

EFECTOS DE UN INCENDIO SOBRE DIVERSAS PROPIEDADES FISICO-QUÍMICAS DEL SUELO Y PROCESOS DE EROSIÓN HÍDRICA EN MEDIO SEMIÁRIDO (LA GRANJA D'ESCARP, LLEIDA)

José Ramón Olarieta Alberdi, José Lizano Bermejo, Rafael Rodríguez-Ochoa y Zaida Alcarria Contreras

Dept. Medi Ambient i Ciències del Sòl. Universitat de Lleida. Rovira Roure 191. 25198-LLEIDA (España). Correo electrónico: jramon.olarieta@macs.udl.es

Resumen

En este trabajo se pretende analizar algunos efectos del incendio que tuvo lugar en el verano de 2003 en el término municipal de La Granja d'Escarp (Lleida) sobre las características de los suelos y sobre los procesos de erosión hídrica. Se estudiaron, dentro del propio perímetro del incendio, 18 parcelas elegidas en función de la afección (parcelas afectadas/parcelas no afectadas), orientación de la ladera (umbría/solana), y vegetación previa al incendio (matorral/repoblación de *P. halepensis* en terrazas de bulldozer/repoblación de *P. halepensis* por ahoyado manual). En cada parcela se realizó una descripción del medio biofísico y de los suelos, medidas de los rasgos morfológicos asociados a procesos de erosión y sedimentación en transectos lineales de 5 m, y se muestrearon los horizontes orgánicos y los horizontes minerales superficiales. En estas muestras se analizó en laboratorio el contenido en materia orgánica, el nitrógeno potencialmente mineralizable mediante incubación, la repelencia al agua y la estabilidad estructural de los agregados. Los suelos de las parcelas estudiadas son, en general, *Xerorthents típicos* de textura franco-limosa, buen drenaje, con contenidos de materia orgánica del 1'6-7'7%, y de 22-44% en carbonatos en el horizonte mineral superficial. Los resultados muestran que el incendio no ha afectado a la estabilidad estructural ni ha producido problemas de repelencia. Sin embargo, el incendio ha supuesto un aumento de la proporción de suelo desprovisto de cubierta, lo que se traduce en un aumento significativo de los procesos de erosión laminar, y una masa neta media de suelo erosionado en las parcelas afectadas de 26 Mg.ha⁻¹, en comparación a una masa de 2 Mg.ha⁻¹ en las parcelas no afectadas. Las principales características químicas de los horizontes minerales superficiales no han variado significativamente como resultado del incendio, pero éste sí ha producido un aumento en el contenido de nitrógeno mineral tanto en el horizonte orgánico como en el horizonte mineral. Sin embargo, disminuye la cantidad de nitrógeno potencialmente mineralizable en los horizontes minerales.

Palabras clave: *Cubierta del suelo, Fósforo, Mineralización, Materia orgánica, Nitrógeno, Suelos forestales*

INTRODUCCION

Los incendios forestales constituyen uno de los principales factores de control de la dinámica de los ecosistemas mediterráneos. Sin embargo, los efectos

que producen son muy variables, dependiendo de las características del propio incendio, del ecosistema afectado, y del manejo que se haga de éste tras el incendio (BADIA & MARTI, 2003; HERNÁNDEZ et al., 1998; INBAR et al., 1997; KUTIEL, 1997).

Uno de los efectos más importantes de los incendios es el incremento en la vulnerabilidad del ecosistema a los procesos de erosión hídrica, especialmente en zonas mediterráneas, en las que la temporada de lluvias intensas de otoño sucede a la temporada de incendios. La cuantificación de los procesos de erosión presenta múltiples problemas, ya sea mediante métodos empíricos o mediante modelos matemáticos. Las propuestas basadas en rasgos observables en campo (pedestales, raíces descalzadas, cubicación de regueros y cárcavas,...) (STOCKING & MURNAGHAN, 2003), en cambio, son prometedoras como metodologías para obtener una primera cuantificación de campo.

MATERIAL Y METODOS

La zona de estudio ocupa aproximadamente 2000 ha de los términos municipales de La Granja d'Escarp, principalmente, y Seròs (Lleida) afectadas por un incendio ocurrido en agosto de 2003. El clima es semiárido continental, con una pluviometría y una temperatura medias anuales de 370 mm y 14,7°C, respectivamente. Para el período posterior al incendio, se analizaron los datos pluviométricos de la estación de Aitona, situada a 12 km de la zona de estudio.

Geomorfológicamente, el área está constituida por vertientes de fuerte pendiente, 30-70%, que enlazan una serie de plataformas estructurales sobre calizas, situadas a una altitud de 350-380 m, con un sistema de fondos de valle abancalados a una altitud de 180-200 m. La vegetación anterior al incendio consistía en zonas de matorral con especies como *Quercus coccifera*, *Pistacia lentiscus*, *Rosmarinus officinalis*, *Brachypodium retusum*, y *Lygeum spartum*, y zonas repobladas en 1969-70 con *Pinus halepensis* ya fuera por ahoyado manual o en terrazas mecanizadas.

Para analizar los efectos del incendio se estudiaron 18 parcelas de 200 m² situadas en diferentes laderas y elegidas en función de la afección del incendio (afectadas-no afectadas), la orientación (umbría-solana), y la vegetación anterior al incendio (matorral-repoblación en terrazas mecanizadas-repoblación por ahoyado).

En cada parcela se describieron las condiciones de estación y una calicata, clasificándose los suelos según Soil Taxonomy (S.S.S., 1999). Las

condiciones de superficie (pedregosidad superficial, afloramientos rocosos, cubierta de restos orgánicos, cubierta vegetal y especies) se describieron mediante el método *Point quadrat* en 2 transectos de 5 metros siguiendo las curvas de nivel dentro de cada parcela, excepto en las parcelas con terrazas mecanizadas, en las que se realizaron siguiendo la línea de máxima pendiente. En estos mismos transectos se cuantificó la superficie ocupada por rasgos de erosión o sedimentación (STOCKING & MURNAGHAN, 2003). Como rasgos de erosión por goteo se utilizaron los pedestales de piedras o restos orgánicos; para erosión laminar se describieron las raicillas descubiertas de suelo; y para erosión concentrada se usaron regueros y cárcavas. De todos estos rasgos, así como de las áreas de sedimentación, se midió también su espesor.

El horizonte orgánico se muestreó en 3 cuadrados de 20x20 cm por parcela, y en él se analizó el nitrógeno total. Se muestrearon los horizontes minerales, y en el superficial hasta 5 cm se analizaron en laboratorio el pH en agua, la conductividad eléctrica en extracto acuoso 1:5, la materia orgánica por el método de Walkley-Black, el fósforo Olsen, el nitrógeno total por el método Kjeldahl, y el carbonato cálcico equivalente con el calcímetro de Bernard. Se realizó el test de O'NEAL (1952, citado por GRIFFITHS, 1975) de estabilidad estructural en este horizonte, así como el test de repelencia al agua de KING (1981, citado por CASS et al., 1996).

Se obtuvieron muestras frescas tanto del horizonte orgánico como del mineral en las que se determinó el contenido de amonio por extracción 1:1 con KCl 1N, y el de nitrato por extracción 1:1 con agua. En estas muestras se determinó también el nitrógeno potencialmente mineralizable, mediante incubación tanto aerobia como anaerobia, a 20°C durante 6 semanas. La proporción en peso suelo/agua fue de 3:1 en el primer caso y 1:3 en el segundo, en el que se comprobaba semanalmente el contenido de humedad. Por diferentes problemas, algunas muestras se estropearon durante el proceso y no se tuvieron en cuenta para el análisis de datos.

Los datos obtenidos se trataron estadísticamente con el programa SAS, empleando análisis de correlaciones con el coeficiente de correlación de Pearson, y análisis de modelos lineales generalizados y, en su caso, separación de

medias mediante el test de Duncan. El nivel de significación utilizado fue de 0'95.

RESULTADOS Y DISCUSION

Características generales de los suelos

Los suelos de las parcelas estudiadas son, principalmente, *Xerorthents típicos* o *Haploxerepts típicos*, y, en menor medida, *Torrorthents xéricos*. Los suelos con yeso aparecen con cierta frecuencia y se relacionan con valores de conductividad eléctrica de 2-2'3 dS.m⁻¹. Son suelos, bien drenados, no salinos, de texturas franco limosas, y pH entre 7'8 y 8'3, contenido de carbonatos de 22-44% y de materia orgánica de 1'6-7'7% en los 5 cm minerales superficiales.

La masa de horizonte orgánico en parcelas quemadas se reduce a un 3% de la de las parcelas no afectadas, pero no hay un cambio significativo en el contenido total de nitrógeno del horizonte, aunque sí parece haber una tendencia a que este contenido sea menor en las parcelas afectadas, que presentan valores medio de 6'4 g.kg⁻¹ frente a contenidos de nitrógeno total de 7'4 g.kg⁻¹ en las parcelas no afectadas.

El paso del incendio no produce un efecto significativo sobre ninguna de las variables analizadas en el horizonte mineral superficial. El pH se mantiene en valores medios de 8'1 y la conductividad eléctrica en valores medios de 0'6-0'7 dS.m⁻¹. La razón de esta estabilidad podría encontrarse en una escasa producción de cenizas por el incendio por su baja temperatura, gran velocidad de propagación, y/o escasa biomasa de la zona antes del incendio.

El contenido en materia orgánica en el horizonte mineral superficial tampoco varía significativamente, con valores medios de 4-5% tanto en parcelas quemadas como no quemadas. Trabajos anteriores muestran que esta variable aumenta en algunos casos (HERNÁNDEZ et al., 1998; UBEDA, 2001; BADIA & MARTI, 2003) y disminuye en otros (HERNÁNDEZ et al., 1997) en función de las características del incendio. En las parcelas estudiadas en La Granja d'Escarp tampoco aparecen diferencias significativas en relación a esta variable entre los demás factores analizados, orientación de la ladera, y tipo de vegetación, aunque en este último caso parece

haber una tendencia a contenidos menores en parcelas plantadas por aterrazado mecánico (valores medios de 4%) que en parcelas de matorral o plantadas por ahoyado manual (valores medios en ambos casos en torno al 6%).

Los contenidos de nitrógeno total y fósforo asimilable en el horizonte mineral tampoco sufren cambios significativos por el incendio, si bien en ambos casos los contenidos medios son superiores en las parcelas quemadas (0'24% frente a 0'18% para el nitrógeno, y 15'7 mg.kg⁻¹ frente a 3'9 mg.kg⁻¹ para el fósforo). HERNÁNDEZ et al. (1997) atribuyen estos incrementos a la incorporación de restos orgánicos y productos de la combustión del material vegetal aéreo y de los horizontes orgánicos.

En el conjunto de las parcelas estudiadas existe una clara correlación positiva entre la el contenido de materia orgánica y el de nitrógeno total en el horizonte mineral ($r = 0'94$, $P < 0'0001$; $r = 0'62$, $P < 0'01$). La relación C/N aumenta linealmente con el contenido en materia orgánica hasta que ésta alcanza un valor de 3'5%, aproximadamente, a partir del cual, la relación C/N se mantiene, en general, constante entre valores de 12 y 15. En las parcelas no quemadas, el contenido de materia orgánica tiene una cierta correlación positiva con el de fósforo asimilable ($r = 0'65$, $P = 0'08$), reflejando la función limitadora de la sorción de fósforo que tiene la materia orgánica en estos suelos (KORDLAGHARI & ROWELL, 2006).

Para todas las parcelas existe una correlación negativa significativa entre la conductividad eléctrica y el contenido en materia orgánica y nitrógeno total, y la relación C/N del horizonte mineral ($r = -0'66$, $P < 0'005$; $r = -0'57$, $P < 0'05$; $r = -0'57$, $P < 0'05$, respectivamente), lo que sugeriría una menor producción de biomasa y/o unas condiciones de más rápida mineralización de la materia orgánica en suelos con yeso. Por el contrario, la correlación es positiva y significativa ($r = 0'64$; $P > 0'01$) entre la conductividad eléctrica y la relación (carbono orgánico/fósforo asimilable).

Nitrógeno potencialmente mineralizable

La cantidad de nitrógeno mineral, tanto en el horizonte orgánico como en el mineral, es significativamente mayor en parcelas quemadas (37 mg.kg⁻¹ y 25 mg.kg⁻¹, respectivamente) que en parcelas no afectadas (13 mg.kg⁻¹ y 7 mg.kg⁻¹), y

aparece en forma nitríca principalmente (60-80% del nitrógeno mineral total). La cantidades que aparecen en el horizonte orgánico y en el mineral presentan una correlación significativa positiva ($r = 0'73$, $P < 0'005$).

La incubación anaerobia de los horizontes orgánicos muestra que en las parcelas quemadas predominan, en el 80% de los casos, los procesos de inmovilización neta de nitrógeno, con un valor medio de $0'3 \text{ mg.kg}^{-1}$. Por el contrario, en el 80% de las muestras de parcelas no quemadas se obtuvo una mineralización neta de nitrógeno, con un valor medio de $4'6 \text{ mg.kg}^{-1}$.

En el horizonte mineral, tras la incubación anaerobia, el 90% de las muestras de parcelas quemadas nuevamente muestran procesos de inmovilización neta, con un valor medio de $12'4 \text{ mg.kg}^{-1}$, y la totalidad de las muestras de parcelas no quemadas muestran mineralización neta de nitrógeno ($46'2 \text{ mg.kg}^{-1}$). La incubación aerobia, en cambio, produce en ambos casos, tasas de mineralización neta, de 17 mg.kg^{-1} en parcelas quemadas y de 34 mg.kg^{-1} en parcelas no quemadas. La cantidad de nitrógeno potencialmente mineralizable en el horizonte mineral disminuye al aumentar el contenido de nitrato en este horizonte ($r = -0'77$, $P < 0'001$).

El contenido en fósforo Olsen en el horizonte mineral es una variable con gran influencia sobre los contenidos de nitrógeno tanto en el horizonte mineral como en el orgánico. Se correlaciona positivamente con la cantidad de nitrato y nitrógeno mineral total del horizonte orgánico ($r = 0'71$, $P < 0'05$; $r = 0'66$, $P < 0'05$, respectivamente), y con los contenidos de nitrato, amonio, y nitrógeno total ($r = 0'84$, $P < 0'0001$; $r = 0'56$, $P < 0'05$; $r = 0'87$, $P < 0'0001$, respectivamente) en el horizonte mineral.

Por otro lado, el contenido en fósforo asimilable influye negativamente en la cantidad de nitrógeno potencialmente mineralizable en el horizonte mineral ($r = -0'67$, $P < 0'005$), y la relación carbono-fósforo asimilable del horizonte mineral se correlaciona positivamente con la cantidad de nitrógeno potencialmente mineralizable en el horizonte orgánico ($r = 0'71$, $P < 0'05$).

Condiciones de superficie

La cubierta de pedregosidad superficial de estos suelos es, en general, alta (mayor del 25%),

lo que les confiere una menor vulnerabilidad frente a la erosión hídrica (GOVERS et al., 2006). Además, es significativamente mayor en solanas que en umbrías (cobertura media del 51% en aquéllas frente a un 34% en éstas últimas).

La cubierta de restos orgánicos disminuye como resultado del incendio, de un valor medio del 69% en parcelas no quemadas a una media del 5% en las parcelas quemadas, y es significativamente menor en parcelas aterrazadas (con una cubierta media del 17%) que en los demás tipos de parcelas (que muestran valores medios entre 36% y 54%). La disminución de esta cubierta como resultado del incendio afecta especialmente a las zonas de matorral, que antes del incendio presentaban una cubierta de restos superior a las demás situaciones, con un valor medio superior al 70%, y que tras él muestran cubiertas prácticamente nulas.

Es muy destacable la presencia de deyecciones de lombrices en superficie, que aumenta en gran manera como resultado del incendio, de un 14% a un 69%. Este aumento es especialmente significativo en zonas arboladas (de un 5% a un 75%), y todo ello parece indicar un cambio en las condiciones relativas de humedad entre los diferentes horizontes del suelo.

La cubierta vegetal, dominada por *Quercus coccifera*, *Brachypodium retusum* y *Lygeum spartum*, disminuye significativamente como resultado del incendio (de un valor medio del 101% a un 8%), y, en general, es significativamente superior en umbrías (62%) que en solanas (26%). CHIRINO et al. (2003) han mostrado que cubiertas vegetales superiores al 50% producen tasas de erosión similares a las obtenidas con cubiertas del 100%.

Como resultado de todo ello, la proporción de suelo mineral desnudo en superficie, y por tanto, susceptible de ser erosionado, aumenta significativamente como resultado del paso del incendio (13% en comparación a un 2% en parcelas no quemadas), si bien se trata siempre de valores bajos, inferiores al 25%. Los valores obtenidos son significativamente mayores en zonas arboladas aterrazadas (14%) que en zonas de matorral o arboladas plantadas manualmente (5%).

Propiedades físicas de la superficie del suelo

Un 65% de las muestras estudiadas se clasifican como estables en relación a la estabilidad

estructural de los agregados. El incendio no afecta significativamente a esta variable, en contraste con los resultados obtenidos por BADIA & MARTI (2003) en condiciones de laboratorio, que mostraban una menor estabilidad de suelos quemados a diferentes temperaturas. Sin embargo, dentro de los casos de estructuras no estables (un 17% del total) obtenidos en las parcelas de La Granja d'Escarp, un 77% ocurren en parcelas quemadas, y un 66% en parcelas plantadas por aterrazado mecánico.

En todas las parcelas estudiadas el grado de repelencia al agua es Muy Bajo o No Repelente, y el incendio no llega a afectar significativamente a esta variable, lo que podría estar relacionado con una baja intensidad de quemado y con la baja proporción de arena en estos suelos.

Dinámica superficial

La erosión por goteo afecta, en todas las situaciones, a un porcentaje bajo de la superficie (menor del 15%), como resultado de la escasa presencia en superficie de suelo mineral desnudo.

En cambio, la erosión laminar es el proceso de dinámica superficial más frecuente. Si bien las diferencias por este criterio no son significativas, son destacables los altos valores medios obtenidos en parcelas aterrazadas (36%), frente a matorrales (34%) y parcelas plantadas por ahoyado (29%). El incendio incrementa significativamente la superficie afectada por procesos de erosión laminar (de un 10% en parcelas no afectadas a un 50% en parcelas afectadas). Este aumento afecta, sobre todo, a parcelas de matorral y a parcelas plantadas por ahoyado manual (que pasan de valores medios prácticamente nulos a valores de 55-65% de superficie afectada), mientras que en parcelas aterrazadas los valores medios de superficie afectada se mantienen entre el 30 y el 40%.

La erosión por regueros afecta a un pequeño porcentaje de la superficie (menor del 10% en general) en todas las situaciones estudiadas, y esta proporción no varía significativamente como resultado del incendio. En las terrazas mecanizadas estos rasgos erosivos son significativamente más frecuentes (7% de superficie afectada) que en parcelas de matorral o plantadas por ahoyado manual (menos del 1%).

Únicamente se detectaron procesos de erosión por cárcavas en parcelas aterrazadas, hubieran

sido afectadas por el incendio o no, lo que indica que estos procesos son anteriores al incendio. Los pocos datos disponibles parecen sugerir que estas cárcavas están relacionadas con la aplicación de este método de preparación a suelos muy poco profundos sobre lutitas, lo que habría dejado estos materiales en superficie. Dada la especificidad de este fenómeno, no se tuvo en cuenta para la cuantificación de las tasas de erosión.

Los procesos de sedimentación no varían significativamente entre las diferentes situaciones estudiadas, aunque la tendencia es que sean más frecuentes en parcelas quemadas (11% de superficie afectada) que en parcelas no afectadas (1%).

El balance de masa erosión-sedimentación, a escala de las parcelas estudiadas, es siempre positivo, y significativamente mayor en parcelas quemadas (con un valor medio de 26 Mg.ha⁻¹) que en parcelas no afectadas por el incendio (2 Mg.ha⁻¹). Los demás factores no tienen un efecto significativo sobre este balance, aunque las pérdidas netas medias son mayores en solanas (22 Mg.ha⁻¹) que en umbrías (15 Mg.ha⁻¹), y en parcelas de matorral (21 Mg.ha⁻¹) y aterrazadas (18 Mg.ha⁻¹) que en las plantadas por ahoyado manual (10 Mg.ha⁻¹).

Estos valores de erosión son superiores a los obtenidos en otras experiencias durante el primer año tras el incendio (INBAR *et al.*, 1997; GIMENO-GARCÍA *et al.*, 2000) y a las obtenidas por CHIRINO *et al.* (2003) en parcelas de matorral y pinar. Estas altas tasas de erosión podrían estar relacionadas con las altas precipitaciones del otoño posterior al incendio, en el que se registró una precipitación total en el periodo septiembre-diciembre de 227 mm frente a un valor histórico medio de 137 mm. Se registraron además episodios de alta intensidad de lluvia, llegándose a alcanzar valores de 130 de 52 mm.h⁻¹.

CONCLUSIONES

El incendio ocurrido en La Granja d'Escarp ha tenido consecuencias muy leves sobre las características de los suelos afectados, excepto por la eliminación de gran parte del horizonte orgánico.

El incendio aumenta la cantidad de nitrógeno mineral en el suelo, pero el horizonte orgánico

pasa a comportarse como sumidero de nitrógeno mineral, y en el horizonte mineral disminuye el nitrógeno potencialmente mineralizable. Los suelos con mayores cantidades de nitrógeno mineral y, especialmente, de fósforo asimilable presentan un menor potencial mineralizador de nitrógeno.

Las cantidades medias de suelo erosionado durante los seis meses posteriores al incendio se estiman 20-30 Mg.ha⁻¹, y son el resultado de procesos de erosión laminar, principalmente. El método de campo utilizado para la estimación de estos procesos se considera adecuado para obtener una primera evaluación rápida de su magnitud.

Las terrazas mecanizadas de repoblación muestran indicios de un comportamiento favorecedor de los procesos de erosión hídrica en este tipo de suelos.

BIBLIOGRAFÍA

- BADIA, D. & MARTI, C.; 2003. Plant ash and heat intensity effects on chemical and physical properties of two contrasting soils. *Arid Land Res. Manage.* 17(1): 23-41.
- CASS, A.; MCKENZIE, N. & CRESSWELL, H.; 1996. Physical indicators of soil health. In: J. Walker & D.J. Reuter (eds.), *Indicators of Catchment Health: a Technical Perspective*: 89-107. CSIRO. Australia.
- CHIRINO, E.; BELLOT, J.; BONET, A. & ANDREU, J.M.; 2003. Efecto de diferentes tipos de cubierta vegetal en el control de la erosión en clima semiárido, SE-España. *Edafología* 10(3): 39-48.
- GIMENO-GARCÍA, E., ANDREU, V. & RUBIO, J.L.; 2000. Changes in organic matter, nitrogen, phosphorus and cations in soil as a result of fire and water erosion in a Mediterranean landscape. *Eur. J. Soil Sci.* 51: 201-210.
- GOVERS, G.; VAN OOST, K. & POESEN, J.; 2006. Responses of a semi-arid landscape to human disturbance: a simulation study of the interaction between rock fragment cover, soil erosion and land use change. *Geoderma* 133(1-2): 19-31.
- GRIFFITHS, E.; 1975. *Classification of Land for Irrigation in New Zealand*. Dept. of Scientific and Industrial Research, Wellington, Nueva Zelanda.
- HERNÁNDEZ, T.; GARCÍA, C. & REINHARDT, I.; 1997. Short-term effect of wildfire on the chemical, biochemical and microbiological properties of Mediterranean pine forest soils. *Biol. Fertil. Soils* 25: 109-116.
- HERNÁNDEZ, J.; ÁLVAREZ, J. & FAZ, A.; 1998. Variations of some edaphic properties in fire damaged pinewood (*Pinus halepensis*) and esparto fields (*Stipa tenacissima*) in Murcia (SE Spain). In: A. Rodríguez, C.C. Jiménez & M.L. Tejedor (eds.), *The Soil as a Strategic Resource: Degradation Processes and Conservation Measures*: 419-429. Geofoma Ediciones. Logroño.
- INBAR, M.; WITTENBERG, L. & TAMIR, M.; 1997. Soil erosion and forestry management after wildfire in a Mediterranean woodland, Mt. Carmel, Israel. *Int. J. Wildland Fire* 7(4): 285-294.
- KORDLAGHARI, M.P. & ROWELL, D.L.; 2006. The role of gypsum in the reactions of phosphate with soils. *Geoderma* 132(1-2): 105-115.
- KUTIEL, P.; 1997. Spatial and temporal heterogeneity of species diversity in a Mediterranean ecosystem following fire. *Int. J. Wildland Fire* 7(4): 307-315.
- S.S.S. (Soil Survey Staff); 1999. *Soil Taxonomy, Second Edition*. N.R.C.S. United States Department of Agriculture. Washington D.C.
- STOCKING, M. & MURNAGHAN, N.; 2003. *Manual para la Evaluación de Campo de la Degradación de la Tierra*. Mundi-Prensa. Madrid.
- UBEDA, X.; 2001. Influencia de la intensidad de quemado sobre algunas propiedades del suelo después de un incendio forestal. *Edafología* 8(1): 41-49.