



## EVOLUCIÓN DE LA COMPACTACIÓN SUPERFICIAL DEL SUELO TRAS UN INCENDIO EN FUNCIÓN DE LA EDAD DE ABANDONO DE ANTIGUOS CULTIVOS

*Post-fire dynamics of soil surface compaction in relation to the  
previous stage of land abandonment*

Joan Llovet López(1) & V. Ramón Vallejo Calzada(2)

(1) *Departamento de Ecología (CEAM), Ciencias Fase 5, Apartado 99, 03080 Alicante*

(2) *Fundación CEAM, C/Charles R. Darwin 14, Parque Tecnológico, 46980 Paterna, Valencia*

**Resumen:** El abandono de cultivos marginales es un fenómeno frecuente en la Europa mediterránea. Modifica las características del suelo, la composición y la estructura de la vegetación, e incrementa el riesgo de incendios forestales severos. En este trabajo se presentan los resultados de un seguimiento de la compactación de la superficie del suelo, abarcando 2 situaciones contrastadas de abandono (reciente y antiguo), afectadas o no por un incendio forestal. El área de estudio está situada al norte de la provincia de Alicante (Este de la Península Ibérica). Los resultados mostraron un incremento de la compactación superficial a corto plazo después del fuego, independientemente de la edad de abandono. A pesar de ello, los valores de compactación del suelo en las zonas de cultivos de abandono reciente regresaron con cierta rapidez a la situación previa al incendio. Por el contrario, los valores en zonas de abandono antiguo necesitaron mucho más tiempo para recuperar la situación previa, mostrando una mayor vulnerabilidad al fuego.

**Palabras clave:** Encostramiento del suelo, terrazas agrícolas, cambios en el uso del suelo, vulnerabilidad al fuego, ambientes mediterráneos

**Abstract:** The abandonment of agricultural landscapes has been a widespread phenomenon in European Mediterranean areas since the second half of the past century. Land abandonment promotes soil structuration and increases soil organic matter content, even though the abandoned lands are still affected by old degradation processes from cropping. In addition, old fields are often colonised by opportunistic plant species, giving way to fire-prone formations. This work presents a nine-year monitoring of soil surface compaction which includes unburned and burned areas and two stages of abandonment: (1) lands abandoned 8-15 years prior to fire and occupied by dry grassland with young *Pinus halepensis*, and (2) old fields (>35 years of abandonment) colonised by mature pine forest. The study area is located near the Guadalest reservoir (Alicante province, East of Spain). Soil surface compaction (0-1 cm mineral soil depth) was assessed by means of a cone penetrometer. Analysis of unburned areas showed that the pine forest always



Joan Llovet López & V. Ramón Vallejo Calzada (2010). Evolución de la compactación superficial del suelo tras un incendio en función de la edad de abandono de antiguos cultivos. *Rev. C. & G.*, 24 (3-4), 53-62.

presented lower values of soil surface compaction than the more recently abandoned fields. After burning, both stages of abandonment showed increased compaction during the first year, although their subsequent dynamics were quite different. In the recently abandoned fields, soil surface compaction values returned to those found on unburned plots in the short term. In contrast, burned pine forest showed higher values than unburned pine forest until the sixth year after the fire. These results indicate that old fields colonised by pine forest are more vulnerable to fire than recently abandoned fields in terms of soil compaction.

**Keywords:** Soil crusting, agricultural terraces, land use change, fire vulnerability, Mediterranean landscapes.

## 1. Introducción

Los incendios forestales tienen un impacto directo sobre las propiedades físicas, químicas y microbiológicas del suelo, especialmente en su superficie pero, además, modifican profundamente el recubrimiento de la vegetación y los horizontes orgánicos (Neary et al., 1999; Certini, 2005). En ambientes mediterráneos, la mayor parte de los incendios, y los más intensos, tienen lugar durante los periodos de sequía estival, mientras que en otoño se produce un elevado número de eventos torrenciales de origen convectivo con una distribución espacial heterogénea (Millán et al., 1995; De Luis, 2000). El impacto de la lluvia sobre el suelo desprotegido puede producir desagregación, sellado y encostramiento de su superficie. El grado de encostramiento y su dinámica temporal dependerán de la virulencia del incendio y de la cobertura del suelo tras la perturbación, de diversas características del suelo afectado por el fuego (especialmente las relacionadas con la estructura y su estabilidad), del régimen de precipitaciones posterior al fuego y de la respuesta de la vegetación. Entre las consecuencias del sellado y encostramiento del suelo, diversos autores han descrito alteraciones en el intercambio gaseoso, dificultades para la emergencia de plántulas y disminuciones significativas de la infiltración (Marshall y Holmes, 1988; Ramos et al., 2000).

Por otra parte, el crecimiento demográfico durante los siglos XVIII y XIX, así como la hambruna posterior a la Guerra Civil del siglo XX, dio lugar a un gran incremento en España de la necesidad de tierras agrícolas para dedicarlas a la producción de alimentos. Este fenómeno supuso el laboreo de laderas de montaña hasta cotas altas,

que en el caso de poseer una pendiente elevada comportaron la construcción de terrazas (Rodríguez-Aizpeolea y Lasanta-Martínez, 1992; Padilla, 1998; Bellin et al., 2009). En las últimas décadas ha habido una notable recesión de la superficie dedicada a la agricultura en la Europa mediterránea, afectando principalmente a las zonas de montaña y especialmente a las laderas aterrazadas, que presentan grandes limitaciones para la mecanización y el regadío (Margaris et al., 1996; Hernández-Hernández, 1997; García-Ruiz, 2010). Aunque muchas de las características del suelo generadas por su uso agrícola persisten en el tiempo, el abandono de estas actividades da lugar a sucesivos cambios en la materia orgánica, la estructura y la actividad biológica, entre otras propiedades (Martínez-Fernández et al., 1995; Kosmas et al., 2000; Dunjó et al., 2003). Asimismo, el abandono agrícola promueve cambios profundos en la composición y estructura de la vegetación (Barbero et al., 1990), incrementando notablemente su capacidad para proteger el suelo, pero aumentando también la acumulación de combustible y el riesgo de incendios forestales de gran magnitud (Pérez et al., 2003; Vallejo et al., 2005).

Las zonas de la Europa mediterránea con un ombroclima seco-subhúmedo pueden considerarse como especialmente proclives a sufrir procesos de desertificación relacionados con los cambios en el uso del suelo y los incendios forestales. Estas zonas han sufrido una explotación humana de los recursos desde la antigüedad, unos cambios rápidos y profundos en el uso del suelo, unos suelos con frecuencia poco estables, una gran tendencia a la acumulación de combustible al disminuir la presión humana, y un régimen de lluvias agresivo. Asimismo, los escenarios futuros de cambio climá-

tico indican un mayor riesgo de incendios forestales y un incremento en la concentración y agresividad de las precipitaciones.

La hipótesis planteada en este trabajo es que el estado de abandono de antiguas terrazas agrícolas, y como consecuencia la comunidad vegetal asociada, es un factor clave en la repuesta del suelo al fuego en términos de compactación superficial.

## 2. Área de estudio

La zona de estudio está situada en la solana de la Sierra de la Xortà, comarca de la Marina Baixa, al norte de la provincia de Alicante (Figura 1). Las coordenadas geográficas son 38°41'N, 0°12'O, quedando limitada por las cuadrículas UTM YH 743 4286 e YH 744 4285. La altitud oscila entre los 400 y los 500 m. Según la estación termo-pluviométrica de Callosa d'en Sarrià (38°39'N, 0°07'O, 247 m), la precipitación media anual es de 475 mm y la temperatura media anual 15,6 °C. La clasificación de Thornthwaite indica un clima semiárido, mesotérmico, con superávit hídrico en invierno escaso o nulo (Pérez-Cueva, 1994). Morfológica y

litoestratigráficamente, el área de estudio pertenece al anticlinal complejo de La Serrella, en el frente de cabalgamiento del Prebético interno de la Font Roja. La estratigrafía corresponde a Mioceno indiferenciado, predominantemente margoso (IGME, 1975). La topografía es abrupta, con pendientes medias y numerosos barrancos que vierten las aguas, sólo en caso de precipitaciones moderadas, al embalse de Guadalest. Según la clasificación de la Soil Taxonomy (Soil Survey Staff, 2006) los suelos dominantes son *Inceptisoles*, en concreto *Xerochrepts* (Ruíz de la Torre, 1996). Según la clasificación FAO (IUSS Working Group WRB, 2006), corresponden a *Cambisol calcáreo*. De todos modos, las profundas modificaciones debidas a la actividad agrícola han dado lugar a suelos tipo *Leptosol ántrico*.

Excepto las partes más escarpadas, donde afloran rocas calizas prácticamente desnudas, las laderas están ocupadas por terrazas agrícolas, en gran parte abandonadas. Debido a la gran fragmentación en la propiedad de la tierra, se intercalan situaciones contrastadas, desde áreas abandonadas hace décadas y ocupadas por pinar de *Pinus halepensis* de regeneración natural, con algunos casos de

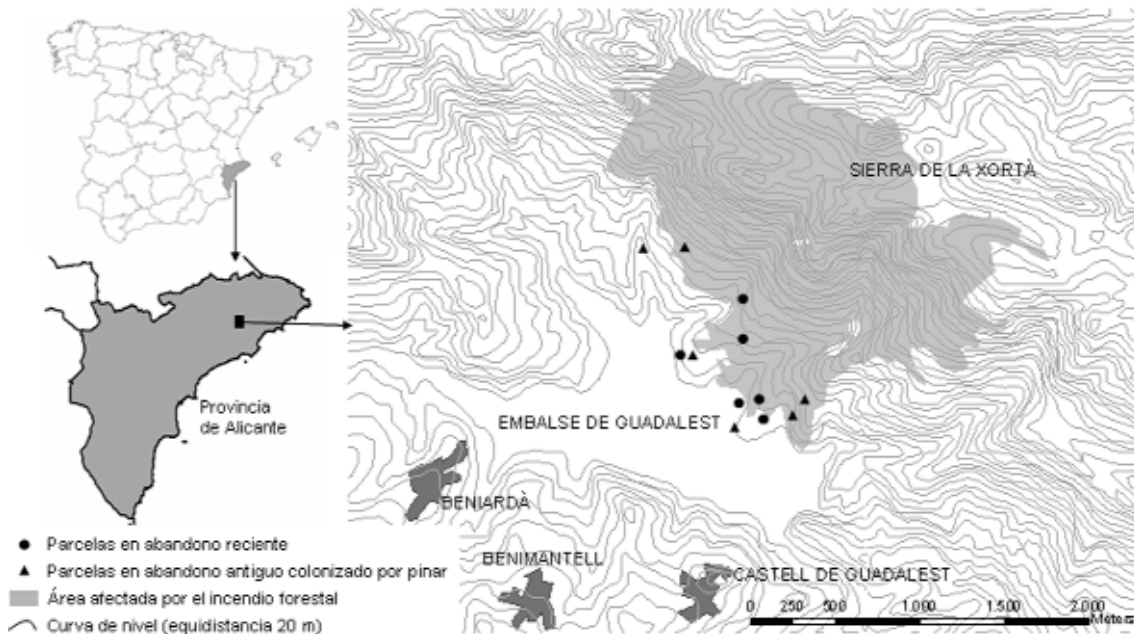


Figura 1. Localización y distribución de las parcelas experimentales.  
Figure 1. Location and arrangement of the experimental plots.

explotación maderera, hasta áreas cultivadas, básicamente de almendro, olivo y algarrobo, pasando por bancales yermos dominados por herbáceas, arbustos, pies residuales de frutales y pinos jóvenes (Figura 2). Las cubiertas vegetales y usos del suelo más frecuentes en las laderas aterrazadas son, por este orden, el bosque de pinar, las terrazas recién abandonadas y las terrazas cultivadas (López-Poma, 2004).

La zona de estudio pertenece a la serie de vegetación mesomediterránea manchega y basófila de *Quercus rotundifolia* o encina (*Bupleuro rigidi-Querceto rotundifoliae signetum*), en la faciación termófila murciano-manchega con *Pistacia lentiscus* (Rivas Martínez, 1987). La vegetación potencial corresponde a encinares, pero de esta especie tan sólo hay algunos ejemplares aislados, aunque bien desarrollados. Tal como se ha comentado anteriormente, la vegetación actual varía en función del estado de abandono de los cultivos. En los más antiguos, *Pinus halepensis*, el árbol dominan-

te, puede estar acompañado por individuos residuales de *Ceratonia siliqua* (algarrobo) y de *Olea europaea* (olivo). Estos pinares acostumbran a tener un estrato arbustivo denso, con *Rosmarinus officinalis*, *Erica multiflora*, *Rhamnus alaternus*, *Ulex parviflorus*, este último en estado senescente, entre otros. El estrato herbáceo está dominado por *Brachypodium retusum*. Los cultivos abandonados más recientemente mantienen pies vivos de olivo, algarrobo y almendro, y junto a ellos aparecen *Pinus halepensis* jóvenes. En estas situaciones, el estrato arbustivo tiende a estar poco desarrollado, mientras que el herbáceo cubre la práctica totalidad de la superficie. Además de la dominancia de *Brachypodium retusum*, destaca la diversidad de leguminosas.

El área de estudio fue parcialmente afectada por un incendio forestal los días 8 y 9 de agosto de 1998. Según datos del Servicio de Prevención de Incendios Forestales (Conselleria de Medio Ambiente, Agua, Urbanismo y Vivienda de la



Figura 2. Imagen de la zona de estudio donde se pueden distinguir los distintos estados de abandono y afectaciones del fuego considerados en este trabajo.

Figure 2. Image of the study area embracing different conditions of land abandonment, affected or not by the forest fire.

Generalitat Valenciana), la superficie quemada fue 170 ha, de las cuales 119 correspondieron a superficie rasa y las 51 restantes a arbolada.

### 3. Materiales y métodos

Inmediatamente después del incendio se realizaron varias prospecciones por la zona, con el fin de encontrar emplazamientos adecuados para las parcelas de este experimento. Debían de ser antiguos cultivos con 2 edades de abandono contrastadas, afectados y no afectados por el fuego, para dar lugar a un total de 4 categorías o combinaciones de estado de abandono e incidencia del fuego. Para clasificar las antiguas terrazas por edades de abandono, se entrevistó a agentes forestales, propietarios y antiguos trabajadores agrícolas. Teniendo en cuenta esta información, y considerando el nivel de desarrollo de las especies leñosas (Bonet y Pausas, 2004) y la edad de los pinos, se preseleccionaron terrazas que pudieron considerarse, con una garantía suficiente, como abandonadas 8-15 años atrás (abandono reciente) y >35 años atrás (abandono antiguo con pinar adulto). En la selección de las zonas a muestrear se primaron aquéllas que, perteneciendo a una misma categoría, quedasen intercaladas espacialmente con las de otras, con el fin de minimizar efectos asociados a las variaciones espaciales. Asimismo, se evitaron terrazas muy degradadas, cercanas a canales de drenaje, situadas en áreas de fuerte pendiente y aquéllas cuya distancia entre la base del talud y la terraza inferior fuese inferior a 3,5 m. Finalmente se seleccionaron 12 parcelas (3 para cada combinación de estado de abandono y fuego).

La compactación superficial se midió como resistencia a la penetración, mediante un penetrómetro de cono (Eijkelkamp Agrisearch Equipment, modelo 02.02) (Figura 3), a una profundidad de 0-1 cm del suelo mineral. En cada muestreo se tomaron 50 medidas por parcela, distribuidas en 5 puntos dispuestos linealmente a una distancia regular de 1 m. Los muestreos tuvieron lugar a los 3, 12, 24, 48, 59, 71, 83, 96 y 108 meses del incendio. Con el fin de minimizar el efecto de la humedad edáfica, se escogieron periodos secos.

Los resultados de resistencia a la penetración se analizaron mediante un test para medidas repetidas, con la edad de abandono y el fuego como factores inter-sujetos y el tiempo como factor intra-sujetos. Se comprobó la hipótesis de esfericidad de la matriz varianza-covarianza transformada y ortogonalizada (prueba de Mauchly). Cuando no pudo asumirse el supuesto de esfericidad, se corrigieron los grados de libertad mediante el estimador  $\epsilon$  de Greenhouse-Geisser, que es muy conservador (von Ende, 1993). Los análisis estadísticos se llevaron a cabo con el programa SPSS 16.0 para Windows.

### 4. Resultados y discusión

Las dos edades de abandono estudiadas mostraron diferencias en la compactación superficial (0-1 cm), estimada como resistencia a la penetración. Centrándonos en las parcelas no quemadas, los cultivos recientemente abandonados (Figura 4, izquierda) presentaron unos valores mayores que las antiguas terrazas ocupadas por pinar (Figura 4, derecha). En las parcelas de abandono reciente, las

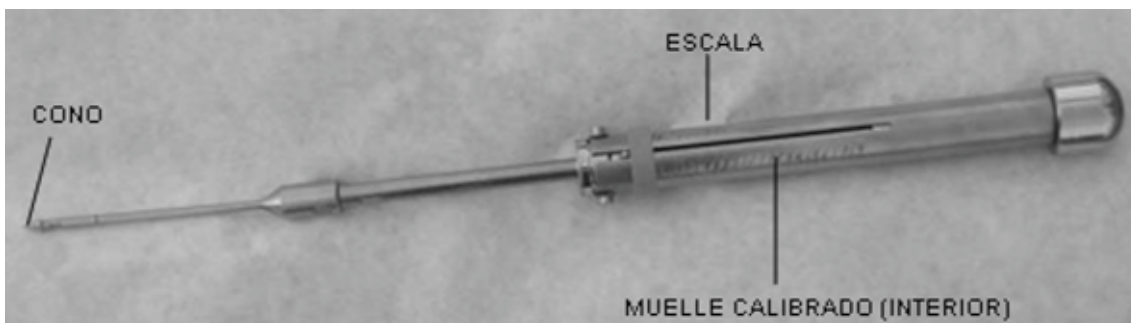


Figura 3. Penetrómetro de cono utilizado para estimar la compactación superficial.  
 Figure 3. Cone penetrometer used for the estimation of soil surface compaction in this study.

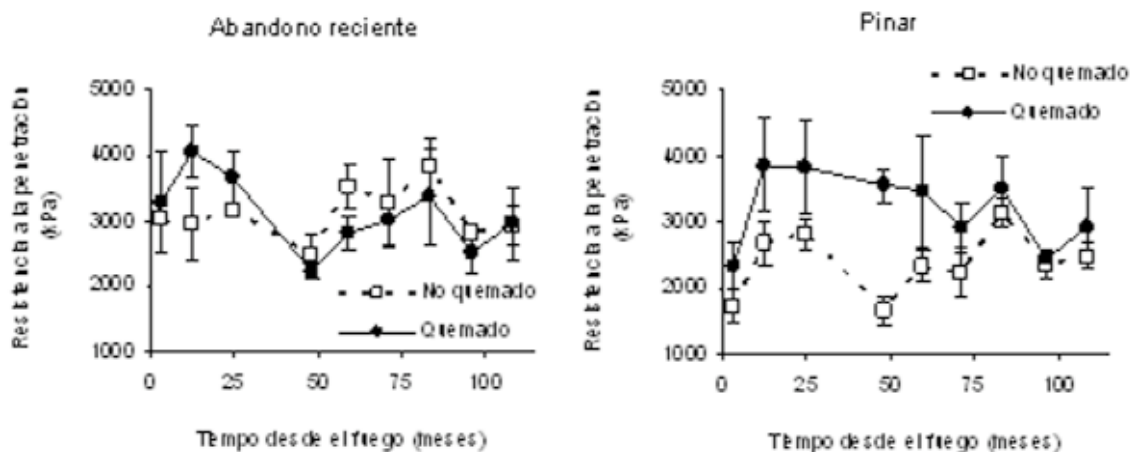


Figura 4. Dinámica temporal de la compactación superficial del suelo en cultivos de abandono reciente (izquierda) y en cultivos antiguamente abandonados y colonizados por un pinar (derecha). Valores medios y desviaciones estándar.

Figure 4. Temporal dynamics of soil surface compaction observed in recently abandoned fields (left) and in old lands colonised by pine forest (right). Mean values and standard deviations.

medias y desviaciones estándar oscilaron entre  $2493 \pm 294$  kPa (muestreo de agosto de 2002) y  $3812 \pm 442$  kPa (muestreo de julio de 2005) mientras que, considerando todo el periodo de estudio, fue de  $3107 \pm 392$  kPa. Por el contrario, el pinar no quemado presentó las menores resistencias a la penetración, siendo los valores extremos  $1642 \pm 204$  kPa (muestreo de agosto de 2002) y  $3129 \pm 213$  kPa (muestreo de julio de 2005), y un valor de  $2374 \pm 481$  kPa considerando la totalidad del periodo de estudio. La disminución de la compactación superficial con la edad de abandono coincidió con un paso de estructura laminar a poliédrica, así como con un incremento en la estabilidad estructural (Llovet, 2005).

En parcelas afectadas por el fuego, en todos los casos hubo un incremento entre los muestreos llevados a cabo a los 3 y a los 12 meses del fuego, pasando de  $3286 \pm 761$  kPa a  $4050 \pm 373$  kPa (abandonado) y de  $2325 \pm 368$  kPa a  $3861 \pm 719$  kPa (pinar). El encostramiento de la superficie en suelos margosos, a corto plazo después del fuego, ha sido descrito en otros trabajos, atribuyéndolo a la desagregación por el impacto de la lluvia sobre un suelo desprotegido (Llovet et al., 1996; Serrasolses et al., 2004). El año posterior al incendio fue especialmente seco, registrándose una precipitación total de 285 mm, un 40% menor a la media de la localidad de estudio. De todos modos, hubo algún

caso de tormenta intensa, como la producida 4 meses después del fuego, con una precipitación total de 56 mm y una intensidad máxima, durante 5 minutos, de  $24 \text{ mm h}^{-1}$ . Aunque no tenemos datos de recubrimiento del suelo en ese momento, cabe esperar que, a los 4 meses del incendio, el porcentaje de suelo desnudo fuese elevado. Considerando estimaciones realizadas por otros autores (González-Hidalgo et al., 1994; Salles et al., 2002), la energía cinética de la precipitación pudo ser suficiente como para producir desagregación, reorganización de las partículas y desarrollo de la costra superficial (Regües y Torri, 2002; Neave y Rayburg, 2007). Esto quedó reflejado en el incremento de la resistencia a la penetración, a lo largo del primer año, observado tanto en parcelas en abandono reciente como en parcelas en pinar.

El análisis de medidas repetidas en el tiempo mostró un efecto significativo del factor Fuego ( $F=8,855$ ,  $p=0,021$ ) y de la interacción Abandono POR Fuego ( $F=7,539$ ,  $p=0,029$ ) (Tabla 1). La interacción indicaría un efecto distinto del fuego según la edad de abandono y sugirió la conveniencia de analizar separadamente los resultados obtenidos en cultivos de abandono reciente de los antiguamente abandonados colonizados por un pinar. Para poder diferenciar el efecto del incendio en cada edad de abandono estudiada, se realizó un nuevo análisis de medidas repetidas en el tiempo, pero separando los

Tabla 1. Resultados del análisis de medidas repetidas en el tiempo para evaluar el efecto de la edad de abandono y el fuego en la dinámica temporal de la resistencia a la penetración.

*Table 1. Results of repeated-measures analysis used to test the effects of land abandonment and fire on temporal dynamics of soil surface compaction.*

<i>Inter-sujetos</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>F</i>	<i>p</i>
Edad de abandono	1	4,261	0,078
Fuego	1	8,855	0,021
Abandono x Fuego	1	7,539	0,029
<i>Intra-sujetos</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>F</i>	<i>p</i>
Tiempo	3,192	10,052	<0,001
Tiempo x Abandono	3,192	2,615	0,073
Tiempo x Fuego	3,192	3,757	0,023
Tiempo x Abandono x Fuego	3,192	2,632	0,072

cultivos recientemente abandonados de los antiguos cultivos ocupados por pinar.

En consonancia con la interacción Abandono x Fuego descrita en el párrafo anterior, la evolución temporal tras el fuego fue distinta en función de la edad de abandono. En el caso de parcelas de abandono reciente (Figura 4, izquierda), no hubo diferencias con las no quemadas a los 3 meses del incendio, la resistencia a la penetración fue mayor a los 12 y 24 meses del incendio y, a partir de ese momento, la evolución de las parcelas quemadas y

no quemadas fue similar. Esta respuesta se reflejó en una significación residual del factor Tiempo ( $F=4,777$ ,  $p=0,054$ ) y una falta de significación del factor Fuego ( $F=0,021$ ,  $p=0,893$ ) en las parcelas de abandono reciente (Tabla 2).

En el caso de los pinares (Figura 4, derecha), la resistencia a la penetración ya fue mayor en los quemados a los 3 meses del incendio. Además, durante el año posterior al incendio sus valores se incrementaron un 66% hasta alcanzar, e incluso superar, a los de las parcelas de abandono reciente.

Tabla 2. Resultados del análisis de medidas repetidas en el tiempo para evaluar el efecto del fuego en la dinámica temporal de la resistencia a la penetración en cultivos de abandono reciente.

*Table 2. Results of repeated-measures analysis used to test the effects of fire on temporal dynamics of soil surface compaction in recently abandoned fields.*

<i>Inter-sujetos</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>F</i>	<i>p</i>
Fuego	1	0,021	0,893
<i>Intra-sujetos</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>F</i>	<i>P</i>
Tiempo	2,087	4,777	0,054
Tiempo x Fuego	2,087	3,342	0,102

Tabla 3. Resultados del análisis de medidas repetidas en el tiempo para evaluar el efecto del fuego en la dinámica temporal de la resistencia a la penetración en antiguos cultivos colonizados por un pinar.

*Table 3. Results of repeated-measures analysis used to test the effects of fire on temporal dynamics of soil surface compaction in old fields colonised by pine forest.*

<i>Inter-sujetos</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>F</i>	<i>P</i>
Fuego	1	20,281	0,011
<i>Intra-sujetos</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>F</i>	<i>P</i>
Tiempo	2,110	8,275	0,010
Tiempo x Fuego	2,110	3,036	0,100

Estos valores tendieron a disminuir suavemente los años posteriores. De todos modos, tardaron 6 años en mostrar una dinámica semejante a las de las parcelas no quemadas. Esta respuesta quedó reflejada en un incremento significativo debido al factor Fuego ( $F=20,281$ ,  $p=0.011$ ), y una significación residual de la interacción Tiempo POR Fuego ( $F=3,036$ ,  $p=0,100$ ) (Tabla 3).

Los cambios estructurales en los pinares quemados no ayudaron a explicar el notable incremento de la compactación superficial a corto plazo después del fuego, y menos aún el mayor tiempo necesario para volver a la dinámica de los pinares no quemados. Si bien el fuego provocó una tendencia a la disminución del tamaño medio de los agregados, incrementó significativamente su estabilidad (Llovet et al., 2009), fenómeno descrito por otros autores (Ibáñez et al., 1983; Guerrero et al., 2001; Shakesby y Doerr, 2006) y atribuido a la reorganización interna y la recristalización de compuestos de hierro y aluminio (Giovannini, 1994).

El régimen de lluvias, además del impacto directo de las gotas sobre el suelo, mostró un efecto indirecto sobre la dinámica de la compactación superficial a través de la respuesta de la vegetación. En las parcelas instaladas en cultivos de abandono reciente hubo un rebrote rápido, lo que dio lugar a un buen recubrimiento del suelo a corto plazo después del fuego. De esta forma, 10 meses después del incendio, tan sólo el 25% del suelo de las parcelas sobre abandono reciente permanecía desnudo, llegando a un recubrimiento vegetal equivalente al de las parcelas no quemadas a lo largo del segundo año (Figura 5). Esta respuesta estuvo protagonizada por *Brachypodium retusum*, la herbácea dominante en las parcelas no quemadas, y *Calicotome spinosa*. En el caso de los pinares, la virulencia del fuego fue más elevada (López-Poma, 2004), algo que puede explicarse por la mayor carga de combustible de estas comunidades (Giovannini et al., 2001). Esta mayor virulencia pudo alterar sensiblemente semillas, rizomas y otros propágulos. Asimismo, estas parcelas estaban dominadas por especies con estrategia germinadora, y tanto la propia germinación como el desarrollo posterior de las plantas dependieron del régimen de precipitaciones posterior al fuego. En consecuencia, la sequía posterior al fuego se tradujo en que el porcentaje de suelo desnudo fue superior al

50% durante los 2 primeros años, descendiendo hasta el 25% al cuarto año después del fuego (Figura 5). Todo parece indicar que la compactación superficial, tras llegar a un máximo a corto plazo después del fuego, presentó un mayor o menor tiempo de retorno a las condiciones previas al incendio en función de la rapidez de la vegetación en cubrir suficientemente el suelo.

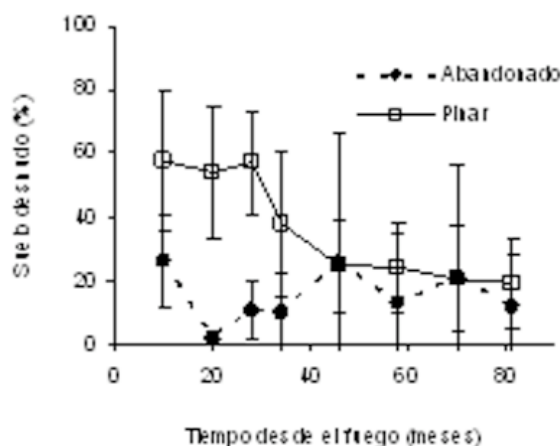


Figura 5. Evolución temporal del porcentaje de suelo desnudo tras el incendio en la zona de estudio. Valores medios y desviaciones estándar.

Figure 5. Temporal dynamics of bare soil after the fire in the study site. Mean values and standard deviations.

## 5. Conclusiones

En el área de estudio, todas las parcelas presentaron un incremento en la resistencia a la penetración a corto plazo después del incendio, llegando a valores máximos un año después del mismo.

Los resultados obtenidos indican que, cuando un suelo resulta encostrado por las lluvias posteriores al fuego, el tiempo necesario para volver a las condiciones previas al incendio es mayor cuanto más elevado sea el tiempo con el suelo insuficientemente protegido.

Una mayor estabilidad estructural no fue una condición suficiente para evitar el encostramiento de la superficie del suelo insuficientemente protegida del impacto de las gotas de lluvia. Además, el periodo necesario para volver a los niveles anterior-



res al fuego fue mayor en las parcelas con mejores condiciones estructurales, es decir, una estabilidad estructural más elevada tras el fuego y un menor grado de encostramiento previo al incendio.

Estos resultados muestran que los cultivos abandonados hace más tiempo y colonizados por una vegetación forestal (básicamente pinar) fueron especialmente vulnerables al fuego, en comparación con los cultivos de abandono más reciente ocupados por un prado seco. La virulencia del fuego y la estrategia de respuesta de la vegetación (dominio de germinadoras en el pinar y de rebrotadoras en los cultivos de abandono reciente) parecieron ser factores clave para este comportamiento.

### Agradecimientos

El trabajo de campo no hubiese sido posible sin la colaboración de Manuel Ruiz-Valera (Cholo). Esta investigación se desarrolló en el marco de los proyectos de la Unión Europea LUCIFER (ENV4-CT96-0320) y SPREAD (EVG1-2001-00043), así como del Programa CONSOLIDER-INGENIO 2010 (proyecto GRACCIE, CSD2007-00067). La Fundación CEAM recibe el apoyo de la Generalitat Valenciana y de la Fundación Bancaja.

### Referencias

- Barbero, M., Bonin, G., Loisel, R. y Quézel, P. (1990). Changes and disturbances of forest ecosystems caused by human activities in the western part of the Mediterranean Basin. *Vegetatio*, 87, 151-173.
- Bellin, N., van Wesemael, B., Meerkerk, A., Vanacker, V. y Barbera, G. G. (2009). Abandonment of soil and water conservation structures in Mediterranean ecosystems: A case study from south east Spain. *Catena*, 76, 114-121.
- Bonet, A. y Pausas, J. G. (2004). Species richness and cover along a 60-year chronosequence in old-fields of southeastern Spain. *Plant Ecology*, 174, 257-270.
- Certini, G. (2005). Effects of fire on properties of forest soils: a review. *Oecologia*, 143, 1-10.
- De Luis, M. (2000). *Estudio Espacial y Temporal de las Tendencias de Lluvia en la Comunidad Valenciana (1961-1990)*. Geoforma Ediciones e Instituto Alicantino de Cultura Juan Gil-Albert, Logroño, 112 pp.
- Dunjó, G., Pardini, G. y Gispert, M. (2003). Land use change effects on abandoned terraced soils in a Mediterranean catchment, NE Spain. *Catena*, 52, 23-37.
- García-Ruiz, J. M. (2010). The effects of land uses on soil erosion in Spain: A review. *Catena*, 81, 1-11.
- Giovannini, G. (1994). The effect of fire on soil quality. En: *Soil erosion and degradation as a consequence of forest fires* (M. Sala, M. y J. L. Rubio, eds.). Geoforma Ediciones, Logroño, 15-27.
- Giovannini, G.; Vallejo, V. R.; Lucchesi, S.; Bautista, S.; Ciompi, S. y Llovet, J. (2001). Effects of land use and eventual fire on soil erodibility in dry Mediterranean conditions. *Forest Ecology and Management*, 147, 15-23.
- González-Hidalgo, J. C.; Sánchez-Montahud, J. R.; Bellot Abad, J.; Echeverría Arnedo, M. T. (1994). Evaluación de la energía cinética de la lluvia en dos ambientes semiáridos. *Studia Oecologica*, X-XI, 43-49.
- Guerrero, C.; Mataix-Solera, J.; Navarro, J.; García-Orenes, F. y Gómez, I. (2001). Different patterns of aggregate stability in burned and restored soils. *Arid Land Research and Management*, 15, 163-171.
- Hernández-Hernández, M. (1997). *Paisajes Agrarios y Medio Ambiente en Alicante*. Publicaciones de la Universidad de Alicante, Alicante, 290 pp.
- Ibáñez, J. J.; Lobo, M. C.; Almendros, G. y Polo, A. (1983). Impacto del fuego sobre algunos ecosistemas edáficos de clima mediterráneo continental en la zona centro de España. *Boletín de la Estación Central de Ecología*, 12 (24), 27-42.
- IGME (1975). *Mapa Geológico de España, Escala 1:50.000. Hoja 821 (Alcoy)*. Instituto Geológico y Minero de España, Madrid.
- IUSS Working Group WRB (2006). *World Reference Base for Soil Resources, 2nd ed. World Soil Resources Reports No. 103*, FAO, Roma.
- Kosmas, C.; Gerontidis, S. y Marathianou, M. (2000). The effect of land use change on soils and vegetation over various lithological formations on Lesvos (Greece). *Catena*, 40, 51-68.
- Llovet, J.; Bautista, S. y Vallejo, V. R. (1996). Soil surface compaction dynamics in burnt areas. International Conference on Land Degradation. Universidad de Çukurova, Adana, Turquía, p. 104.
- Llovet, J.; Ruiz-Valera, M.; Josa, R. y Vallejo, V. R. (2009). Soil responses to fire in Mediterranean forest landscapes in relation to the previous stage of land abandonment. *International Journal of Wildland Fire*, 18, 222-232.
- Llovet, J. (2005). *Degradación del suelo posterior al fuego en condiciones mediterráneas. Identificación de factores de riesgo. Tesis Doctoral*. Universidad de Alicante, 188 pp.
- López-Poma, R. (2004). *Regeneración post-incendio de la cubierta vegetal en función de los usos del suelo en el Valle de Guadalest. Tesis-Máster*. CIHEAM-IAMZ, Zaragoza, 88 pp.
- Margaris, N. S.; Koutsidou, E. y Giourga Ch. (1996). Changes in traditional Mediterranean land-use systems. En: *Mediterranean Desertification and Land Use*. (C. J. Brandt y J. B. Thornes eds.) Wiley, Chichester, UK, 29-42.
- Marshall, T. J. y Holmes, J. W. (1988). *Soil Physics (2nd edition)*. Cambridge University Press, Cambridge, UK, 374 pp.
- Martínez-Fernández, J.; López-Bermúdez, F.; Martínez-Fernández, J. y Romero-Díaz, A. (1995). Land use and soil - vegetation relationships in a Mediterranean ecosystem: El Ardal, Murcia, Spain. *Catena*, 25, 153-167.

- Millán, M.M.; Estrela, M.J. y Caselles, V. (1995). Torrential precipitations on the Spanish east coast: the role of the Mediterranean sea surface temperature. *Atmospheric Research*, 36, 1-16.
- Neary, D.G.; Klopatek, C.C.; DeBano, L.F. y Ffolliott, P.F. (1999). Fire effects on belowground sustainability: a review and synthesis. *Forest Ecology and Management*, 122, 51-71.
- Neave, M. y Rayburg, S. (2007). A field investigation into the effects of progressive rainfall-induced soil seal and crust development on runoff and erosion rates: The impact of surface cover. *Geomorphology*, 87 (4), 378-390.
- Padilla, A. (1998). *Colonización vegetal en campos de cultivo abandonados en la provincia de Alicante*. Publicaciones de la Universidad de Alicante, Alicante, 365 pp.
- Pérez, B.; Cruz, A.; Fernández-González, F. y Moreno, J.M. (2003). Effects of the recent land-use history on the postfire vegetation of uplands in Central Spain. *Forest Ecology and Management*, 182, 273-283.
- Pérez-Cueva, A. (1994). *Atlas Climàtic de la Comunitat Valenciana*. Conselleria d'Obres Públiques, Urbanisme i Transports, Generalitat Valenciana, Valencia.
- Ramos, M.C.; Nacci, S. y Pla, I. (2000). Soil sealing and its influence on erosion rates for some soils in the Mediterranean area. *Soil Science*, 165 (5), 398-403.
- Regües, D. y Torri, D. (2002). Efecto de la energía cinética de la lluvia sobre la dinámica de las propiedades físicas y el encostramiento en un suelo arcilloso sin vegetación. *Revista Cuaternario y Geomorfología*, 16 (1-4), 57-71.
- Rivas-Martínez, S. (1987). *Mapa de Series de Vegetación de España*. ICONA, Madrid.
- Rodríguez-Aizpeolea, J. y Lasanta-Martínez, T. (1992). Los bancales en la agricultura de la montaña mediterránea: una revisión bibliográfica. *Pirineos*, 139, 105-123.
- Ruiz de la Torre, J. (dir.). (1996). *Mapa Forestal de España, Escala 1:200.000. Hoja 8-8 (Alcoy)*. Dirección General de Conservación de la Naturaleza. Ministerio de Medio Ambiente. Madrid.
- Salles, Ch.; Poesen, J. y Sempere-Torres, D. (2002). Kinetic energy of rain and its functional relationship with intensity. *Journal of Hydrology*, 257, 256-270.
- Serransolses, I.; Llovet, J. y Bautista, S. (2004). Degradación y restauración de suelos forestales mediterráneos. En: *Avances en el estudio de la gestión del monte mediterráneo*. (V.R. Vallejo y J.A. Alloza eds.). Fundación CEAM, Valencia, 93-131.
- Shakesby, R.A. y Doerr, S.H. (2006). Wildfire as a hydrological and geomorphological agent. *Earth-Science Reviews*, 74, 269-307.
- Soil Survey Staff (2006). *Keys to Soil Taxonomy*. 10th ed. NRCS, Washington, DC.
- Vallejo, V.R.; Aronson, J.; Pausas, J.G. y Cortina, J. (2005). Restoration of Mediterranean woodlands. En: *Restoration Ecology from an European Perspective* (J. van Andel y J. Aronson, eds). Blackwell Science.
- von Ende, C.N. (1993). Repeated-measures analysis: growth and other time dependent measures. En: *Design and analysis of ecological experiments* (S.M Scheiner y J. Gurevitch, eds). Chapman & Hall, New York, USA, 113-137.