condiciones meteorológicas de verano. Sin embargo, la variabilidad de estos dos parámetros (velocidad de propagación y duración de la llama) en el fuego de otoño es mucho mayor, lo que significa que habrá zonas en las que el tiempo de residencia podrá ser grande (efectos más severos) pero también otras en las que éste será menor y también menores sus efectos.

En el caso de la parcela con 2 kg m⁻² de vegetación natural con estructura y distribución espacial heterogénea, quemada en condiciones de otoño, la velocidad de propagación se reduce 4 veces respecto a la de fuegos de verano con la misma carga media de combustible. La duración media de la llama es similar pero su variabilidad es mucho mayor.

La reducción de la velocidad de propagación y el aumento de la variabilidad en la duración de la llama son debidos, por un lado, a la heterogeneidad de la estructura vertical y horizontal de la vegetación, y por otro, al contenido de humedad del suelo y de la vegetación en la época de otoño.

Comparación de la intensidad del fuego en una época de “alto riesgo” (verano) y en otra de “bajo riesgo” (otoño) y sus efectos en el suelo después de las primeras lluvias, especialmente en las propiedades que influyen en su erosionabilidad y en su régimen hídrico.

En la Tabla 2 puede observarse que al aumentar la carga de combustible aumentan la temperatura máxima y la duración del calor en el suelo. Esto ocurre tanto en los fuegos de verano como en los de otoño.

La temperatura máxima alcanzada en el suelo en los fuegos de otoño se reduce a la mitad de la alcanzada en los fuegos de verano. La duración de temperaturas >100° C se reduce entre 5 y 7 veces.

Los efectos en el suelo son proporcionales

a la temperatura máxima y a la duración del calor. El contenido de materia orgánica no experimenta grandes cambios, puesto que la consumición de la materia orgánica del suelo es compensada por la entrada de cenizas procedente de la combustión de la vegetación. No obstante, después de las primeras lluvias, tiende a disminuir cuando la temperatura máxima registrada en la superficie del suelo supera los 500°C.

La mineralización de la materia orgánica y su correspondiente incorporación al suelo aumenta los contenidos de nitrógeno mineral y de fósforo asimilable. Este aumento es proporcional a la intensidad del fuego. Los contenidos de fósforo asimilable se mantienen altos después de las primeras lluvias. Sin embargo gran proporción de nitrógeno mineral es arrastrado por la acción de la escorrentía en el suelo afectado por temperaturas mayores que 420°C. Esta exportación de nitrógeno mineral fuera de las laderas supone una pérdida de nutrientes en el suelo afectado por el fuego pero también un aumento de salinidad del suelo y el agua en los lugares de destino.

Respecto de la agregación, sólo se observa un descenso considerable tras las primeras lluvias cuando la temperatura máxima alcanza los 150°C. La desagregación va siendo compensada por la reagregación inducida por el calor al aumentar la temperatura en el rango de 150 a 420°C. Hasta los 420°C este proceso no altera la capacidad de retención de agua, que se ve incluso mejorada con la incorporación de cenizas al suelo. Sin embargo, la reagregación de la arcilla cuando la temperatura máxima es superior a 420°C induce a una pérdida de sus propiedades coloidales que se traduce en un descenso de la capacidad del suelo para retener el agua.

Implicaciones ecológicas de estos cambios en la dinámica de los procesos suelo - vegetación - erosión

La temperatura máxima y la duración del calor en el suelo aumentan con la carga de combustible y la homogeneidad de su estructura. En fuegos de otoño la temperatura

máxima y la duración del calor en el suelo se reducen entre 5 y 7 veces respecto a los fuegos de verano. Ello significa mayor impacto en el suelo y en la vegetación tras los fuegos de matorral denso que ocurren en verano. Sin embargo, en fuegos de verano, al disminuir la carga de combustible y aumentar la heterogeneidad de la estructura se reduce la temperatura y la duración del calor y su variabilidad aumenta, lo que significa que habrá posiciones más afectadas y otras posiciones donde la intensidad será menor, la degradación también menor y la regeneración más favorable.

Tras el fuego intenso, los contenidos de materia orgánica se reducen. Su variabilidad también se reduce. La reducción de materia orgánica y la paralela reducción de su variabilidad significa una homogeneización de la degradación inducida por el fuego (mayor mineralización) y por la erosión post-incendio (lavado, redistribución y exportación de cenizas fuera de la ladera).

El aumento de los contenidos medios de nitrógeno y fósforo asimilable y de su variabilidad suponen, en principio, mayores posibilidades para más especies, o lo que es lo mismo, mayor diversidad después del fuego. Pero también supone más competencia entre especies. A largo plazo, se establecerán aquellas que tengan mejores estrategias para acaparar este recurso, teniendo en cuenta que son nutrientes muy móviles y arrastrables por escorrentía y erosión, lo que se puede traducir, a largo plazo, en una pérdida de dicha diversidad.

La estructura del suelo se altera proporcionalmente a la intensidad. En fuegos intensos se alteran las propiedades coloidales de la arcilla y la capacidad del suelo para retener agua disminuye mientras que dicha capacidad aumenta en el caso de los fuegos de intensidad moderada y baja. El descenso de la capacidad del suelo para retener agua tras el fuego intenso indica, por un lado, la generación de más escorrentía, y, por lo tanto mayor degradación por erosión, y por otro lado, una menor disponibilidad hídrica para las especies colonizadoras después del fuego. La interacción de ambos inducirá mecanismos de competencia entre erosión y vegeta-

ción que podrán manifestarse de forma diversa (selección de ciertas especies, menores tasas de germinación, menor crecimiento, mayor mortalidad etc.).

La desagregación inducida por el fuego de intensidad baja y moderada aumenta la erosionabilidad del suelo, ya que la consumición de los restos vegetales que unen a los agregados de mayor tamaño induce a un descenso de ellos con el consiguiente aumento de agregados más pequeños que, por su tamaño, son más susceptibles de ser movilizados por el impacto de la gota de lluvia y por la escorrentía. En el caso del fuego intenso también se produce la desagregación por consumición de materia orgánica. Esta es consumida totalmente pero, paralelamente, los componentes minerales se “reagregan” por efecto de la alta temperatura y su duración. Esta reagregación es un proceso físico que conduce a una cementación de estos componentes y a la pérdida de sus propiedades coloidales. En este estado los agregados del suelo no pueden retener el agua y son movilizados como un todo por la acción erosiva de la lluvia.

CONCLUSIONES

A través de los fuegos experimentales realizados se ha reconocido que la intensidad del fuego, y por tanto su severidad, aumentan al aumentar la temperatura del aire y la sequedad del suelo y la vegetación, al aumentar la carga de combustible vegetal, al aumentar su continuidad espacial y al reducirse la heterogeneidad de la estructura del combustible.

La velocidad de propagación del fuego, los niveles de intensidad y la severidad de sus efectos en el suelo tras fuegos de verano en comunidades de matorral mediterráneo especialmente continuas con carga de combustible superior a 2 kg m⁻² y estructura homogénea sugieren la necesidad de reducir la carga de combustible, de reducir la homogeneidad de la estructura de la vegetación y de reducir su continuidad espacial como estrategias para reducir los incendios intensos, extensos y recurrentes en estas formaciones por la

degradación que inducen sus efectos en los lugares donde se producen así como por sus efectos off-site.

Si los fuegos tienen lugar en otoño, la velocidad de propagación, los niveles de intensidad y la severidad de sus efectos se reducen. A diferencia de lo que ocurre en los fuegos intensos, el ecosistema conserva, a grandes rasgos, la misma variabilidad o “diversidad edáfica” previa al fuego, lo que facilita la regeneración del ecosistema. Sin embargo, el aumento de la susceptibilidad del suelo a la acción erosiva de la lluvia es generalizado y tanto más pronunciado cuanto mayor sea la intensidad. Sólo en aquellas zonas donde la agresividad climática y la topografía impidan la exportación neta de suelo y nutrientes los fuegos prescritos de otoño no ocasionaran una reducción importante de la productividad del suelo y ello disminuirá también la pérdida de productividad de la vegetación y los posibles riesgos de contaminación de aguas y suelo de otros lugares próximos a ellos, receptores de escorrentía y sedimentos procedentes de las primeras.

La utilización del fuego prescrito como herramienta para la gestión de los montes mediterráneos debe estar orientada no sólo a reducir el impacto ecológico de los fuegos intensos sino también a diversificar los usos del suelo en el medio rural, volviendo la vista hacia la cultura tradicional del fuego en el Mediterráneo como instrumento de gestión para la conservación de los recursos, su biodiversidad y su productividad a la vez que abra nuevas alternativas viables para el uso sostenible de dichos recursos.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se ha podido realizar gracias a la financiación de la CEE-DGXII en el marco de los proyectos EV5V-CT91-0017 y ENV4-CT95-0181 (ERMESII) y a la colaboración de la administración local, a la que agradecemos el apoyo humano, material o económico recibido para la realización de los fuegos experimentales.