

LLETRES DE BATALLA

Els incendis forestals com a causants de l'increment d'erosió del sòl

Xavier Úbeda *

Rebut: 02.05.00
Acceptat: 16.11.00

Resum

L'article següent és un recull bibliogràfic sobre treballs que han investigat la resposta del sòl després d'incendis forestals i, més concretament, quan aquesta resposta es tradueix en una pèrdua d'aquest sòl per erosió. Els diferents autors busquen en els seus treballs respostes al fet que després del foc el sòl pot esdevenir més susceptible a ser erosionat. S'analitzen propietats físiques i químiques del sòl, de recobriment de vegetació, de la intensitat del foc, de la quantitat i tipus de combustible que es crema, així com aspectes fisiogràfics de les àrees cremades. Finalment, es presenten tres taules on es recullen alguns dades quantitatives de pèrdua de sòl després d'incendis forestals. Com es pot comprovar els resultats són molt diferents uns d'altres i és que totes les interrelacions possibles de les variables abans esmentades juguen un paper essencial per a comprendre quanta erosió ha estat produïda per un o altre incendi.

PARAULES CLAU: sòl, incendi forestals, erosió, recerca bibliogràfica

Abstract

Forest fires as a cause of increased soil erosion

The aim of this paper is to present data on the effects of forest fires on soil properties and on soil erosion by means of bibliographic research. The question asked by most authors is what causes soil to be more susceptible to erosion. Physical and chemical properties of soils, vegetation cover, fire intensity, biomass of the forest physiographical aspects of the burnt areas are analysed. Finally, three tables are presented with different quantitative data on soil erosion after forest fires. The results vary greatly, and the fact is that all the possible relationships between the variables mentioned are essential to an understanding of soil erosion after forest fires.

KEYWORDS: soil erosion, forest fire, bibliographical research

Resumen

Los incendios forestales como causa del incremento de la erosión del suelo

El siguiente artículo es el resultado de una búsqueda bibliográfica sobre trabajos que han investigado la respuesta del suelo después de incendios forestales, y más concretamente cuando esta respuesta se traduce en pérdida de suelo por erosión. Los diferentes autores en sus trabajos buscan respuestas al hecho de que

* GRAM (Grup de Recerca Ambiental Mediterrània). Dept. Geografia Física i Anàlisi Geogràfica Regional. Universitat de Barcelona. Carrer Baldiri Reixac s/n, 08028 Barcelona. Correu electrònic: xubeda@trivium.gh.ub.es

después del fuego el suelo sea más susceptible a ser erosionado. Se analizan causas físicas y químicas del suelo, de recubrimiento de vegetación, de la intensidad del fuego, de la cantidad de combustible acumulado así como aspectos fisiográficos de las áreas quemadas. Finalmente se presentan tres tablas donde se recogen algunas datos cuantitativos sobre pérdida de suelo después de incendios forestales. Como se puede comprobar los resultados son muy variados y es que todas las relaciones posibles de las variables anteriormente citadas juegan un papel esencial para poder comprender que cantidad de erosión de suelo ha sido producida por cualquier incendio.

PALABRAS CLAVE: suelo, incendios forestales, erosión, investigación bibliográfica

Estudis sobre l'increment de l'erosió després d'incendis forestals

Des de fa molts anys, els estudis sobre l'erosió després dels incendis forestals són objecte de treballs de recerca. Hi ha nombroses investigacions on es mostren dades extretes de recerques al camp. Aquests estudis es desenvolupen sobre diferents escenaris físics, on es combinen diverses variables i paràmetres. Les variables més importants que es reflecteixen en aquests estudis són la meteorologia, la vegetació i el substrat, així com la topografia.

La majoria dels estudis afirmen que després d'un incendi forestal hi ha un increment de l'escolament i l'erosió. Parlen d'increment, ja que consideren que en un bosc sempre hi ha una certa taxa d'erosió.

Els primers estudis amb dades experimental dels quals es té constància provenen de recerques realitzades als Estats Units durant els anys trenta, com per exemple Lowdermilk (1930), Kolok (1931), Forsling (1931), Eaton (1932), Lutz (1934), Connaughton (1935), Thompson (1935), Musgrave (1935), Meginnis (1935), Musgrave & Free (1936), Haig (1938).

Tots, sota diferents situacions de treball, van comprovar com, després d'un incendi l'escolament i l'erosió s'incrementaven.

Estudis més moderns i a altres llocs també constaten les primeres dades dels investigadors americans. Terry (1994) va realitzar estudis al nord de Portugal en boscos de pins on van obtenir taxes d'escolament i d'erosió tres i trenta-cinc vegades superiors respectivament al bosc cremat que al bosc control.

Sánchez *et al.* (1994), a Alacant, van realitzar estudis sobre diferents tipus de vegetació i condicionament del sòl, en els quals van obtenir taxes d'erosió quinze vegades superiors en un bosc cremat de pins en topografia de terrasses que en un bosc sense cremar d'iguals característiques, i també més escolament.

A Catalunya, un dels estudis més importants va ser el de Soler *et al.* (1994), a les muntanyes de Prades (Tarragona), en un bosc de *Quercus ilex*. Les taxes d'escolament i erosió van ser quinze i onze vegades més grans respectivament al bosc cremat que a la zona control.

El servei forestal dels Estats Units compta amb dades d'increment d'escolament i d'erosió després d'incendis forestals des de l'any 1938, amb un seguiment de les zones cremades de vuit anys (Wells, 1981). En un d'aquests informes es mostra com l'escolament va ser 4 vegades superior i l'erosió 211 vegades més elevada el primer any a la zona afectada per l'incendi que a la parcel·la control sense cremar. El primer any de recerca, 1938-39, l'erosió va ser de 19,07 t/ha/any. Després de vuit anys, l'erosió va passar a ser de 0,01 t/ha/any, valors fins i tot més baixos que a la parcel·la control. De fet, tant l'escolament com l'erosió al quart any ja havien adquirit valors semblants als de la parcel·la control.

A mesura que es feien estudis es podia comprovar com les variables físiques i la topografia tenien un paper destacat en l'estabilització de l'erosió. Tedrow (1952) va realitzar un estudi a New Jersey, en un bosc de pins

sobre un terreny pla i amb una textura de sòl sorrenca. Ell va constatar que l'augment d'escolament va ser gairebé inapreciable. A la mateixa zona Burns (1952) va realitzar anàlisis físiques al sòl cremat i no va trobar efectes del foc en els paràmetres estudiats.

Alguns dels autors citats anteriorment feien constar que l'erosió remetia així que la vegetació tornava a recobrir el sòl amb espècies que sorgien després del foc. Avui en dia, també es poden comprovar aquests fets a Califòrnia, on els incendis són freqüents. Heede *et al.* (1988) van comprovar com l'erosió no cessava fins que la vegetació no recobria el sòl nu.

Altres estudis ens indiquen que és necessari conèixer la intensitat del foc per poder concloure si el foc en si té conseqüències en els paràmetres físics i químics del sòl. Romanyà *et al.* (1994) obtenen canvis més significatius de carboni, nitrogen i fòsfor en el sòl d'un bosc cremat a alta intensitat que en un de baixa intensitat.

Megahan & Molitor (1975) van experimentar en les diferents taxes d'erosió que es donaven en un foc poc i molt intens. Per produir un foc més intens van talar els arbres i els van deixar sobre el sòl, i així aconseguien que el foc estigués concentrat a pocs centímetres per sobre del sòl. Van establir, un cop finalitzat l'experiment, taxes nou vegades superiors al bosc talat que al bosc sense talar.

Soto *et al.* (1994), a Galícia, diferencien entre foc poc intens i molt intens i obtenen dades que van d'1,6 vegades més erosió en el bosc cremat, per un foc lleu, a nou vegades més erosió en l'àrea que va patir un foc més intens.

Giovannini (1994) confirma l'existència de llindars de risc. Els focs poc intensos produeixen escasses modificacions de les característiques físicoquímiques, mentre que els incendis severos induïxen modificacions substancials que condueixen a desagregacions del sòl i afavoreixen l'erosió.

Soler & Sala (1990) troben taxes vuit vegades superiors a una parcel·la sotmesa a una

crema controlada que va assolir en superfície els 600 °C que a una àrea de tallafoc.

Lowdermilk (1930) va experimentar com la fullaraca dipositada al sòl reduïa extraordinàriament l'escolament després de l'incendi evitant l'arrossegament de material vessant avall. Ell conclouia que el paper que té la fullaraca, pel que fa a infiltració, és evitar la percolació directa de l'aigua de pluja al sòl.

També Úbeda (1998) obté menys producció d'escolament en una zona coberta de fullaraca de pi que en una zona del mateix incendi on la superfície del sòl està descoberta de fullaraca.

Campbell *et al.* (1977) van poder comprovar com l'atzar, en el sentit que es produeixen fortes pluges tant en quantitat d'aigua com en intensitat després dels incendis, té un paper molt important a fer que hagi més o menys erosió. Ell conclou dient que si les pluges intenses tenen lloc quan la vegetació s'ha recuperat, el seu efecte és molt menor.

Les mateixes conclusions han estat extremes per Úbeda & Sala (1996) amb la comparació de dades de precipitació i erosió en quatre incendis forestals. Aquest aspecte també ha estat investigat per Anderson *et al.* (1959) i Krammes (1960); aquest últim conclou que si el foc té lloc just abans del període de pluges, el 90 % de l'erosió es donarà en els primers 80 dies després del foc.

Treballs més recents mostren que quan l'estudi és a nivell de conca hidrogràfica normal més hi ha un augment considerable del material transportat en suspensió durant les majors pluges (Belillas, 1994; Sala, 1998).

Megahan & Molitor (1975) van comparar focs sobre diferents tipus de sòl. L'estudi mostra com els sòls formats sobre roques ígnies, com ara el granit, són susceptibles de tenir més erosió que en altres tipus de substrat. També Sala *et al.* (1994) obtenen més erosió en un estudi a Collserola en una parcel·la de substrat granític que en una parcel·la d'esquist.

DeBano & Conrad (1976) van afirmar que la topografia també era important en l'increment de l'erosió després d'incendis. Van cremar dues àrees, la primera amb un 20 % de pendent i la segona amb un desnivell del 50 %. L'erosió durant el primer any va ser 2,6 vegades més elevada a la segona àrea.

Conclusions similars, però amb resultats més espectaculars, varen obtenir Wright *et al.* (1976), ja que en vessants del 45 % de pendent l'erosió va ser 30 vegades més gran que en vessants del 15 % de pendent.

Calvo & Cerdà (1994), a València, obtenen en un bosc de pins taxes catorze vegades superiors amb diferents característiques topogràfiques i de tipus de sòl.

Rodríguez (1996) enumera les causes de major a menor importància per l'erosió del sòl: l'erosivitat de l'aigua de pluja (precipitació i intensitat), grau de pendent i la longitud del vessant, la cobertura vegetal i la intensitat del foc en la qual ha estat cremat el sòl. L'autor descarta erosió per sobre de límits acceptables en incendis poc intensos.

Les pèrdues de sòl comporten una pèrdua de matèria orgànica important. A les àrees mediterrànies, on la producció d'humus és molt baixa, la recuperació d'horitzons de fullaraca i fermentació pot tardar cap a divuit anys (Ferrán & Vallejo, 1990).

Encara que, quan es parla d'erosió, la pèrdua de sòl (matèria orgànica, matèria mineral i nutrients) és el més significatiu, hi ha també una lixiviació del sòl en forma de dissolts concentrats en l'aigua d'escolament. Aquests elements dissolts provenen del mateix sòl abans de cremar, de la solució del sòl, i també dels elements alliberats pel foc de la biomassa cremada i dipositats en superfície en forma de cendres. Les pèrdues de nutrients en un sòl cremat s'incrementen no sols perquè hi hagi una major disponibilitat d'elements, sinó perquè hi ha també un increment en l'escolament (Wells, 1981).

Martin & Chevalier (1994) van trobar increments del 84 % d'elements químics a l'aigua en un riu d'una conca que va ser cremada. Els efectes eren encara perceptibles un any després del foc.

Thomas (1994) va establir en nou vegades més gran la concentració de potassi i nitrogen en l'aigua d'escolament d'una àrea cremada. Els valors van baixar fins a cinc cops més concentració disset mesos després del foc. El mateix autor també conclou el seu estudi dient que l'ordre de pèrdues d'elements, pel que fa a concentracions, no es veu alterat, encara que aquestes siguin més grans.

Fredriksen (1978) va quantificar aquestes pèrdues en estudis fets a Oregon. En diferents boscos cremats amb diferents tipus de vegetació va trobar pèrdues de nutrients per l'acció de l'escolament que anaven de 0,05 kg/ha a 2,49 kg/ha. El mateix autor, l'any 1971, va publicar que l'augment de pèrdues dels nutrients majoritaris era el següent: calci 34 %, magnesi 25 %, potassi 21 % i sodi 14 %. El vent també és un mitjà de transport de nutrients, sobretot dels elements que formen part de les cendres, a causa de la seva volatilitat. Aquesta pèrdua és difícil de quantificar.

Alguns estudis portats a terme avaluen finalment que no sempre els incendis tenen efectes negatius. No sempre s'han trobat diferències significatives en augment d'escolament i erosió entre zones cremades i zones control. Douglas & Van Lear (1983) no en van trobar en dues zones de 10-19 % de pendent en un bosc de pins de Carolina del Sud.

Ibáñez *et al.* (1983) troben que els resultats són positius en relació amb algunes variables en la física del sòl.

Moreno (1990) defensa l'ús del foc, amb incendis controlats, per a la revitalització i manteniment d'algunes espècies vegetals, ja que el foc accelera la mineralització de la matèria orgànica en alliberar els nutrients retinuts en la necromassa. El mateix autor recorda

TAULA 1. Dades d'erosió de diferents estudis on s'indica el mètode utilitzat per quantificar-la (Díaz-Fierros *et al.*, 1994).

Erosion rates in different studies and the method used to quantify them.

| Erosió (t/ha/any) | País | Autor | Any | Mètode |
|-------------------|------------|----------------------------|------|------------------------|
| 165 | EUA | Hendricks & Jonhson | 1944 | |
| 1,27-3,85 | Anglaterra | Kinaho & Gimingham | 1980 | Agulles d'erosió |
| 0,88 | Honduras | Hudson <i>et al.</i> | 1983 | Parcel·la experimental |
| 0,5 - 2,5 | Espanya | Vega <i>et al.</i> | 1983 | Parcel·la experimental |
| 22 | Espanya | Vega <i>et al.</i> | 1983 | Parcel·la experimental |
| 1,15 | EUA | Hibbert | 1985 | Parcel·la experimental |
| 20 - 25 | Espanya | Díaz-Fierros <i>et al.</i> | 1987 | Agulles d'erosió |
| 0,01 | Portugal | Walsch <i>et al.</i> | 1988 | Trampes de sediment |
| 0,27 | Espanya | Soler & Sala | 1990 | Caixes gerlach |
| 3,42 | Portugal | Coelho <i>et al.</i> | 1990 | Ponts d'erosió |
| 2 - 12 | Espanya | Díaz-Fierros <i>et al.</i> | 1990 | Parcel·la experimental |
| 20,04 | Portugal | Lourenço <i>et al.</i> | 1990 | Caixes gerlach |

que el foc ha estat, a les àrees mediterrànies, una eina per a la lluita contra foc, amb la creació d'incendis de fronts contraris.

Naveh (1990) diu que el foc en els ecosistemes mediterranis ha estat una eina beneficiosa en el passat, però, ara com ara, el foc sol ser sempre una negligència. L'autor té esperances en els ecologistes i intel·lectuals per fer veure com el foc pot tornar a ser una eina com abans.

L'incendi controlat pot ser una forma totalment vàlida per a la gestió i manteniment de l'espai, així com per reduir el combustible forestal (Rigolot, 1995). El foc controlat, segons Delabrazze (1990), contribueix a fer evolucionar la composició florística de la zona tractada, segons el procediment de crema que es faci servir.

Valette *et al.* (1993) diuen que si es condueix correctament, el foc no ha d'originar cap efecte sobre l'estrat arbori, més encara en les espècies mediterrànies que suporten bé els focs de baixa intensitat. Trabaud (1994) està d'acord en l'ús «d'incendi controlat» sobretot en la conca mediterrània.

Taxes d'erosió mesurades en diferents estudis

Pel fet que els mètodes utilitzats per diferents investigadors per avaluar la pèrdua de sòls no són sempre els mateixos, són difícils les comparacions de taxes de diverses zones afectades per incendis forestals.

Tot i això Díaz-Fierros *et al.* (1994), van fer un recull de dades on es senyala el mètode utilitzat per a la quantificació de l'erosió (Taula 1). A la taula 1 s'hi poden afegir els estudis de la taula 2.

Taxes d'erosió a Collserola, les Gavarres i Cadiretes

La taula 3 presenta dades extretes en tres estudis realitzats a la Serra de Collserola a Barcelona i als massissos de Gavarres i Cadiretes a la comarca del Gironès. A l'estudi realitzat a Collserola es van diferenciar litologies

TAULA 2. Dades d'erosió de diferents estudis.
Erosion rates in different studies.

| Erosió parcel·la cremada (t/ha/any) | Erosió parcel·la control (t/ha/any) | País | Autor | Any |
|-------------------------------------|-------------------------------------|----------|-----------------------|------|
| 0,81 | 0,06 | EUA | Meginnis | 1935 |
| 0,27 | 0,02 | EUA | Daniel <i>et al.</i> | 1943 |
| 7,61 | 0,01 | EUA | Copley <i>et al.</i> | 1944 |
| 0,88 | 0,12 | EUA | Pope <i>et al.</i> | 1946 |
| 0,51 | 0,24 | EUA | Ursic | 1970 |
| 24,00 | | Espanya | Vicente i Soler | 1986 |
| 0,27 | 0,006 | Espanya | Soler i Sala | 1990 |
| 3,51 | | Espanya | Marquès | 1991 |
| 21,75 | | Espanya | Marquès | 1991 |
| 0,24 | | Espanya | Andreu <i>et al.</i> | 1994 |
| 11,10 | | Espanya | Andreu <i>et al.</i> | 1994 |
| 2,83 | | Espanya | Andreu <i>et al.</i> | 1994 |
| 0,21 | | Espanya | Andreu <i>et al.</i> | 1994 |
| 41,46 | | Portugal | Terry | 1994 |
| 13,14 | 1,54 | Espanya | Soto <i>et al.</i> | 1994 |
| 3,57 | | Espanya | Calvo <i>et al.</i> | 1994 |
| 8,08 | | Espanya | Sánchez <i>et al.</i> | 1994 |
| 8,83 (1er any) | | França | Martin | 1996 |
| 16,34 (2on any) | | França | Martin | 1996 |
| 8,35 (3er any) | | França | Martin | 1996 |
| 0,90 (4art any) | | França | Martin | 1996 |

i a l'estudi realitzat a Cadiretes es van diferenciar les àrees d'estudi cremades depenent de la manera com la intensitat del foc havia afectat la vegetació i, conseqüentment, el sòl. A la taula també apareixen les dades de les parcel·les control que es van utilitzar per comparar les dades.

El fet que hi hagi una erosió determinada a causa d'una intensitat de foc concreta ha estat poc estudiat, però es pot afirmar que influeix en que hagi més o menys erosió. També s'observa en tots els estudis com al cap del temps, l'erosió va disminuint (Taula 4).

Discussió

De totes les variables estudiades i que poden tenir una relació directa amb l'increment de l'erosió després d'incendis forestals, sembla ser que la variable més important a tenir en compte és la disminució acusada de la capacitat d'infiltració que fa que augmenti l'escolament (Úbeda, 1999), això juntament amb la manca de vegetació, ocasiona un augment molt important i relatiu a cada zona de les taxes d'escolament, que posteriorment es tradueix en una major erosió al passar per sobre d'un sòl desprotegit en superfície.

TAULA 3. Resum de les dades d'erosió a Collserola, Gavarres i Cadiretes.
Summary of the erosion rates in the Collserola, Gavarres and Cadiretes mountains.

| Erosió parcel·la cremada (t/ha/any) | Erosió parcel·la control (t/ha/any) | Lloc | Any | Particularitats |
|-------------------------------------|-------------------------------------|------------|------|--------------------|
| 1,09 | 0,11 | Collserola | 1992 | Esquist |
| 15,13 | 0,07 | Collserola | 1993 | Granit |
| 13,86 | 1,46 | Gavarres | 1993 | Granit |
| 0,48 | 0,08 | Cadiretes | 1994 | Baixa intensitat |
| 6,05 | 0,08 | Cadiretes | 1994 | Mitjana intensitat |
| 24,05 | 0,08 | Cadiretes | 1994 | Alta intensitat |

TAULA 4. Dades del primer i de l'últim any d'estudi a les parcel·les experimentals instrumentalitzades amb caixes gerlach.

Rates for the first and last year of study in the experimental plots monitored with Gerlach traps.

| | 1er any d'estudi (t/ha/any) | Últim any d'estudi (t/ha/any) |
|--|-----------------------------|-------------------------------|
| Collserola (1992-1994) | 1,09 | 0,19 (segon any) |
| Gavarres (1993-1996) | 13,86 | 0,42 (quart any) |
| Cadiretes. Baixa Int. de Foc (1994-1997) | 0,48 | 0,47 (tercer any) |
| Cadiretes. Mitjana Int. de Foc (1994-1997) | 6,05 | 2,30 (tercer any) |
| Cadiretes. Alta Int. de Foc (1994-1997) | 24,05 | 5,13 (tercer any) |

A mesura que la vegetació recobreix el sòl, les taxes d'escolament i erosió remeten considerablement a totes les zones. Encara que no totes les espècies es recuperen d'igual manera (Alonso *et al.*, 1996). Les noves arrels estructuren el sòl fent-lo més resistent i sobretot la capacitat d'infiltració es recupera; i això, acompanyat d'un amortiment de la precipitació per part de fulles i branques ajuda a desaccelerar la velocitat de caiguda de l'aigua i la consegüent esquitxada (*splash*).

La intensitat amb què crema el foc és important, ja que augmenta els efectes tant en el sòl com en la vegetació: el sòl queda més desprotegit quan més intens ha estat el foc. A més, l'efecte hidrofòbic de les cendres també serà més acusat quan més intens hagi estat el foc (Giovannini, 1994).

Conclusions

El que es desprèn de la recerca aquí presentada és que hi ha un augment de l'erosió després d'incendis forestals, i que cada lloc experimentarà una major o menor erosió depenent de les pròpies característiques del sòl així com del moment en que l'incendi tingui lloc. El coneixement del sòl és bàsic per a poder decidir si s'han de prendre mesures postincendi: mesures conservadores del sòl (recobriment del sòl per evitar l'impacte directe de la pluja, creació de feixes), tala d'arbres, reforestació, etc.

S'ha comprovat com la intensitat del foc també és un factor determinant en l'increment de l'erosió. Fóra bo que es tingués en compte què es pot fer perquè quan hi hagi un incendi, que per altra part el nostre país sempre han

tingut lloc, aquest sigui tan poc intens com es pugui. Es pot pensar en una bona gestió del bosc, que si bé no evitarà tots els incendis, sí que farà que les seves conseqüències, entre elles l'erosió, no siguin tan dramàtiques.

Agraïments

Part d'aquest treball ha estat possible gràcies al projecte «Desertification Risk Assessment and Land Use in a Mediterranean Coastal Area».

Bibliografia

- ALONSO, M.; VEGA, J. A. & BARÁ, S. 1996. Biochemical parameters to indicate fire damages in *Pinus Pinaster* stand. *Fire Ecology and European Biota*. Toledo: 7.
- ANDERSON, H. W.; COLEMAN, G. B. & ZINKE, P. J. 1959. Summer slides and winter scour dry-wet erosion in southern California mountains. *USDA For. Serv. Tech. Pap.* PSW-36, 12 p.
- ANDREU, V.; RUBIO, J. L.; FORTEZA, J. & CERNI, R. 1994. Postfire effects on soil quality and nutrient losses. In: *Proc. 2nd Int. Conf. Forest Fire Research*. Vol II, DP.57. Coimbra: 1241-1250.
- BELILLAS, C. M. 1994. Fire effect on particulate matter outputs in a heathland watershed (NE Spain). In: *Soil Erosion as a consequence of forest fires*. (Sala, M. & Rubio, J. L., Eds). Geofoma Ediciones. Logroño: 255-265.
- BURNS, P. Y. 1952. Effects of fires forest soils in the pine barren region of New Jersey. *Yale Univ. School For. Bull.*, 57: 50 p.
- CALVO, A. & CERDA, A. 1994. An example of the changes in the hydrological and erosional response of soil after a forest fire, Pedralba (Valencia), Spain. In: *Soil Erosion as a consequence of forest fires*. (Sala, M. & Rubio, J. L., Eds). Geofoma Ediciones. Logroño: 99-110.
- CAMPBELL, R. E.; BAKER, Jr.; FFOLIOT, P. F.; LARSON, F. R. & AVERY, C. C. 1977. Wildfire effects on a ponderosa pine ecosystem: an Arizona case study. *USDA For. Serv. Res. Pap.* RM. 191, 12 p.
- COELHO, C. O.; SHAKESBY, R. A.; WALSH, R. D.; TERRY, J. & FERREIRA, A. 1990. Responses of surface and subsurface soil water movement and soil erosion to forest fires in *Eucalyptus globulus* and *Pinus pinaster* forest, Agueda basin. *Proceedings of International Conference on Forest Fire Research*. Coimbra.
- CONNAUGHTON, C. A. 1935. Forest fire and accelerated erosion. *J. For.* 33: 751-752.
- COPLEY, T. L.; FORREST, A. L.; McCALL, A. G. & BELL, F. G. 1944. Investigations in erosion control and reclamation of eroded land at the Central Piedmont Conservation Experiment Station. Statesville, N. C. U. S. *Dept. Agric. Tech. Bull.*, 873, 66 p.
- DANIEL, H. A.; ELWELL, H. M. & COX, M. B. 1943. Investigations in erosion control and the reclamation of eroded land at the Red Plains Conservation Experiment Station, Guthrie, Oklahoma. *U. S. Dept. Agric. Tech. Bull.*, 837: 1930-1940.
- DeBANO, L. F. & CONRAD, C. E. 1976. Nutrient loss in debris and runoff water from a burned chaparral watershed. *Fed. Inter-Agency Sediment Conf. Proceedings*, 3: 13-27.
- DELABRAZE, P. 1990. Les Debroussaillments. *Revue Forestière Française XLII*, número especial: 124-126.
- DÍAZ-FIERROS, F.; BENITO, E. & PÉREZ, R. 1987. Evaluation of the USLE for the prediction of erosion in burnt forest areas in Galicia. (NW, Spain). *Catena.*, 14: 189-199.
- DÍAZ-FIERROS *et al.* 1990. Solute loss and soil erosion in burnt soil from Galicia (NW Spain). *Fire in Ecosystem Dynamics*. (Goldammer and Jenkins, eds). SPb Academic Publishing: 103-116.
- DÍAZ-FIERROS, F.; BENITO, E. & SOTO, B. 1994. Action of forest fires on vegetation cover and soil erodibility. In: *Soil Erosion as a consequence of forest fires*. (Sala, M. & Rubio, J. L., Eds). Geofoma Ediciones. Logroño: 163-176.
- DOUGLASS, J. E., & VAN LEAR, D. H. 1983. Prescribed burning and water quality of ephemeral streams in the piedmont of South Carolina. *Forest Science* 29 (1): 181-189.
- EATON, E. C. 1932. Relation of fires to water conservation in Los Angeles county. *J. Forest.*, 30: 605-607.
- FERRAN, A. & VALLEJO, V. R. 1990. Soil organic layers evolution after fire in *Quercus ilex* L. ecosystems. *Proceedings of the International Workshop Quercus Ilex L. Ecosystems: function, dynamics and management*. CNRS: 151-152.
- FORSLING, C. L. 1931. A study of the influence of herbaceous plant cover on surface runoff and soil erosion in relation to grazing on the Wasatch Plateau in Utah. *U.S. Dep. Agric., Tech. Bull.*, 220, 71 p.
- FREDRIKSEN, R. L. 1978. Changes in streamflow and water quality from clearcutting with and without slash burning on the Fox Creek Watersheds. *Bull. Run Watershed*. Forestry Sciences Laboratory, Corvallis. 13 p.
- GIOVANNINI, G. 1994. Effect of fire on soil quality. In: *Soil Erosion as a consequence of forest fires*. (Sala, M. & Rubio, J. L., Eds). Geofoma Ediciones, Logroño: 15-27.
- HAIG, I. T. 1938. Fire in modern forest management. *J. For.*, 36: 1045-1051.
- HEEDE, B. H.; HARVEY, D. & LAID, J. R. 1988. Sediment delivery linkages in a Chaparral watershed following a wildfire. *Environmental management*, 12(3): 349-358.

- HENDRICKS, B. A. & JOHNSON, J. M. 1944. Effects of fire on steep mountain slopes in Central Arizona. *Journal Forestry*, 24: 568-571.
- HIBBERT, A. R. 1985. Storm runoff and sediment production after wildfire in chaparral. *Proceedings of the meeting Hydrology and water resources in Arizona and the Southwest*. Nevada.
- HUDSON, J. *et al.* 1983. Prescribed burning of Pinus oocarpa in Honduras. II. Effects on surface runoff and sediment loss. *For. Ecol. Management*, 5: 269-281.
- IBAÑEZ, J. J.; LOBO, M. C.; ALMENDROS, G. & 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*, 24: 27-42.
- KINAKO, P. D. S. & GIMINGHAM, C. H. 1980. Heather burning and soil erosion on upland heaths in Scotland. *Journal of Environment Management*, 10: 277-284.
- KOLOK, E. I. 1931. Erosion: a problem in forestry. *J. Forest.*, 29: 193-198.
- KRAMMES, J. S. 1960. Erosion from mountainside slopes after fire in southern California. *USDA For Serv. Res. Note PSW-171*, 8 p.
- LOURENÇO, L.; GONÇALVES, A. & BENTO, A. 1990. Cartography of forest fires recorded in Central Portugal from 1983 to 1989. *Int. Conf. Forest Fire Research*, A. 08: 1-16.
- LOWDERMILK, W. C. 1930. Influence of forest litter, run-off, percolation and erosion. *J. Forest.*, 28(4): 474-491.
- LUTZ, H. J. 1934. Ecological relationships in the pitch pine plains of southern New Jersey. *Yale Univ. School For. Bull.*, 38. 80 p.
- MARQUÈS, M. A. 1991. Soil erosion research: Experimental plots on agricultural and burnt environments near Barcelona. In: *Soil Erosion as a consequence of forest fires*. (Sala, M. & Rubio, J. L., Eds). Geofoma Ediciones, Logroño: 153-164.
- MARTIN, C. & CHEVALIER, Y. 1994. Results of the first year of post-forest fire hydrochemical measures on the Rimbaud stream (Massif des Maures, Var, France). In: *Soil Erosion as a consequence of forest fires*. (Sala, M. & Rubio, J. L., Eds). Geofoma Ediciones. Logroño: 241-253.
- MARTIN, Cl. 1996. L'érosion hydrique à l'échelle de la parcelle et d'un petit bassin versant après incendie de forêt dans le Massif des Maures. *Étude et Gestion des Sols*, 3, 3.: 179-192.
- MEGAHAN, W. F. & MOLITOR, D. C. 1975. Erosional effects of wildfire and logging in Idaho. *Water Manage Symp*: 423-444.
- MEGINNIS, H. G. 1935. *Effect of cover on surface runoff and erosion in the loessial uplands of Mississippi*. U.S. Dep. Agric. Circ. 347, 15 p.
- MORENO, J. M. 1990. Los ecosistemas terrestres mediterráneos y el fuego. *El papel del fuego en los ecosistemas mediterráneos*. Universidad Internacional Menéndez Pelayo. Valencia. 46-50.
- MUSGRAVE, G. W. 1935. The infiltration capacity of soils in relation to control of surface run-off and erosion. *J. Agron.*, 27: 336-345.
- MUSGRAVE, G. W. & FREE, G. R. 1936. Some factors which modify rate and total amount of infiltration of field soils. *J. Agron.*, 28: 727-759.
- NAVEH, Z. 1990. The role of fire and its management in the conservation of Mediterranean ecosystems and landscapes. *El papel del fuego en los ecosistemas mediterráneos*. Universidad Internacional Menéndez Pelayo. Valencia: 3-22.
- POPE, J. B.; ARCHER, J. C. & JOHNSON, P. R. 1946. Investigations in erosion control and reclamation of eroded sandy clay lands of Texas, Arkansas and Louisiana, and the conservation and the Conservation Experiment Station, Tyler, Texas. *U. S. Dept. Agric., Soil Conservation Service, Tech. Bull.* 916. 76 p.
- RIGOLOT, E. 1995. Le Brûlage dirigé en région méditerranéenne française. Le Brûlage dirigé. *Informations DFCI*, n° 34, Cemagref, Aix-en-Provence:1-2.
- RODRÍGUEZ, D. A. 1996. *Incendios forestales*. Mundi-Prensa México. 630 p.
- ROMANYÁ, J.; KHANNA, P. K. & RAISON, R. J. 1994. Effects of slash burning on soil phosphorous fractions and sorption and desorption of phosphorous. *Forest Ecology and management*, 65, 89-103.
- SALA, M.; SOLER, M. & PRADAS, M. 1994. Temporal and spatial variations in runoff and erosion in burnt soils. *2nd Int. Conf. Forest Fire Research*. Coimbra. Vol. II.: 1123-1134.
- SALA, M. 1998. Hazards and impacts of forest fires in a changing land use environment. *Global Change Konsequenzen für die Umwelt*. Franz Steiner Verlag Stuttgart: 85-94.
- SÁNCHEZ, J. R., MANGAS, V. J., ORTIZ, C. & BELLOT, J. 1994. Forest fire effect on soil chemical properties and runoff. In: *Soil Erosion as a consequence of forest fires*. (Sala, M. & Rubio, J. L., Eds). Geofoma Ediciones. Logroño: 53-65.
- SOLER, M. & SALA, M. 1990. La erosión producida tras un incendio en un encinar. *Actas de la 1ª Reunión Nacional de Geomorfología*, Teruel: 669-675.
- SOLER, M., SALA, M. & GALLART, F. 1994. Post fire evolution of runoff and erosion during an eighteen month period. A: Sala, M. & Rubio, J. L., Eds. *Soil Erosion as a consequence of forest fires*. Geofoma Ediciones. Logroño: 149-161.
- SOTO, B., BASANTA, R., BENITO, E., PÉREZ, R. & DIAZ-FIERROS, F. 1994. Runoff and erosion from burnt soils in northwest Spain. A: Sala, M. & Rubio, J. L., Eds. *Soil Erosion as a consequence of forest fires*. Geofoma Ediciones. Logroño: 91-98.
- TEDROW, J. C. F. 1952. *Soil conditions in the Pine barrens of New Jersey*. Bartonía 26. 28 p.
- TERRY, J. P. 1994. Soil loss from erosion plots of differing post-fire forest cover, Portugal. A: Sala, M. & Rubio, J. L., Eds *Soil Erosion as a consequence of forest fires*. Geofoma Ediciones. Logroño: 133-148.
- THOMAS, A. D. 1994. Impact of forest fire on nutrient levels in soil and solutes transported by overland flow, Northern Portugal. *Proc. 2nd Int. Conf. Forest Fire Research*. Vol II, D33. Coimbra: 1111-1121.

- THOMPSON, M. W. 1935. Erosion in the Black Hills after burning of forest cover. In: *U.S. Dep. Agric. Yearb. Agric.*: 181-184.
- TRABAUD, L. 1994. Plant and fire variability relationships more specifically in the Mediterranean basin. *Proc. 2nd Int. Conf. Forest Fire Research*. Vol I, L.05. Coimbra: 53-58.
- ÚBEDA, X. & SALA, M. 1996. Impact of forest fires on slope hydrology: four case study. *Workshop on Fire Ecology and the European Biota*. Toledo. p 26.
- ÚBEDA, X. 1998. Efectes de les diferents intensitats de foc, durant els incendis forestals, en els paràmetres físico-químics del sòl i en l'increment de l'escolament i l'erosió. Tesis doctoral. Universitat de Barcelona.
- ÚBEDA, X. 1999. Canvis en la capacitat d'infiltració d'un sòl després d'un incendi forestal al massís de Cadiretes. Importància de la intensitat del foc en les taxes d'infiltració. *Scientia gerundensis*, 24: 41-51.
- URSIC, S. J. 1970. Hydrologic effects of prescribed burning and deadening upland hardwoods in northern Mississippi. *USDA For. Serv. Res. Pap.* SO-54. 15 p.
- VALETTE, J. C.; RIGOLOT, E. & ETIENNE, M. 1993. Combinaison des techniques de débroussaillage pour l'aménagement de défense de la forêt contre les incendies. *ONF Bulletin Technique*, 26: 21-29.
- VEGA, J. A.; BARA, S.; VILLANUEVA, M. A. & ALONSO, M. 1983. Erosión después de un incendio forestal. Dpto. de Lourizan. 24 p.
- VICENTE, A. M. & SOLER, B. 1993. *El foc, un desastre ecològic?. Els efectes dels incendis a la Catalunya Central*. Monogràfics dels Centre d'Estudis del Bages, 12. 185 p.
- WALSH, R. P. D.; SHAKESBY, R. A. & COELHO, C. O. A. 1988. The erosional impact of forest fire in the Agueda drainage basin, Portugal. *Swansea Geographer*, 25: 88-98.
- WELLS, C. G. 1981. Some effects of brushfires on erosion processes in Coastal Southern California. A: Erosion and sediment transport in Pacific Rim Steeplands. *I.A.H.S. Publ.*, 132. Christchurch.
- WRIGHT, H. A.; CHURCHILL, F. M. & STEVENS, C. 1976. Effect of prescribed burning on sediment, water yield, and water quality from dozed juniper lands in central Texas. *J. Range Manage.*, 29(4): 294-298.