

El foc com a causant de canvis en les propietats del sòl. Incendis forestals i cremes prescrites

Luís Outeiro

*GRAM (Grup de Recerca Ambiental Mediterrània). Universitat de Barcelona.
Departament de Geografia Física i AGR. Barcelona*

Francesc Asperó

*GRAM (Grup de Recerca Ambiental Mediterrània). Universitat de Barcelona.
Departament de Geografia Física i AGR. Barcelona*

Jorge Mataix-Solera

*GEA (Grup d'Edafologia Ambiental). Universitat Miguel Hernández.
Departament d'Edafologia i Química Agrícola
Elx, Alacant*

Xavier Úbeda

*GRAM (Grup de Recerca Ambiental Mediterrània). Universitat de Barcelona.
Departament de Geografia Física i AGR. Barcelona*

Resum

Aquest article pretén ser una aproximació als efectes que el foc té en el sòl. Primer de tot, presentem els motius pels quals els incendis forestals han esdevingut un problema mediambiental a Catalunya. Resumim l'actual política de prevenció de Grans Incendis Forestals per part dels Bombers de la Generalitat. En el cos central de l'article, donem una àmplia visió dels efectes del foc en el sòl i finalment, per a qui pugui estar interessat a trobar més informació, repassem tots els grups que es dediquen internacionalment a fer estudis en aquest

mateix àmbit. Es pot comprovar l'heterogènia procedència científica dels grups involucrats en l'estudi del foc i el sòl.

Mots clau: Foc, Sòl, Mediterrània, Grups de recerca.

Resumen

Este artículo pretende ser una aproximación a los efectos que el fuego tiene en el suelo. Primeramente, presentamos los motivos por los cuales los incendios forestales han llegado a ser un problema medioambiental en Catalunya. Se resume también la actual política de prevención de Grandes Incendios Forestales por parte de los Bomberos de la Generalitat. En la parte central del artículo, se da una amplia visión de los efectos del fuego en el suelo y finalmente, para quien pudiera estar interesado, repasamos todos los grupos que se dedican internacionalmente a este tipo de estudios en este mismo ámbito. Se puede comprobar la heterogeneidad en la procedencia científica de los grupos involucrados en el estudio del fuego y el suelo.

Palabras clave: Fuego, Suelo, Mediterráneo, Grupos de investigación.

Abstract

This article presents a review of the effects of forest fires on the ground. Firstly, we present the reasons by which forest fires have become an environmental problem in Catalunya. We also summarize the present policy of Firefighters of Generalitat of Catalonia for Great Fires prevention. In the central part of the article, we present a wide overview of the different types of effects of forest fires on the ground and also we reviewed all the international groups internationally that work in this research field. We verify the diverse scientific origin of the groups involved in the study of the fire and the ground and the heterogeneity of their approaches.

Keywords: Fire, Ground, Mediterranean, Research groups.

Introducció

Diversos motius científics ens van portar a organitzar a Barcelona el congrés "International Meeting of Fire Effects on Soil Properties" (Congrés Internacional sobre els Efectes del Foc en el Sòl), els quals s'enumeren a continuació.

En primer lloc, ens trobàvem en disposició de fer-ho: coneixíem molta gent d'arreu del món que podria estar interessada en un congrés d'aquest

tipus i alhora estàvem acabant un projecte d'aquesta mateixa temàtica. En segon lloc, era l'oportunitat de fer un congrés d'àmbit molt específic. Crèiem en la necessitat d'organitzar alguna reunió que satisfés científicament tothom que vingués. El congrés va tenir lloc entre els dies 31 de gener, 1, 2 i 3 de febrer de 2007. Més de 100 congressistes de 18 països diferents van assistir a les jornades.

L'article que presentem intenta ser un estat de la qüestió d'aquesta problemàtica que afecta pràcticament totes les regions del món. No només volem centrar-nos en la manera que els incendis forestals afecten el sòl, sinó que pretenem fer-ho més àmpliament. En aquest sentit, cal apuntar que no només parlarem d'incendis, sinó també del FOC, ja que els incendis no són l'única cosa que incideix en el sòl. Tot sovint els incendis forestals de gran extensió no són incendis forestals *stricto sensu*. Així mateix, cal entendre que el foc produeix un determinat grau d'afectació en el sòl quan s'utilitza com a eina de gestió territorial.

De totes maneres, malgrat que hi hagi una part important d'efectes en el sòl que pugui ser general arreu, a l'article ens centrem especialment en els efectes en sòls d'àmbit mediterrani.

Problemàtica dels incendis a Catalunya

A Catalunya, els anys del canvi del que avui dia coneixem com a Grans Incendis Forestals (GIF) van tenir lloc a la dècada dels vuitanta. Malgrat que els incendis han estat recurrents al llarg de tota la història, mai no havien adquirit la gran magnitud del 1986. Es varen cremar més de 60.000 ha, entre les quals cal comptar les arrasades pel foc a la muntanya de Montserrat.

Després van venir uns anys amb ben poc protagonisme dels incendis forestals, si no hagués estat per les campanyes de prevenció de l'estiu, i hi havia la sensació que els incendis forestals eren història com a problema.

Tanmateix, l'any 1994 els boscos a Catalunya van viure un dels moments més tràgics, ja que el foc va calcinar més de 70.000 ha. El 1994 va passar a anomenar-se "l'any dels incendis de la Catalunya Central". En aquell moment, potser es va pensar més en la mala fortuna que en l'existència d'un problema, i no va ser fins el 1998 amb "l'incendi del Solsonès" quan es va fer evident que hi havia un problema de fons greu i que calia resoldre'l urgentment. En aquests moments el 0,4% dels incendis són responsables del 96% de tota l'àrea cremada (GRAF, comunicació oral).

Com era possible que els serveis d'extinció no poguessin fer front a un incendi forestal? Potser el mateix problema podia conduir-nos a l'explicació. L'extinció d'incendis és tan eficient que el foc ja no crema el que potencialment és combustible. Per això, si any rere any l'extinció és eficient, el volum de combustible preparat per provocar un Gran Incendi Forestal va creixent. No obstant això, arribar a aquesta conclusió no és senzill. És el que ara tothom ja anome-

na la paradoxa dels incendis: “com més bons som apagant incendis, més intens pot ser l’incendi que es desencadeni en una situació de risc màxim” (Piñol, 2004).

Tot i així, aquesta no és l’única explicació del problema. Tots sabem que com molts altres territoris d’arreu del món, durant les últimes dècades Catalunya ha experimentat un abandonament del camp amb un canvi conseqüent en els usos del sòl, i això ha representat una regeneració del bosc on abans hi havia prats, pastures o camps de conreu. Però no tan sols això, ja que la gent que vivia d’aquestes pastures i camps ja no fa servir el bosc com a font d’energia, fet pel qual cada vegada hi ha més combustible al bosc preparat per cremar (Piqué, 2004).

Hi hauria un altre fenomen que cal tenir en compte. Un incendi es produeix perquè el triangle combustible, oxigen, calor més espurna es tanca. Molts cops aquesta espurna la provoca algú que és al bosc, es presenta de manera accidental, intencionada o fortuïta. Per diversos motius, cada vegada més gent va al bosc i fins i tot s’hi construeixen cases de primera i segona residència. No és molt recurrent la sensació de no saber on s’acaba el bosc i on comença la ciutat? Cal afegir que segurament els incendis no serien un problema si es pogués aconseguir un rendiment econòmic del bosc, però ara per ara obtenir-ne alguna font d’ingressos és un fet excepcional.

Un cop s’ha entès l’arrel del problema, tasca no pas sempre fàcil, es pot pensar en les solucions. Sovint les solucions que es plantegen no són del gust de tothom, però val a dir que les decisions que surten del marc mediambiental *stricto sensu* i finalment esdevenen problemes polítics i econòmics difícilment fan content a tothom (Plana, 2004).

Després d’aquests grans incendis forestals, era hora de pensar no tan sols en l’extinció, és a dir, com combatre els incendis forestals, sinó també de centrarse en la prevenció. El 1999 la Generalitat va crear un grup dins del cos de bombers anomenat GRAF (Grup de Reforç a Actuacions Forestals). Aquest grup plantejava que els bombers treballessin en l’extinció d’incendis, afegint com a innovació les activitats de prevenció durant tot l’any. El GRAF va introduir la idea que si s’havia de combatre l’incendi, el primer que calia fer era conèixer-lo, motiu pel qual la història pot aportar molts coneixements a fi d’entendre per què els incendis es comporten d’una certa manera en determinats llocs i situacions. Així l’extinció potser més eficaç (Castellnou et al., 2004).

Però com hem dit, els GRAF també es dediquen a fer prevenció. Una de les eines introduïdes per prevenir els Grans Incendis Forestals va ser el mateix foc. Des de 1999 el foc s’utilitza com a gestor del bosc, una tècnica anomenada “foc prescrit” o “crema prescrita” (al llarg del text també fem servir la forma abreujada “crema”).

Existeixen altres objectius pels quals a Catalunya s’han fet cremes, com ara per tal de gestionar les ignicions de matolls intencionades, per motius de circulació, pastures, caça, turisme, etc. Per mitjà de la ignició controlada s’afavoreix evitar les ignicions perilloses (Galán i Leonart, 2004).

Els objectius que es persegueixen en una crema sempre són molt diversos, tan diversos com qualsevol actuació que es realitzi sobre un ecosistema. Abans que res, cal aclarir que una crema no és un incendi. La principal diferència rau en la intensitat del foc, de manera que aquest factor determina si el foc beneficia o perjudica el medi.

Les cremes es basen en la pràctica de foc de baixa intensitat conduït artificialment per tal que no pugui propagar-se per mitjà d'una evolució lliure. Les cremes s'executen obeint un "pla de crema" prèviament dissenyat i aprovat on s'especifica clarament la "finestra de prescripció", que engloba el conjunt de condicions meteorològiques, topogràfiques i de combustible disponible que cal tenir presents per poder garantir un control absolut del foc (Martínez i Larrañaga, 2004).

En funció del tipus de crema es persegueix un tipus d'objectiu o un altre, i a partir d'aquí les condicions que marca la finestra de prescripció s'executen seguint un determinat "patró d'ignició", és a dir, una forma prefixada d'encendre i conduir el foc. Els patrons de crema poden ser diversos però, principalment, es basen en variacions o estratègies de conduir el foc mitjançant una evolució de cap, de flanc o de cua.

Un fet molt important des del punt de vista científic és que el GRAF sempre ha permès que les seves cremes fossin camps d'experimentació per als grups de recerca. Una crema és un escenari on es poden controlar moltes variables que quan es coneixen poden sotmetre's a experimentació. Hi ha diverses variables interessants d'estudiar: com afecta el foc a la fauna? i a la vegetació? i al sòl? Com es comporta el foc? Molts grups de recerca aprofitem científicament aquesta infraestructura experimental.

Les cremes prescrites són una actuació polèmica. No tothom accepta aquest tipus de gestió forestal. Per això, el GRAF també està interessat que s'estudiïn tots els aspectes relacionats amb la crema. Cal donar respostes i pensar en tots els beneficis i inconvenients que aquesta gestió pot representar. Ara bé, sempre es fa necessària la cerca d'un equilibri que condueixi cap a una situació sostenible del bosc. Tampoc no és vàlida la crítica d'una actuació sobre el bosc sense proposar una alternativa.

Efectes del foc en el sòl

No hem d'oblidar que els incendis forestals són un factor ecològic natural en els ecosistemes mediterranis (Naveh, 1974). No obstant això, des de fa unes dècades hi ha una alteració de la freqüència i règim natural dels incendis, que sens dubte és provocada per factors antròpics. Aquest fet té conseqüències notables sobre els ecosistemes afectats. Com a part del medi, el sòl també pateix canvis arran dels incendis. Tant d'una manera directa com indirecta, el foc afecta el sòl, però el grau d'afecció pot ser molt diferent segons una sèrie de factors: intensitat del foc, tipus d'incendi i de sòl, condicions edafoclimàti-

ques, orografia del terreny, etc. Dins d'una mateixa àrea afectada per un incendi forestal pot succeir que unes zones estiguin edàficament molt deteriorades per efecte directe del foc, mentre que d'altres no. Per això, el coneixement dels efectes del foc en el sòl és tan important. L'establiment precís d'uns paràmetres que determinin l'estat del sòl és d'un interès vital si es vol especificar les zones sobre les quals és necessari actuar o no i també com hauria de ser el grau d'actuació. Indirectament o directa, els incendis forestals provoquen modificacions físiques, químiques i biològiques en els sòls.

Modificacions en el pH

En qualsevol incendi, l'acidesa del sòl queda reduïda a causa de l'aportació de cations, fonamentalment Ca, Mg, K, Si i P, així com de determinats microelements (Khanna i Raison, 1986; Etiégni i Campbell, 1991), òxids i carbonats presents al llit de cendres. Quan aquestes cendres s'humitegen es produeix la hidròlisi dels cations bàsics que hi ha continguts i, a continuació, l'elevació del pH (Kutiel et al., 1990; Ulery et al., 1995).

Canvis en la conductivitat elèctrica

La incorporació i increment de cendres minerals produeix un augment notable de la salinitat del sòl (DeBano et al., 1977; Hernández et al., 1997), ja que solubilitza ions que prèviament estaven immobilitzats (Kutiel i Inbar, 1993; Mataix Solera et al., 1996b).

Alteracions quantitatives i qualitatives de la matèria orgànica

En funció de la intensitat del foc, la matèria orgànica experimenta diferents transformacions qualitatives i quantitatives amb repercussions ecològiques. El contingut de matèria orgànica acostuma a decreixer després d'un incendi d'alta intensitat si el foc n'ha afectat directament els horitzons més superficials (Jablanzy, 1964; Kutiel i Naveh, 1987; Giovannini, 1990; Fernández, 1991; Mataix Solera et al., 1996; Mataix Solera et al., 1999). Malgrat això, en incendis de baixa intensitat el contingut de matèria orgànica del sòl pot augmentar per l'aportació de material vegetal semipirolitzada (Jorgensen, 1971; Wells, 1981; Mataix Solera et al., 1996a). La matèria orgànica és un component essencial del sòl, atès que en millora considerablement les propietats físiques, químiques i biològiques; també juga un paper de primer ordre en la composició i manteniment de l'estructura del sòl en actuar com a agent de cimentació de les partícules i augmentar l'estabilitat estructural a causa de l'increment d'agregats organominerals. L'increment d'agregats es deu tant a l'augment dels percentatges de matèria orgà-

nica indispensables per a la gènesi, com al dels cations de canvi que actuen d'enllaç entre l'argila i la matèria orgànica. El resultat final és l'augment de l'estabilitat estructural i, per tant, s'afavoreix la disminució de l'acció erosiva.

Modificacions en la capacitat d'intercanvi catiònic

Si el foc actua directament sobre el sòl, la reducció percentual de matèria orgànica es tradueix, a més, en un descens de la capacitat de canvi en una proporció més o menys directa a aquesta reducció (Carballas, 1993). A grans trets, es pot observar una bona correlació entre la quantitat de matèria orgànica i la disminució de la capacitat d'intercanvi catiònic. D'aquesta manera, una part dels cations alliberats no pot ser retinguda en el complex absorbent i pot ser rentada més fàcilment cap a horitzons profunds en el perfil del sòl o ser arrossegada sobre el sòl nu per l'aigua després de les primeres pluges. El resultat final és, probablement, un empobriment del sòl ja que, encara que existeixin més nutrients en la dissolució, la capacitat de mantenir-ne les reserves disminueix.

Alteració del contingut i formes de nitrogen, fòsfor i altres macro i micronutrients

El foc interromp els cicles dels nutrients i particularment el del nitrogen experimenta modificacions evidents. Alguns dels efectes del foc són directes, ja que es produeix volatilització i oxidació del nitrogen orgànic acumulat en l'humus (Raison, 1979 i 1992; Serrasolses, 1994; Mataix Solera et al., 1999). Altres efectes són indirectes i es produeixen en alterar les propietats físiques i químiques, que alhora condicionen les transformacions del nitrogen. El nitrogen orgànic, més fàcilment biodegradable, disminueix, i part d'aquesta fracció es transforma inicialment en amoníac (Prieto et al., 1993). De totes maneres, en certes ocasions (incendis aeris) es pot produir un augment de nitrogen total per incorporació de restes vegetals en forma de cendres semipirolitzades (Martínez Sánchez, 1994). En general, el contingut de fòsfor disponible per a les plantes augmenta després dels incendis forestals (Raison, 1979) a causa de la transformació de fòsfor orgànic en fòsfor inorgànic (Saa et al., 1993; Carballas et al., 1993; Romanyá et al., 1993; Serrasolsas, 1994) i de la incorporació de cendres generades per la combustió de la vegetació (Carreira i Niell, 1995; Mataix-Solera et al., 1999).

Alteració de la textura del sòl i la fracció mineral

Els incendis forestals poden ocasionar canvis de textura en els sòls directament o no. A zones afectades pel foc, s'ha observat un augment de partícules

gruixudes com sorres i graves (Ulery i Graham, 1993) i disminucions dels continguts de partícules fines, com ara argiles i llims immediatament després del foc. Segons diversos autors, aquest efecte encara es pot observar un cop transcorreguts dos anys després de l'incendi i probablement és ocasionat per reagrupaments de les partícules minerals (Bará i Vega, 1983). Algunes proves en què s'han sotmès sòls a temperatures elevades indiquen la mateixa tendència (Almendros et al., 1984). No obstant això, altres autors no han trobat canvis significatius en la textura de sòls sotmesos a incendis forestals (Ruiz del Castillo, 1988; Mataix Solera, 1997).

Modificacions en el contingut d'agregats estables

És habitual que després dels incendis es detecti una reducció de l'estabilitat dels agregats (Giovannini et al., 1983) relacionada amb la pèrdua de matèria orgànica (Giovannini et al., 1989). Aquesta reducció d'agregats estables en el sòl, en algun cas també s'ha atribuït a una característica intrínseca del sòl, com pot ser la composició textural. És possible observar tendències contràries quan hi ha focs de baixa intensitat o de capçada (Ibañez et al.; 1983; Díaz-Fierros et al.; 1987; Mataix Solera et al., 1996a) en els quals l'agregació o bé augmenta (per increment del contingut de matèria orgànica) o bé registra lleugeres modificacions (Mataix Solera et al. 1999). Els focs superficials poc intensos poden fer augmentar lleugerament la quantitat de matèria orgànica del sòl, com a resultat de l'aportació de matèria vegetal que no ha experimentat una combustió completa (Fernández et al., 1988; Ibañez et al.; 1983); així mateix, els focs superficials poc intensos poden conduir a un creixement de l'agregació de partícules. Tanmateix, en els incendis d'alta intensitat es produeix una disminució irreversible de matèria orgànica del sòl. En aquests casos se'n pot arribar a alterar directament l'estructura dels horitzons superficials (Vázquez et al., 1993), situació possible quan es cremen grans concentracions de combustible sec en un sòl i pis forestal també secs (McNabb i Swanson, 1990).

Alteració qualitativa i quantitativa de les poblacions de microorganismes del sòl

Habitualment, el foc produeix un efecte letal immediatament després del pas sobre les poblacions de microorganismes (Díaz-Raviña et al., 1992) i repercussions encara més significatives en el seu hàbitat. En un inici la biomassa microbiana es pot reduir dràsticament en l'horitzó més superficial del sòl (Prieto-Fernández et al., 1998), però aquesta conseqüència depèn de la intensitat i durada del foc. No obstant això, al cap de poc temps i a causa de canvis abiòtics s'acostumen a produir increments exponencials de bacteris en moments en què la humitat és elevada. Aquesta situació també està motivada

pels factors següents: una aportació de nutrients per part de les cendres, un augment del pH (aquest efecte serà més marcat si el sòl on hi ha hagut l'incendi és àcid) i un augment de la temperatura del sòl, com a conseqüència d'una major radiació en haver-hi manca de vegetació (Serra et al., 1992) i en absorbir més calor quan les cendres tenen un color fosc. Quan es registra un increment del nombre de microorganismes, acostumen a proliferar-ne més uns que d'altres. Els amonificants es veuen afavorits, mentre que es redueixen els cel·lulòsics i els nitrificants. Atesa la seva naturalesa proteica, els enzims del sòl s'inactiven per la calor i el baix nivell d'activitat persisteix fins al cap de dos anys (Carballas et al., 1993). Les activitats proteolítiques i desnitrificants augmenten en relació amb els sòls controlats a les àrees afectades per incendis (Velasco et al., 1986).

També poden produir alteracions en el sòl que de manera indirecta i directa causin problemes sobre el cicle hidrològic, com ara les que exposem tot seguit.

Formació de substàncies hidrofòbiques

Un dels efectes que pot causar el foc sobre els sòls malmesos és un increment de la hidrofobicitat (repel·lència a l'aigua). Aquest resultat ha estat citat per diversos autors des de finals dels anys seixanta (DeBano et al. 1970). L'acumulació de cendres minerals i la combustió de la matèria orgànica pot induir o fer augmentar la hidrofobicitat si s'assoleixen temperatures de 200 a 250°C (Osborn et al. 1964) o fins i tot destruir-la si la temperatura registrada en el sòl durant l'incendi es mou entre 270 i 300°C (DeBano et al. 1976; Nakaya 1982). En determinats casos, les variacions d'hidrofobicitat no es detecten ni en sòls que oposen una gran repel·lència a l'aigua abans d'ocórrer l'incendi, ni en el cas de no assolir-se temperatures suficients per destruir aquestes substàncies (Doerr et al., 1998). L'increment de substàncies hidrofòbiques també contribueix a obturar els porus, fet que potencia la reducció de la infiltració i l'augment de l'escolament superficial (Sanroque et al., 1985; DeBano, 1981; Úbeda et al., 1990; Imeson 1992). Generalment aquestes substàncies es renten en profunditat i afavoreixen la formació d'un horitzó hidrofòbic (DeBano et al., 1970; Giovannini et al., 1983). Aquest resultat sembla més acusat quan els sòls tenen textura sorrenca (DeBano et al., 1970, 1976). El procés que hem esmentat contribueix a augmentar la repel·lència dels sòls a l'aigua i de retruc la reducció de la capacitat d'infiltració (DeBano, 1971). Com a conseqüència, la humitat del sòl disponible per a les plantes disminueix i si l'escolament és elevat, té lloc una pèrdua de materials. En sòls àcids i de textura sorrenca s'ha observat més susceptibilitat d'hidrofobicitat (Wallis et al. 1993). No obstant això, encara no s'ha investigat en profunditat ni el grau ni la distribució dels efectes de la hidrofobicitat en les diferents fraccions d'agregats de sòls calcaris (amb un pH elevat) amb textura mitjana, on la fracció fina representa una proporció considerable de la textura del sòl.

Alteració de la infiltració i l'escolament superficial

Els boscos, sobretot d'espècies frondoses, augmenten la humitat ambiental i alhora disminueixen sensiblement l'evaporació, faciliten la infiltració de l'aigua en el sòl i de retruc la càrrega dels aquífers, ja que augmenten el volum emmagatzemat i eviten la salinització de l'aigua. També eviten o ajuden a minvar les avingudes i riudes d'aigua i fang després de les precipitacions torrencials típiques de finals d'estiu i principis de tardor i en disminueixen notablement els efectes devastadors. La vegetació determina la generació de l'escolament en controlar la distribució de les taxes d'infiltració (Cerdà, 1995b). Si després dels efectes del foc la coberta vegetal no es recupera favorablement abans que es produeixin les primeres pluges de caràcter torrencial (acostuma a ser el cas dels focs típics del nostre país), l'impacte de les gotes de pluja sobre el sòl nu contribueix a destruir els agregats. Aleshores, les fraccions més fines obturen els porus, redueixen la velocitat d'infiltració de l'aigua (Ela et al., 1992), en fan augmentar l'escolament superficial (Swanson, 1981) i afavoreixen l'arrossegament d'agregats i nutrients i, en definitiva, es produeix una erosió superficial (Úbeda et al., 1990; Andreu et al., 1994; Úbeda i Sala, 2001). L'estabilitat dels agregats a la superfície del sòl és molt important, ja que els horitzons inferiors estan protegits de la humectació ràpida pels dels nivells superiors. Els agregats inestables en superfície es transformen en crostes que dificulten el moviment de l'aigua i de l'aire en el sòl. Quan un sòl perd capacitat d'infiltració d'aigua, paral·lelament creix la proporció d'aigua d'arrossegament superficial o escolament (Llovet et al., 1994), per la qual cosa poden augmentar notablement els efectes de l'erosió. En vessants escarpats, la pluja pot desencadenar processos erosius que condueixin a la desaparició del sòl i deixin al descobert la roca subjacent. Alguns treballs indiquen que l'orientació dels vessants també influeix en les taxes erosives de zones afectades per incendis forestals, i són els vessants de solana els que experimenten major erosió a mitjà termini (Llovet i Ponce, 1996). La menor capacitat de recuperació de les solanes explicaria aquest fet. La reducció de la velocitat de difusió de l'oxigen pot ser crítica per a la germinació de llavors i pot crear, a continuació, zones anaeròbiques que alterin l'estat químic i microbiològic del sòl. Les crostes superficials seques poden constituir una barrera mecànica evident davant el creixement de la vegetació.

Efecte de les cremes controlades en els sòls

Les cremes controlades s'han desenvolupat des de fa molt temps com a eina de gestió del bosc, especialment als Estats Units i Canadà, i també amb interessos científics. En alguns casos, les cremes controlades s'han dut a terme per iniciativa de l'Administració, i els grups d'investigació han aprofitat aquesta circumstància per desenvolupar estudis, no tan sols en temes relacionats amb

el sòl sinó també amb d'altres de vegetació o fauna. Com veurem en aquest apartat, altres vegades també s'han fet cremes controlades dissenyades especialment per realitzar treballs de recerca (Soler, 1991, Mataix-Solera, 1999). Encara que el foc prescrit s'ha estat utilitzant extensivament per a diferents finalitats sobretot als Estats Units, Canadà, Austràlia, i últimament a Europa, encara existeixen llacunes de coneixement quant als seus efectes a llarg termini. Alguns dels buits d'informació fan referència al possible impacte sobre les característiques dels sòls en què es duen a terme aquests tractaments, especialment després de diverses actuacions (Vega et al., 2000). L'administració pública realitza cremes controlades pel tal de: a) reduir el risc d'incendi, b) facilitar la reforestació, c) eliminar plagues i insectes, d) seleccionar espècies vegetals, i) recuperar camins i rutes i f) proveir i restablir bancs de llavors (Castellnou, 1997). Martin (1981) ja va apuntar que la severitat del foc en una crema controlada pot degradar el sòl, de manera que són necessaris estudis que determinin quin tipus de foc es pot aplicar a cada lloc, com també la intensitat i recurrència més adients pel que fa a aquesta gestió forestal. El mateix autor assenyala que una crema prescrita ha de tenir en compte tots els aspectes afectats (sòl, aigua, vegetació, fauna, entre d'altres) i proposa que el gestor forestal avalui l'efecte net del foc i el compari amb altres opcions de gestió possibles.

Alguns dels resultats de recerques sobre cremes controlades i els efectes en el sòl són els següents: Jurgensen et al. (1981) va observar una reducció del 25% del nitrogen en els 7 primers centímetres després d'una crema controlada de baixa intensitat. Al mateix temps, va comprovar un increment de la quantitat d'amoni l'endemà passat de la crema. Little and Klock (1985) va determinar unes pèrdues de nitrogen superiors als 220 kg/ha. En aquesta crema el sòl es va preparar amb combustible addicional per provocar més intensitat durant la combustió. Beese (1986) va treballar en focs controlats de baixa i d'alta intensitat a la Colòmbia Britànica, on va obtenir pèrdues de 216 kg/ha de nitrogen amb el primer tipus de foc i 1.328 kg/ha amb els focs d'alta intensitat. Covington i Sackett (1986) van estudiar els efectes de la recurrència dels focs controlats. Van constatar com s'incrementaven les concentracions d'amoni i nitrat en sòls cremats al cap d'un, dos i quatre anys. McKay (1998) va concloure que la relació C/N varia significativament després d'una crema controlada, tant en els horitzons orgànics com en els minerals. En un treball realitzat als Estats Units, aquest mateix autor va comprovar que en pinedes de baixa densitat aparentment els sòls faciliten la conversió de la matèria orgànica en amoni. Les parcel·les cremades any rere any tenien una densitat a primer cop d'ull superior que les parcel·les cremades un cop cada quatre anys. Fritze et al. (1992) argumenta que el conjunt d'espècies de la comunitat bacteriana triga més a recuperar-se que la quantitat global d'individus. Nissley et al. (1980) van observar que els nivells de potassi augmentaven després d'una crema de baixa intensitat a la part mineral del sòl i que la mobilitat augmentava a favor del calci i el magnesi. En l'informe sobre

cremes controlades, Lindeburgh (1990) conclou que una crema controlada de baixa intensitat té un risc baix de produir canvis en el sòl, més que no pas en el cas de focs d'alta intensitat, i així mateix que focs sobre terrenys secs tenen més risc de degradació que en sòls més humits. Les conseqüències de la crema depenen de la situació inicial del sòl. Hall (1994) indica que els nutrients es mobilitzen després del foc i que alguns d'aquests nutrients es poden perdre per erosió o bé resituar-se a cotes més baixes. Algunes propietats significatives del sòl es poden veure alterades, com ara la distribució dels paràmetres edàfics en una parcel·la sotmesa a una crema controlada. Aquests paràmetres poden repercutir en el risc d'erosió d'aquest sòl. DeByle i Packer (1981) van investigar els efectes erosius d'una crema prescrita associats a esdeveniments de pluges. Els autors van trobar que gran part del sòl es va erosionar durant els primers dos anys després de la crema. El segon any d'investigació es van registrar un total de 188 kg/ha amb una precipitació de 455 mm, mentre que cinc anys després es van recollir 835 mm però no hi va haver cap efecte erosiu. Durgin (1985) va publicar que un cert escalfament del sòl pot reduir l'erosionabilitat, sobretot de sòls forestals ben desenvolupats, a causa de la reducció de la dispersió de partícules d'argila. Raison (1980) afirma que una freqüència de cremes elevada pot eliminar algunes espècies sempre que la crema es faci abans que aquestes espècies no deixin un mínim banc de llavors. El mantell de cendres suposa una millora de la disponibilitat de nutrients a curt termini. Contràriament a aquesta millora en la disponibilitat, a llarg termini hi ha el risc d'una pèrdua per lixiviació, escolament o volatilització.

A la Península Ibèrica, també s'han portat a terme cremes prescrites i s'han realitzat estudis sobre l'impacte en el sòl. Existeixen dades publicades de les experiències a Galícia i Andalusia. Quant als estudis efectuats a Galícia, es van detectar disminucions mínimes de la taxa de C/N dos anys després de les cremes. En relació amb els nutrients, va haver-hi petites reduccions de N total en algunes de les parcel·les, mentre que el pH va tenir increments significatius en alguns casos. L'aportació de cations procedents de les cendres, la intensitat de la crema i altres característiques edàfiques poden ser les causes d'aquests canvis. A Andalusia els canvis en els continguts de MO, N total, relació C/N i pH del sòl després dels tractaments de crema van ser gairebé nuls. És possible que una pedregositat superficial superior i una textura una mica més pesada del sòl limitessin l'impacte sobre aquestes variables. (Vega et al., 1993). En resum, després dels tractaments de crema es detecten canvis poc destacats i de durada variable d'alguns paràmetres edàfics, mentre que d'altres no pateixen alteracions a simple vista.

Això contrasta amb els efectes dels incendis en els quals s'acostumen a destruir l'estrat arbustiu del sotabosc i també la coberta del sòl morta. En força ocasions, l'MO es consumeix parcialment. Les altes temperatures poden alterar l'estructura de les argiles, la textura del sòl i afavorir la lixiviació a través del perfil, l'erosió i les pèrdues per escolament, entre altres efectes. Aquests pro-

cessos no es van produir en les cremes prescrites. (Vega et al., 1993) Els resultats a Galícia i Andalusia indiquen que l'impacte sobre els nutrients totals de la coberta orgànica del sòl està estretament relacionat amb la reducció de càrrega de combustible d'aquest estrat. Cal remarcar que la conservació de l'humus brut es presenta com un objectiu important a l'hora de minimitzar la pèrdua de nutrients totals. Això és perfectament possible si la crema s'executa amb un nivell d'humitat suficientment alt en aquest estrat que, d'altra banda, no constitueix un combustible perillós per si mateix. Alguns factors com la topografia, la microtopografia, l'orientació, la disposició i el tipus de vegetació tenen influència en les característiques i la localització de les variables edàfiques. Els processos edàfics originats per l'acció del foc estan directament relacionats amb les propietats edàfiques prèvies a la crema. Per tant, és indispensable l'estudi d'aquestes variables anterior a la crema per poder valorar-ne l'efecte. Una anàlisi estadística clàssica només permet avaluar els canvis de manera unitària, és a dir, no té en compte el caràcter espacial del fenomen estudiat. El sòl, com una gran part de les variables mediambientals, presenta una correlació espacial elevada i, per tant, com més junts estan dos punts de mostreig, més característiques es comparteixen (Bernia et al., 2001).

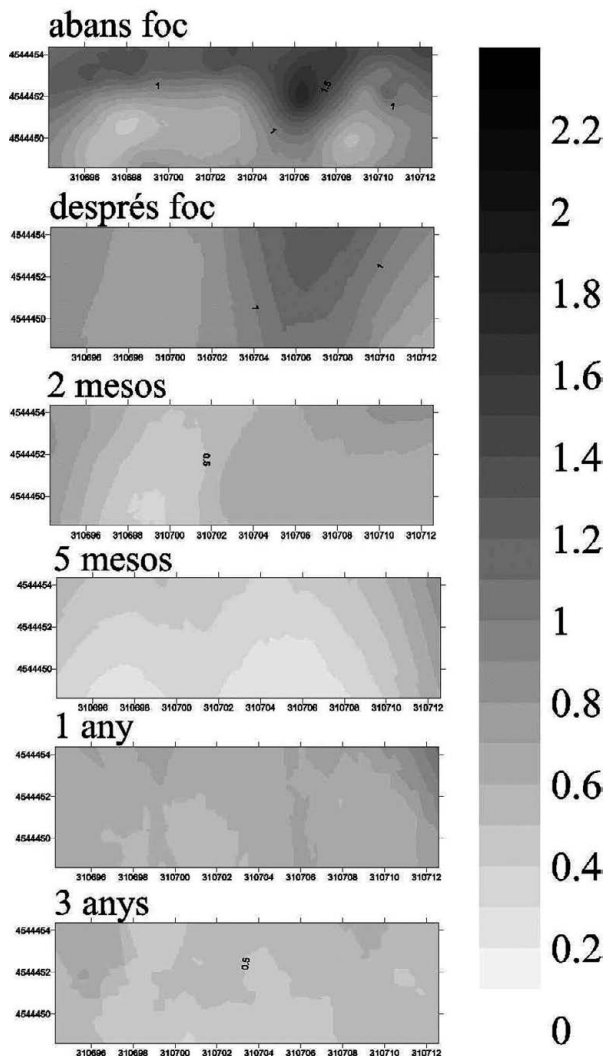
La geoestadística és el mètode d'estudi de les funcions aleatòries en l'espai (Isaaks i Mohan, 1989). En canvi, a l'estadística clàssica cadascuna de les mostres és independent, de manera que es perd gran part de la informació que pretenem estudiar. En relació directa amb l'objectiu principal de la nostra recerca, cal dir que l'eina geoestadística ens proporciona la metodologia necessària per optimitzar els nostres recursos de mostreig a fi d'estudiar els efectes del foc a nivell espacial en el sòl (Outeiro, 2005). Es representa cada mostreig i s'obté una cartografia de cadascuna de les variables edàfiques estudiades i la seva evolució temporal. Un exemple és la figura 1, on es representa el K^+ a la parcel·la monitoritzada de Coll de Monetze (Tivissa) en la qual es va fer una crema prescrita la primavera de l'any 2002. Els moments de mostreig són: abans de la crema, immediatament després, dos i cinc mesos després, i un i tres anys *a posteriori*.

Grups que treballen el mateix camp de recerca

Existeixen estudis dels efectes del foc en el sòl per part de grups de treball d'universitats i centres d'investigació. També és important la col·laboració que s'ha establert entre ambdós grups per tal de treballar plegats en projectes de recerca. A banda dels dos grups representats en aquest article, el GRAM (Grup de Recerca Ambiental Mediterrània) de la Universitat de Barcelona i del GEA (Grup d'Edafologia Ambiental) de la Universitat Miguel Hernández, cal fer esment d'altres grups de recerca de dins i fora del país.

A Catalunya, cal destacar els investigadors del Departament de Biologia Vegetal, Animal i Ecologia de la Universitat de Barcelona, la Unitat de Sòls de

Figura 1
Variació espacial de la concentració de potassi (ppm)
en la parcel·la de Tivissa



l'Escola Superior d'Agricultura de Barcelona, l'Institut de Ciències de la Terra "Jaume Almera" del CSIC de Barcelona i el CREAM (Centre de Recerca Ecològica i Aplicacions Forestals) de la Universitat Autònoma de Barcelona.

Al País Valencià, hi ha aportacions interessants per part de la Unitat de Desertificació del CSIC a València, el Departament de Ciències Ambientals de la Universitat d'Alacant, el Departament de Geografia de la Universitat de València, el Departament d'Ecologia de la Universitat d'Alacant, el CEAM i el CIDE de València.

De Múrcia cal esmentar els treballs del Centre d'Edafologia i Biologia Aplicada del Segura del CSIC i del Departament de Geografia Física de la Universitat de Múrcia. A Andalusia bona part del treball s'ha realitzat des de l'Estació Experimental de Zones Àrides d'Almeria.

Pel que fa a Galícia, la recerca s'ha desenvolupat des dels departaments d'Edafologia i Química Agrícola de la Universitat de Santiago, amb dos anys d'investigacions sobre aquesta matèria; el Centre d'Investigacions Forestals de la Xunta de Galícia de Pontevedra i l'Institut Nacional d'Investigació Agrària i Alimentària d'A Corunya també formen part d'aquesta xarxa de recerca.

A Madrid són molt importants els treballs que es desenvolupen des de l'Àrea de Defensa contra Incendis Forestals, així com els de la Secció d'Ecologia del Foc de l'Institut Universitari de Ciències Ambientals pertanyent a la Universitat Complutense de Madrid, i els estudis del Centre d'Investigació Forestal de Madrid.

A Castella i Lleó val la pena esmentar les aportacions del Departament de Biologia de la Universitat de Lleó, mentre que a Castella La Manxa cal fer-ho amb els treballs del Centre Cinquens de Mora de Toledo.

A Portugal també s'han dut a terme nombrosos treballs d'aquest tipus, com són els casos del Departament d'Ambient i Ordenació de la Universitat d'Aveiro i el Departament de Geografia de la Universitat de Porto. Aquests grups de treball han col·laborat molt estretament amb grups anglesos, com ara el Departament de Geografia de la Universitat de Swansea o el Departament de Geografia de la Universitat d'Exeter.

Des dels països de la regió mediterrània, on s'està acostumat als incendis forestals, també s'han dut a terme nombrosos estudis en relació amb les conseqüències dels incendis forestals en els sòls. En aquesta línia, cal citar els treballs de Giovannini de l'Institut de Química dels Sòls del C.N.R., i l'Institut de Botànica de Nàpols. De Grècia cal destacar els treballs desenvolupats a la Universitat de Tessalònica, la Universitat Aristotèlica, el Departament d'Ecologia de la Universitat d'Atenes o el Departament d'Investigació Aplicada d'El Pireu. A França destaca el Departament de Geografia de la Universitat d'Aix en Provença, el CNRS d'Ais de Provença i la Universitat de Niça, l'INRA d'Avinyó i el CNRS de Montpeller. Altres països europeus també han desenvolupat nombrosos estudis sobre incendis forestals, especialment Holanda des del Departament de Geografia Física de la Universitat d'Amsterdam, per bé que a Espanya també han desenvolupat estudis.

Als Estats Units i Canadà des de fa molt anys hi ha diversos departaments d'universitats i centres d'investigació dedicats a l'estudi del sòl i les conseqüències dels incendis forestals. L'USDA Forest Service, Rocky Mountain Research Station, Forestry Science Laboratory (EUA), que treballa en hidrofobicitat induïda per incendis i repercussions en taxes erosives. També als Estats Units hi trobem l'USDA Forest Service, Rocky Mountain Forest and Range Experiment Station, Forestry Science Laboratory, adscrit a la Universitat Estatal

d'Arizona. A Boulder (Colorado), dins el USGS, treballa el grup "Hydrologic and Erosion Responses of Burned Watersheds" liderat pel John A. Moody i la Deborah. A. Martin on des de fa anys estudien les conseqüències hidrològiques dels incendis forestals.

Conclusions

Com hem vist en aquest article, els incendis forestals són d'interès per a l'estudi científic a molts indrets del món. Malgrat que siguin un fet natural, la societat els ha convertit en un problema. Avui dia, es tem que els incendis siguin molt més importants, no tan sols pels seus efectes, determinats per incendis cada cop més grans i intensos sinó per canvis de recurrència i règim. Un escalament de l'ambient i per tant de la vegetació i una davallada de les humitats podria potenciar els incendis forestals a regions com la Mediterrània en èpoques que avui dia no són típicament de gran risc pel foc.

Conèixer els efectes del foc en el sòl permetrà establir llimdars de risc quan el foc es faci servir com a eina de gestió del bosc, així com de saber l'estat del sòl després d'un incendi a fi de posar-hi remeis. Cada vegada els treballs de recerca són més interdisciplinaris, i el món dels incendis no n'és cap excepció, com ho mostra la varietat d'assistents al Congrés Internacional sobre els Efectes del Foc en el Sòl celebrat a començaments d'aquest any a Barcelona. Una prova fefaent d'això és la llista de grups de recerca presents en el Congrés o el grup d'autors que signem aquest article. Com en moltes altres temàtiques, els geògrafs també hi tenim molt a dir.

Referencies

- ALMENDROS, G.; POLO, A.; LOBO, M. C. i IBAÑEZ, J. J. (1984). "Contribución al estudio de la influencia de los incendios forestales en las características de la materia orgánica del suelo". II.-Transformaciones del humus por ignición en condiciones controladas de laboratorio. *Rev. Ecol. Biol. Sol.* 21 (2), p. 145-160.
- ANDREU, V.; RUBIO, J. L.; FORTEZA, J. i CERNÍ, R. (1994). "Long term effects of forest fires on soil erosion and nutrient losses". A: M Sala y J. L. Rubio [eds.]. *Soil erosion as a consequence of forest fires*. Geofoma Ediciones, Logroño. p. 79-90.
- BARÁ, S. i VEGA, J. A. (1983). "Efectos de los incendios forestales en los suelos del N.O. de España". *Public. Dept. Forest. de las Zonas Húmedas*. Lourizán, Pontevedra, CRIDA 0.1-INIA.
- BESSE, W. J. (1986). "Effects of prescribed burning on some coastal B.C.Sites". A: *Prescribed fire management issues, northwest forest fire council annual meeting proceedings*. 18-19 Nov. Olympia. Washington.

- CARBALLAS, M.; ACEA, M. J.; CABANEIRO, A.; TRASAR, C.; VILLAR, M. C.; DÍAZ-RAVIÑA, M.; FERNANDEZ, I.; PRIETO, A.; SAA, A.; VAZQUEZ, F. J.; ZEHNER, R. i CARBALLAS, T. (1993). "Organic matter, nitrogen, phosphorus and microbial population evolution in forest humiferous acid soils after wildfires". A: *Fires in Mediterranean Ecosystems*. Trabaud L. i Prodon, R [eds.]. Commission of the European Communities. p. 380-385
- CARBALLAS, T. (1993) "Effects of fires on soil quality. Biochemical aspects. Project: Fire influence on organic matter evolution and N and P mobilization in forest soils". *Management for soil reclamation*. Instituto de Investigaciones Agrobiológicas de Galicia (CSIC).
- CARREIRA, J. A. i NIELL, F. X. (1995). "Mobilization of nutrients by fire in a semiarid Gorse-Scrubland ecosystem of southern Spain". *Arid Soil Res Rehab* 9, p. 73-89.
- CASTELLNOU, M., MOLINA, D. M. i BARDAJÍ, M. (1997). "Varios planes de quemas prescritas bajo arbolado". A: *Jornada de Quema controlada*. Centre Tecnològic Forestal de Catalunya i Universitat de Lleida.
- CASTELLNOU, M., RODRÍGUEZ, L., i MIRALLES, M. (2004). Replantejant-se el futur de la prevenció i extinció d'incendis forestals". A: Xarxa ALINFO [eds.]. *Incendis forestals, dimensió socioambiental, gestió del risc i ecologia del foc*. Solsona, p. 44-49.
- CERDÀ, A. (1995). *Influencia de la exposición sobre la producción de sedimentos y escorrentías en ambientes semiáridos*. Cuadernos de Investigación Geográfica. Logroño. p. 20-21.
- COVINGTON, W.W. i SACKETT, S.S. (1986). "Effect of periodic burning on soil Nitrogen concentrations in ponderosa pine". *Soil Sci Soc Am J* 50, p. 452-457.
- DEBANO, L. F. (1981). "Water repellent soils: a state-of-the-art". *USDA General Technical Report PSW-46*, 21p.
- DEBANO, L. F. (1971). "The effect of hydrophobic substances on water movement in soil during infiltration". *Soil Sci Soc Am Proc* 35, p. 340-343.
- DEBANO, L. F.; DUNN, P. H. i CONRAD, C. E. (1977). "Fire's effect on physical and chemical properties of chaparral soils. I. Soil nitrogen". *Soil Sci Soc Am J* 43, p. 504-509.
- DEBANO, L. F.; MANN, L. D. i HAMILTON, D. A. (1970). "Translocation of hydrophobic substances into soil by burning organic litter". *Soil Sci Soc Am J* 34, p. 130-133.
- DEBANO, L. F.; SAVAGE, S. M. i HAMILTON, D. A. (1976). "The transfer of heat and hydrophobic substances during burning". *Soil Sci Soc Am J* 40, p. 779-782.
- DEBYLE, N.V. i PACKER, P.E. (1981). "Soils and watershed. In clearcutting and fire in the larch / douglas - fire forest of westwrn Montana: A multifacete research summary". DeByle [ed.]. *USDA. For.Ser.Gen.Tec.Rep.* 99, p. 47-52.
- DÍAZ-FIERROS, F.; BENITO, E. i PÉREZ, R. (1987). "Evaluation of the U.S.L.E: for prediction of erosion in burnt forest areas in Galicia (NW Spain)". *Catena*, 14, p. 189-199.

- DÍAZ-RAVIÑA, M.; PRIETO, A.; ACEA, M. J. i CARBALLAS, T. (1992). "Fumigation-extraction method to simulate microbial biomass in heated soils". *Soil Biol Biochem* 24, p. 259-264.
- DOERR, S.H.; SHAKESBY, R.A. i WALSH, R.P.D. (1998). "Spatial variability of soil hydrophobicity in fire-prone Eucalyptus and Pine forests, Portugal". *Soil Sci* 163, p. 313-324.
- DURGIN, P.B. (1985). "Burning changes the erodibility of forest soils". *J Soil Water Conserv* 40, p. 299-301.
- ELA, S. D.; GUPTA, S. C. i RAWIS, W. J. (1992). "Macropore and surface seal interactions affecting water infiltration into soil". *Soil Sci Soc Am J* 56, p. 714-721.
- ETIÉGNI, L. I CAMPBELL, A. G. (1991). "Physical and Chemical characteristics of wood ash". *Biores Technol* 37, p. 173-178.
- FERNÁNDEZ, I.; CABANEIRO, A. i CARBALLAS, T. (1991). "Effect of fire on the mineralization kinetics of organic matter in woodland soils". *Abs. Inter. Conf. Soil Eros. Degrad. Conseq. Forest Fire A: M Sala y J. L. Rubio* [eds.]. p. 15
- FERNÁNDEZ, M. C.; GIMENO, P. i GONZÁLEZ, J. (1988). "Impacto del fuego sobre ecosistemas edáficos". *II Congreso Nacional sobre la Ciencia del Suelo, S.E.C.S./I.R.N.A.*, p. 603-608.
- FRITZE, H., PENNANEN, T. i PIETIKAINEN, J. (1992). "Recovery of soil microbial biomass and activity from prescribed burning". *Can J For Res* 23, p. 1286-1290.
- GALÁN, M., i LEONART, S. (2004). Plans de gestió de grans incendis forestals. A: Xarxa ALINFO [eds.]. *Incendis forestals, dimensió socioambiental, gestió del risc i ecologia del foc*. Solsona, p. 55-55.
- GIOVANNINI, G. i LUCCHESI, S. (1983). "Effect of fire on hydrophobic and cementing substances of soil aggregates". *Soil Sci* 136, p. 231-236.
- GIOVANNINI, G.; LUCCHESI, S. i GIACHETTI, M. (1989). "Beneficial and detrimental effects of heating on soil quality". *Fire and Ecosystem Dynamics Mediterranean and Nothern Perspectives*. Goldammer, J. C. y Jenkins, M. J. [eds.]. Academic Publishing, The Hague. p. 95-102.
- GIOVANNINI, G.; LUCCHESI, S. i GIACHETTI, M. (1990). "Effects of heating on some chemical parameters related to soil fertility and plant growth". *Soil Sci* 149, p. 344-350.
- HALL, R. G. (1994). "The effects of fuel reduction burning on forest soils". A: *Fire and biodiversity: The effects and effectiveness of fire management*. Proceedings of the Conference held 8-9 October 1994. Footscray, Melbourne.
- HERNÁNDEZ, T.; GARCÍA, C. i REINHARDT (1997). "Short-term effect of wild-fire on the chemical, Biochemical and microbiological properties of Mediterranean pine forest soils". *Biol Fertil Soils* 25, p. 109-116.
- IBAÑEZ, J. J.; LOBO, M. C.; ALMENDROS, G. i 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*, Vol. 12, N° 24, p. 27-42.

- IMESON, A. C., VERSTRATEN, J. M.; VAN MULLIGEN, E. J. i SENVINK, J. (1992). "The effects of fire and water repellency on infiltration and runoff under mediterranean type forest". *Catena* 19, p. 345-361.
- ISAACS, E.H. i MOHAN, R. (1989). *Applied Geostatistics*. Oxford University Press. NY. USA.
- JABLANCZY, A. (1964). "Influence of slash burning on the establishment and initial growth of seedlings of Douglas Fir, Western Hemlock, and Western Redcedar: study of the effect of simulated slash burn on soil blocks from some sites on the coastal Western Hemlock zone". *Diss Abstr* 25, p. 2188.
- JORGENSEN, J. R. i WELLS, C. G. (1971). "Apparent nitrogen fixation in soil influenced by prescribed burning". *Soil Sci Soc Am Proc* 3, p. 806-810.
- JURGENSEN, M.F., HARVEY, A.E. I LARSEN, M.J. (1981). "Effects of prescribed fire on soil nitrogen levels in a cutover douglas fire westwrn larche forest". *USDA. For.Ser.Gen.Tec.Rep.* 275.
- KHANNA, P. K. i RAISON, R. J. (1986). "Effect of fire intensity on solution chemistry of surface soil under a Eucalyptus pauciflora forest". *Aust J Soil Res* 24, p. 423-434.
- KUTIEL, P. i INBAR, M. (1993). "Fire impacts on soil nutrients and soil erosion in a mediterranean pine forest plantation". *Catena* 20: 129-139.
- KUTIEL, P. i NAVEH, Z. (1987). "The effect of fire on nutrients in a pine forest soil". *Plant Soil* 104, p. 269-274.
- KUTIEL, P.; NAVEH, Z. i KUTIEL, H. (1990). "The effect of a wildfire on soil nutrients and vegetation in an Aleppo pine forest on mount Carmel, Israel". *Fire and Ecosystems Dynamics Mediterranean and Northern Dynamics*. Goldamer, J.C. y Jenkins, M.J. [eds.]. SPB Academy Publishing, The Hague.
- LINDEBURGH, S.B. (1990). *Effects of prescribed Fire on Site Productivity: A Literature review*. Research Branch. B.C. Ministry of Forest. Victoria, B.C. V8W 3E7.
- LITTLE, S.N. i KLOCK, G.O. (1985). "The influence of residue removal and prescribed fire on distributions of forest nutrients". *USDA. For. Ser. Gen. Tec. Rep.* 338.
- LLOVET, J., i PONCE, J. M. (1996). "Evolución temporal en la producción de sedimentos de zonas afectadas por incendios forestales: efecto de la orientación". *First European Conference on Erosion Control*. Sitges-Barcelona.
- LLOVET, J., BAUTISTA, S. i CERDÁ, A. (1994). "Influencia de las lluvias otoñales sobre la respuesta hidrológica y erosiva post incendio de los suelos en ambiente semiárido". *IIIª Reunión de Geomorfología en España*, p. 81-92.
- MARTIN, R.E. (1981). "Prescribed burning techniques to maintain or improve soil productivity". *Workshop on Reforestation of Skeletal Soils*. Nov. 17-19, 1981, p. 66-70.
- MARTÍNEZ SÁNCHEZ, J. J. (1994). *Dinámica de la vegetación post-incendio en la provincia de Albacete y zonas limítrofes de la provincia de Murcia (Sureste de España)*. Tesis Doctoral. Departamento de Biología Vegetal. Universidad de Murcia.

- MARTÍNEZ, E. i LARRAÑAGA, A. (2004). Programa de gestió de cremes prescrites a Catalunya. A: Xarxa ALINFO [eds.]. *Incendis forestals, dimensió socioambiental, gestió del risc i ecologia del foc*. Solsona, p. 71-76.
- MATAIX SOLERA, J. (1997). *Modificaciones físico-químicas en suelos afectados por un incendio forestal*. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias. Universidad de Alicante.
- MATAIX SOLERA, J.; GARCÍA, F.; MATAIX, J.; GÓMEZ, I. i NAVARRO PEDREÑO, J. (1996b). "Modificaciones del contenido salino en suelos quemados": Evaluación del pH, C.E., Na, K, Ca y Mg. *IV Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo*. Lleida 1996. Actas del Congreso, p. 57-62.
- MATAIX SOLERA, J.; GÓMEZ, I.; GARCÍA, F.; NAVARRO PEDREÑO, J. i MATAIX, J. (1996a). "Degradation of a burnt forest soil.: Evolution of organic matter and aggregate stability". *First European Conference on Erosion Control*. Sitges-Barcelona.
- MATAIX SOLERA, J.; GUERRERO, C.; GÓMEZ, I.; NAVARRO PEDREÑO, J. i MATAIX, J. (1999). "Modifications in N, P, K, Na, Ca, Mg and organic matter contents in a forest soil affected by experimental fire". *6th International Meeting on Soils with Mediterranean Type of Climate*. Barcelona. Extended Abstracts, p. 774-776.
- MATAIX-SOLERA, J. (1999). *Alteraciones físicas, químicas y biológicas en suelos afectados por incendios forestales. Contribución a su conservación y regeneración*. Tesis Doctoral, Universidad de Alicante.
- MCKAY, C (1998): *Effects of controlled burning on the characteristics and stocks in forest soils at the National Seashore*. (sense publicar).
- MCNABB, D. H. i SWANSON, F. J. (1990). "Effects of fire on soil erosion". Walsstad, J. D.; Radosevich, S. R.; Sandberg, D. V. [eds.]. *Natural and Prescribed fire in Pacific Northwest Forests*. Oregon State University Press. Corvallis, Ore, p. 159-176.
- NAKAYA, N. 1982. "Water repellency of soils". *Jpn. Agric. Res. Q.* 6, p. 24-28.
- NAVEH, Z. (1974). "Effects of the fire in the mediterranean region". A: Kozlowski, T. T., Ahlgren, C. E. [eds.]. *Fire and Ecosystems*. Academic Press.
- NISSLEY, D.D.; ZASOKI, R.J. I MARTIN, R.E. (1980). "Nutrient changes after prescribed surface burning of Oregon ponderosa pine stands". A: *Proc. 6th Conf. On Fire and For. Meteorology, Soc.Am.For.Bend*, Oregon. p. 214-219.
- OSBORN, J.R.; PELISHEK, R.E.; KRAMMES J.S. i LETEY, J. (1964). "Soil wettability as a factor in erodibility". *Procc Soil Sci Soc Am* 28, p. 294-295.
- OUTEIRO, L. (2005). "Noves perspectives de les cremes prescrites a Catalunya". *Revista Transversal*. Associació de Joves Geògrafs de la Universitat de Barcelona. Departament de Geografia Física i AGR. Universitat de Barcelona. p. 10-15.
- PIÑOL, J. (2004). "Acumulació de combustible i la paradoxa de l'extinció". A: Xarxa ALINFO [eds.]. *Incendis forestals, dimensió socioambiental, gestió del risc i ecologia del foc*. Solsona, p. 39-43.

- PIQUÉ, M. (2004). "La gestió forestal com a eina per a la prevenció dels grans incendis forestals". A: Xarxa ALINFO [eds.]. *Incendis forestals, dimensió socioambiental, gestió del risc i ecologia del foc*. Solsona, p. 28-33.
- PLANA, E. (2004). "Anàlisi d'escenaris de prevenció i extinció d'incendis forestals des de la perspectiva socioambiental". A: Xarxa ALINFO [eds.]. *Incendis forestals, dimensió socioambiental, gestió del risc i ecologia del foc*. Solsona, p. 5-12.
- PRIETO-FERNANDEZ, A.; ACEA, M. J. i CARBALLAS, T. (1998). "Soil microbial and extractable C and N after wildfire". *Biol Fertil Soils* 27, p. 132-142.
- PRIETO-FERNANDEZ, A.; VILLAR, M. C.; CARBALLAS, M. i CARBALLAS, T. (1993). "Short-term effects of a wildfire on the nitrogen status and its mineralization kinetics in an atlantic forest soil". *Soil Biol Biochem* 25, p. 1657-1664.
- RAISON, R. J. (1979). "Modification of the soil environment by vegetation fires, with particular reference to nitrogen transformations: a review". *Plant Soil* 51, p. 73-108.
- RAISON, R.J. (1980). "A review of the role of fire in nutrient cycling in Australian native forest, and of methodology for studying the fire nutrient interaction", *Aust J Ecol* 5, p. 15-21.
- ROMANYÀ, J. (1993). *Phosphorus cycling in fast growing forest plantations: availability, plant uptake and the role of forest floor*. Tesi Doctoral. Universitat de Barcelona.
- RUIZ DEL CASTILLO, J. (1988). "Observaciones sobre la evolución de montes incendiados en la provincia de Valencia". *Documentos del seminario sobre métodos y equipos para la prevención de incendios forestales. ICONA*, p. 147-156.
- SAA, A.; TRASAR-CEPEDA, M. C.; GIL-SOTRES, F. i CARBALLAS, T. (1993). "Changes in soil phosphorus and acid phosphatase activity immediately following forest fires". *Soil Biol Biochem* 25, p. 1223-1230.
- SANROQUE, P.; RUBIO, J. L. i MANSANET, J. (1985). "Efectos de los incendios forestales en las propiedades del suelo, en la composición florística y en la erosión hídrica de las zonas forestales de Valencia (España)". *Rev Ecol Biol Sol* 22, p. 131-147.
- SERRA, A.; MATEOS, E.; PARRA, X. i SARLÉ, V. (1992). "Estudio de los efectos de un incendio forestal sobre poblaciones de artrópodos edáficos". *Historia Animalium*, 1, p. 41-62.
- SERRASOLSAS, I. (1994). *Fertilitat de sòls forestals afectats pel foc. Dinàmica del nitrogen i del fòsfor*. Tesi Doctoral. Universitat de Barcelona.
- SOLER, M. (1991). *Pèrdua de sòl i nutrients posterior a un incendi forestal*, Tesis Doctoral, Universitat de Barcelona.
- SWANSON, F.J. (1981). "Fires and geomorphic processes". A: *Proceedings, fires regimes and ecosystems conference*, Honolulu. Gen. Tech. Rep. WO-26 USDA, Washington, DC, p. 401-420.
- 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*, Tesi Doctoral, Universitat de Barcelona.

- ÚBEDA, X.; SALA, M. i IMESON, A. (1990). "Variaciones en la estabilidad y consistencia de un suelo forestal antes y después de ser sometido a un incendio". *Iª Reunión Nacional de Geomorfología*, p. 677-685.
- ÚBEDA, X i SALA, M. (2001). "Chemical concentrations in overland flow from different forested areas in a Mediterranean Environment: burned forest at different fire intensity and unpaved road". *Zeitschrift für Geomorphology*, 45 (2), p. 225-238.
- ULERY, A. L. i GRAHAM, R. C. (1993). "Forest fire effects on soil color and texture". *Soil Sci Soc Am J* 57, p.135-140.
- ULERY, A. L.; GRAHAM, R. C.; CHADWICK, O. A. i WOOD, H. B. (1995). "Decadescale changes of soil carbon, nitrogen and exchangeable cations under chaparral and pine". *Geoderma* 65, p. 121-134.
- VÁZQUEZ, F. J.; ACEA, M. J. i CARBALLAS, T. (1993). "Soil microbial populations after wildfire". *FEMS Microbiol Ecol* 13, p. 93-104.
- VEGA, J. A. LANDSBERG, J. BARÁ, S., PAYSSEN, T., FONTÚRBEL, T. i ALONSO, M. (2000). "Efectos del fuego prescrito sobre los suelos de montes de *Pinus Pinaster*". A: *La defensa contra incendios forestales. Fundamentos y experiencias*, Ricardo Vélez [ed.]. Mc Graw Hill.
- VEGA, J. A., CUIÑAS, P., BARÁ, S., FONTÚRBEL, T., SANTOS, J. A., ROZADOS, M. J., ALONSO, M., BELOSO, M. C. i CALVO, E. (1993). *Forest fire prevention through prescribed burning: Experimental study on fire effects on litter and soil*. Final Report. CE/STEP-CT90-0087.
- VELASCO, F.; LOZANO, J. M. i BELLO, A. (1986). "Alteraciones físicoquímicas bioquímicas y biológicas en áreas quemadas de *Pinus Pinaster*". *Bol. Est. Cen. de Ecología*. 29, p. 29-38.
- WALLIS, M.G., HORNE, D.J. i PALMER, A.S. (1993). "Water repellency in a New Zealand development sequence of yellow-brown sands". *Aust J Soil Res* 31, p. 641-654.
- WELLS, C. G. (1981). "Some effects of bushfires on erosion processes in coastal Southern California". *Erosion and Sediment Transport in Pacific Rim Steeplands*. IAHS Pub, nº 132 Christchurch.