

Efectes postincendi en una torbera d'Escòcia¹

Núria Prat Guitart

Geògrafa
prat.nur@gmail.com

Teresa Valor

Centre Tecnològic Forestal de Catalunya
teresa.valor@ctfc.es

Vladimir Krivtsov

Universitat d'Edimburg
e96kri69@netscape.net

Resum

Es presenten els efectes directes i indirectes del foc causats per un incendi forestal en el sòl orgànic de torbera en un exemple escocès de *Rothiemurchus forest* a l'estiu del 2006. Els resultats han estat una alteració de les propietats del sòl a causa de la calcinació de bona part de la matèria orgànica acumulada que formava la base del sòl. Després d'un i mig de l'incendi es poden apreciar canvis en els paràmetres fisicoquímics i les seves conseqüències visibles a l'ecosistema del bosc. La possibilitat que la variació del clima pugui fer augmentar la freqüència d'incendis d'aquest tipus, fa plantejar quina és la importància dels incendis forestals de subsòl en regions fredes de latituds mitjanes i altes. S'aporta informació sobre els efectes del foc en sòls de torbera i es compara amb l'àmbit d'estudi mediterrani.

Paraules clau: torberes, *Pinus contorta*, foc de subsòl, bosc de *Rothiemurchus*, Escòcia.

1. Volem agrair a Joan Weber, Colin Legg i Xavier Úbeda la seva important col·laboració en la realització d'aquest treball

Resumen: *Efectos post-incendio en una turbera de Escocia*

Se presentan los efectos directos e indirectos del fuego causados por un incendio forestal en un suelo orgánico de turbera en un ejemplo escocés de *Rothiemurchus forest* en el verano de 2006. Los resultados han sido una alteración de las propiedades del suelo a causa de la calcinación de parte de la materia orgánica acumulada que formaba la base del suelo. Después de un año y medio del incendio se pueden apreciar cambios en los parámetros físico-químicos y sus consecuencias visibles en el ecosistema forestal. La posibilidad que la variación en el clima pueda aumentar la frecuencia de este tipo de incendios, plantea la importancia de los incendios forestales en subsuelos de regiones frías de latitudes medias y altas. Se aporta información sobre los efectos del fuego en suelos de turbera y se compara con el ámbito de estudio mediterráneo.

Palabras clave: Turberas, *Pinus contorta*, fuego de subsuelo, bosque de *Rothiemurchus*, Escocia.

Abstract: *Post-fire effects in an organic peat soil in Scotland*

This article presents the direct and indirect effects of fire caused by a wildfire in organic peat soil in a Scottish example of *Rothiemurchus* forest during the summer of 2006. The results have been an alteration of soil properties due to the burning of accumulated organic matter that formed the base of the soil. After a year and a half since the fire, there are some changes in the physico-chemical characteristics and also a visible impact on the forest ecosystem. The possibility that the variation in climate may increase the frequency of such fires, raises the importance of underground fires in cold regions of mid and high latitudes. This article is intended to provide information on the effects of fire on peat soils in comparison to Mediterranean soil studies.

Keywords: Peat soils, *Pinus contorta*, smoldering fires, *Rothiemurchus* forest (Scotland).

* * *

1. Introducció

1.1. Problemàtica dels incendis

Històricament s'ha de considerar el foc com un element natural de gestió de l'ecosistema (Naveh, 1974, p. 37). Les diferents espècies que componen aquests sistemes s'han anat adaptant a aquestes pertorbacions, assimilant-les com a mitjans per dur a terme el seu desenvolupament (Foster *et al.*, 1998, p. 5). D'aquesta manera els incendis han esdevingut elements essencials per determinar l'estructura i la composició de molts ecosistemes planetaris, des de prats i sabanes a boscos boreals i taigà (Johnstone, 2006, p. 14).

El sòl és un element bàsic dels esmentats ecosistemes, que pateix canvis directes produïts per l'escalfament que comporta el pas del foc, tant en les seves propietats químiques i físiques, com biològiques. Dependrà de la intensitat de l'incendi que aquestes propietats es vegin més o menys alterades i puguin produir conseqüències indirectes, com és el retard en el creixement d'una nova coberta vegetal i la seva exposició als agents erosius (Mataix-Solera, 2007, p. 8).

Normalment els incendis afecten els primers centímetres del sòl, però quan es tracta de sòls amb una gran quantitat de matèria orgànica es poden anar consumint de forma lenta subsuperficialment a causa de la baixa disponibilitat d'oxigen (Ruiz del Castillo, 2000). Aquests tipus d'incendis són més propis de zones amb una alta disponibilitat d'aigua, que permeten l'acumulació de matèria orgànica.

A latituds més septentrionals, la tipologia dels incendis es distancia dels característics de les regions mediterrànies (en freqüència i intensitat), però el foc continua sent el principal gestor natural de l'ecosistema. La pertorbació que causa el foc és pràcticament l'única que gestiona l'estructura i la composició dels ecosistemes forestals, provocant la mortalitat i la regeneració de la vegetació (Johnstone, 2006, p. 15).

El foc tradicionalment havia estat causat pels llamps i ocasionava superfícies cremades d'unes poques hectàrees. Però aquesta pertorbació natural s'ha vist alterada per l'acció de l'home que, juntament amb condicions meteorològiques extremes de llargs períodes de sequera i forts vents, ha contribuït a que el foc pogués cremar amb una severitat i recurrència fora de control (Foster *et al.*, 1998, p. 5).

Les característiques geogràfiques de cada regió –climatologia, topografia i usos del sòl– són elements a tenir en compte a l'hora d'estudiar el risc d'incendi i els efectes una vegada aquest s'ha produït. La gran magnitud del foc en algunes regions comporta tipologies d'incendis determinades (Outeiro, 2007, p. 231) com serien els Grans Incendis Forestals –GIF– a les regions mediterrànies, concentrats al període sec i càlid estival, que s'acompanyen de la posterior erosió del sòl durant l'època de pluges torrencials, debilitat per haver patit la combustió de la matèria orgànica (Úbeda, 2000, p. 6).

Els efectes dels incendis seran diferents d'una regió planetària a una altra, però el foc sempre hi serà present (Foster, 1998, p. 501). Així doncs, els incendis afecten una gran varietat d'ecosistemes; per això en aquest estudi es considera interessant contemplar efectes en les propietats del sòl d'altres tipus d'incendis, poc habituals en ambients mediterranis, com són els incendis subsuperficials de torberes de boscos de regions fredes.

1.2. Característiques de les torberes

Les torberes es consideren l'acumulació de diferents horitzons de matèria orgànica en diferents estats de degradació. Són producte de les diferents fases d'evolució dels residus vegetals a causa d'una sèrie de factors edàfics, topogrà-

fits, climàtics, etc. (Certini, 2005, p. 1), que redueixen la concentració d'oxigen provocant una baixa activitat biològica.

La torba constitueix la primera etapa del procés de transformació de la vegetació en carbó mineral. Es forma com a resultat de la putrefacció i carbonificació parcial de la vegetació en aigua àcida amb poc moviment. És un material orgànic compacte, de color marró fosc i ric en carboni, format per una massa esponjosa i lleugera en la qual s'aprecien els components vegetals que la van originar. Les seves propietats físiques i químiques variaran en funció del seu origen. El pas dels anys va produint una acumulació de torba que pot variar de centímetres a desenes de metres de gruix, a un ritme de creixement mitjà de deu centímetres cada cent anys. Des del moment que els residus animals i vegetals s'incorporen als cicles metabòlics dels microorganismes, són progressivament degradats en molècules orgàniques més senzilles. Es creen col·loides de neoformació (compostos húmics) molt resistents a la biodegradació (Amigó, 2001, p. 407).

El tipus d'espècies vegetals és un altre factor important a tenir en compte, ja que segons les característiques de cada espècie contribuiran a un ritme de descomposició del teixit vegetal. En el cas de les torberes, s'acostumen a trobar espècies de lenta degradació, que afavoreixen l'acumulació de matèria orgànica (Joosten, 2002, p. 31).

La topografia tindrà un paper determinant per situar aquests sòls de llarga formació, ja que requereixen un terreny pla que permeti l'acumulació de sediment i un estancament de l'aigua. A més, si l'aportament de matèria orgànica està assegurat per part de la vegetació, se'n produirà una acumulació progressiva, restant estable durant segles, per l'acumulació successiva de capes de matèria orgànica experimentant el mateix procés, constituint un sòl amb més d'un 60% de materials grollers (superiors a 2 mm).

La composició química d'aquest tipus de sòl és, de mitjana, d'un 59% de carboni, un 33% d'oxigen, un 6% d'hidrogen i un 2% de nitrogen. L'elevada capacitat d'emmagatzemar carboni que contenen és un dels principals motius pels quals aquest tipus de formacions tenen una gran importància. Es considera que pot arribar a retenir un terç del carboni mundial (Joosten, 2002, p. 33).

Perquè es desenvolupi aquest tipus de sòl calen condicions ambientals que només es donen en llocs molt concrets del planeta, per això es parla d'una escassa distribució en comparació amb altres tipus de sòls a nivell mundial. En total ocupen uns 4 milions de km² (un 3% de la superfície mundial). De torberes n'hi ha des que la vegetació va ocupar el planeta, tot i que les existents a l'actualitat s'han desenvolupat els darrers 15.000 anys (Joosten, 2002, p. 33).

La condició indispensable és que es trobin en climes humits, amb precipitacions superiors als 1.500 mm/any, i que l'orografia dificulti la circulació del fluid. Seguint aquestes característiques es genera un mapa de distribució que s'acaba de definir mitjançant un segon factor: la temperatura (Joosten, 2002, p. 41), que diferencia les torberes pantanoses de latituds baixes (15-20% del total de torberes) de les de regions fredes (80%).

No obstant això, a latituds mitjanes i sota climes mediterranis també es poden trobar algunes concentracions d'aquests sòls orgànics que han patit un lent procés de degradació a causa de condicions ambientals propícies, a llocs molt determinats on l'aigua ha pogut acumular-se al sòl. És possible, doncs, trobar-ne en valls de zones muntanyoses on s'ha donat una gran acumulació de sediment, juntament amb una retenció d'aigua d'origen nival durant bona part de l'any. Seria l'exemple de regions localitzades al Pirineu català que, per manca de recerca, encara no han pogut ser detallades amb exactitud. També es poden trobar a zones d'aiguamolls, com ara les Tablas de Daimiel, a la Manxa (Moreno, 2010, p. 2).

L'exemple de bosc de torbera que es tractarà en el present estudi es classifica com a bosc de torbera de regions fredes de latituds septentrionals, i s'hi pretén analitzar el que succeeix en les propietats del sòl una vegada ha tingut lloc un incendi.

1.3. Efectes dels incendis a les torberes

Un foc de subsòl de combustió interna va consumint la matèria orgànica disponible i es produeix simultàniament a l'incendi superficial. Té una propagació lenta i persistent a causa de les característiques tèrmiques dels agregats grollers derivats de la matèria orgànica, que permeten un millor transport de l'oxigen cap a la superfície (Ohlemiller, 1985, p. 290).

Les conseqüències generades dependran de la porció orgànica de l'estructura, ja que constitueix la base que sustenta el sòl i és alhora el principal combustible (Bertschi, 2003, p. 5). El resultat és una conversió de la biomassa en carbó, cendra, gasos i components volàtils, difícils de detectar i extingir, a més de ser els causants de generar nous incendis superficials.

La diferència principal amb el foc de flama es troba en la reacció d'oxidació i d'alliberament de calor. La temperatura alliberada és molt menor, així com la seva capacitat de propagació (foc latent: 500-700°C a 1-50 mm h⁻¹, mentre que el foc de flama té una temperatura mitjana de 1.500°C, amb una capacitat de propagació de 1.000 mm h⁻¹) (Drysedale, 1998, p. 76).

Una altra diferència entre els dos tipus d'incendis és la severitat tèrmica, que és la relació entre la temperatura assolida i la resistència a l'escalfament del sòl. El foc de flama assoleix temperatures molt elevades durant curts períodes de temps, suposant un mínim escalfament en profunditat del sòl (Úbeda, 2005, p. 4). En els incendis subsuperficials, la calor transferida per la lenta combustió té una durada més llarga i es pot expandir des de la superfície fins a capes profundes, cosa que afecta una extensió més gran del subsòl (Hartford i Frandsen, 1992, p. 142).

Segons la intensitat podrà afectar més o menys el volum total del sòl, de manera que les conseqüències poden ser molt variables. En incendis severs s'han detectat pèrdues d'una part important de la torba. Estudis realitzats al

laboratori han demostrat una disminució del 90% de la quantitat de matèria orgànica, amb el conseqüent augment de la porció mineral (Rein, 2008, p. 6).

Les causes per les quals el sòl orgànic es pot veure reduït són dues: la pèrdua de massa del sòl i les altes temperatures assolides. La pèrdua comporta, en primer lloc, una desestabilització de les capes superiors del terreny, fet que provoca un augment de l'erosió a nivell superficial i problemes amb l'estabilitat de les arrels. En segon lloc, les altes temperatures poden modificar la química natural del sòl: pèrdua de carboni, nitrogen i fòsfor orgànic, i per altra banda guany de fòsfor inorgànic i calci. Alhora també comporta canvis en la biologia del sòl (Certini, 2005, p. 6), modificant les dinàmiques microbianes, així com disminuint la disponibilitat de nutrients per a la massa arbrada.

A més, aquesta propagació subsuperficial pot ser la causa de la reobertura de nous fronts de flames superficials, en localitzacions inesperades; de la mateixa manera, es poden manifestar després d'un cert període de temps en què l'incendi superficial sembla inactiu, perquè es pot reactivar gràcies a la combustió subterrània latent.

La propagació de l'incendi, també genera l'alliberament de gasos a l'atmosfera. Durant la piròlisi de la torba –a partir de temperatures entre 250 i 300°C (Usup, 2004, p. 8)– a mesura que augmenta la temperatura la taxa de piròlisi creix, produint-se la carbonificació i emetent components volàtils (per exemple CH₄, C₃H₈, CH₃OH), hidrocarburs poliaromàtics, traces de CO i CO₂. A més profunditat de combustió, on la presència d'oxigen disponible i la calor són menors, les taxes de CO i CO₂ emeses seran superiors a les emeses pel foc més pròxim a la superfície (Rein, 2009, p. 3).

El foc latent emet gasos a causa de la seva incompleta combustió; s'ha estudiat que poden suposar un 130% més de CO i un 670% més d'hidrocarburs poliaromàtics, però per altra banda, un 15% menys de CO₂ i gens de NO_x, si es comparen amb el foc de flama (Bertschi, 2003, p.8).

Els estudis que s'han realitzat mostren grans emissions de gasos de carboni. El CO₂ aportat és 3.000 vegades superior a la mitjana emesa per les torberes en el seu estat de descomposició natural (Rein, 2009, p. 10). Tot i que els incendis de torbera representen només el 20% del total mundial, produeixen el 94% de les emissions (Page, 2002, p. 3). Fet pel qual tenen un paper molt important per a l'actual canvi climàtic.

Els incendis de torbera poden ser originats de manera natural, com a conseqüència de llargs períodes de sequera que provoquen tal estrès hídric a plantes i subsòl de torba, que aquesta es comença a escalfar, assolint temperatures elevades i generant autocombustió. Un incendi subsuperficial d'aquestes característiques pot cremar durant setmanes o fins i tot mesos, causant nombrosos rebrots d'incendis superficials (Rein *et al.*, 2009).

L'exemple més recent i pròxim és l'incendi subsuperficial declarat a les Tablas de Daimiel des del mes d'agost fins al desembre de 2009. Es va iniciar de forma natural, accentuat per un període de calors estivals intenses, i va cremar de manera latent el sòl, mobilitzant-se a través dels conductes subterranis assecats

per on havia circulat aigua. L'efecte visible era mínim, només s'apreciava el fum de la combustió que apareixia a la superfície. La solució per salvar la reserva fou d'inundar la zona mitjançant un transvasament d'aigües fet a finals del 2009 (Moreno *et al.*, 2010).

La reserva natural humida es trobava en una situació extrema, en què només l'1% de les 1.800 hectàrees estaven inundades; la manca d'aportament hídric es veia accentuada per la sequera que patia des del 2005, causada en gran part per l'exploració de pous il·legals. Segons Rein *et al.* (2009), tot i haver inundat la regió, subsuperficialment el foc pot seguir avançant de manera latent, fins que l'aigua no arribi a ocupar tota l'extensió de l'aiguamoll.

Els casos d'incendis que s'han detectat en torberes de les regions fredes septentrionals del planeta van des d'efectes locals, on es veuen perjudicades les arrels d'alguns pocs exemplars, fins a altres casos on es cremen grans extensions que destrueixen la xarxa d'arrels de tota una àrea forestal. Les conseqüències de l'incendi dependran de la seva magnitud, però en general les dificultats d'extinció d'aquest tipus d'incendi fan que hi hagi una forta alteració del sistema del sòl (Mallik, 1984, p. 6).

El pas del foc també comporta determinats canvis en el comportament de les aigües de la regió: la hidrofobicitat del sòl causada per la presència de partícules de cendra redueix la capacitat d'infiltració fins a un 70% durant els primers mesos, amb la qual cosa augmenta l'escolament i l'erosió, si bé s'ha demostrat que la recuperació pot ser ràpida (Mallik, 1984, p. 7).

L'efecte més visible durant els anys següents és el fort increment de l'erosió, que no es reduirà fins que es torni a establir la vegetació. Aquest període variarà segons la capacitat de regeneració de cada ecosistema (Tallis, 1987, p. 30).

2. Materials i mètodes

2.1. Àrea d'estudi

El cas d'estudi que s'ha fet servir és un incendi de torbera de latituds altes, produït al bosc de Rothiemurchus (Escòcia), el 16 de juliol de 2006, on es va cremar un total de 12 ha i el foc de subsòl va romandre durant 6 setmanes. El bosc era una plantació d'uns 40 anys de *Pinus contorta* i la causa de l'incendi va ser accidental, va començar prop de la carretera i es va propagar cap a l'interior de la zona boscosa.

Per poder dur a terme l'estudi sobre l'estat del sòl es va fer treball de camp i es van prendre mostres el 24 de febrer de 2008, a més de dur a terme un inventari dels canvis en la vegetació.

L'efecte directe més visible era el consum total de la part orgànica del sòl, sobretot a les zones on la combustió havia estat més persistent. Molts arbres no havien mort pels efectes directes del foc, sinó que durant els dos anys transcorreguts havien caigut a causa de la desaparició de la torbera que els sostenia

Figura 1. Caiguda dels arbres durant els dos anys següents després del pas del foc



Fotografies: Xavier Úbeda (24/02/2008)

i pels danys causats a les arrels juntament amb l'ajuda del vent (figura 1). A més, els exemplars que seguien vius s'havien debilitat per culpa del canvi en els components químics del sòl, que impediè l'accés als nutrients necessaris.

A la part aèria de la capa arbrada es podien veure les cremades a l'escorça, sovint colonitzades per espècies de fongs que desgastaven els arbres fins a provocar-los la mort. Indirectament, aquesta és la segona causa de mortalitat del bosc en condicions de postincendi.

Amb tot, els símptomes de recuperació de l'ecosistema eren evidents: una capa muscinal recobria les restes vegetals que s'havien anat acumulant, fet amb què començava un nou cicle de la formació de torba. Una etapa que pot durar centenars d'anys.

2.2. Recollida de mostres i metodologia de laboratori

Es van recollir mostres al llarg de diferents transsectes dins de la zona cremada i de l'àrea adjacent que no havia estat afectada pel foc, per tal de poder dur a terme una comparació.

En total es van recollir 40 mostres de diferents punts, 21 de les quals eren representatives de sòl cremat i 19 de sòl intacte. A més, les mostres es van recollir amb de manera que es va prendre sòl en superfície (SUP) de 0 a 20 cm (figura 2) i en profunditat, de 20 a 40 cm (PROF); a més, en el perfil 3 es va fer un mostreig de 40 a 60 cm, ja que el sòl permetia aprofundir-hi més.

Les mostres van ser analitzades al laboratori de Geografia Física de la Facultat de Geografia de la UB amb la intenció de conèixer quins havien estat els canvis en les propietats físiques i químiques del sòl amb el pas del foc.

Van ser tamisades amb sedàs per a conèixer-ne la textura, obtenir la porció de terra fina (<2mm) i poder dur a terme la resta d'anàlisis. La part més interessant per a l'estudi, la matèria orgànica, es va analitzar a través de dos mètodes. Primer per mitjà del mètode gravimètric de valoració per calcinació de la matèria orgànica, amb el forn de mufla a 900°C durant 2 hores. I en segon lloc es va analitzar el carboni total amb l'analitzador elemental per tal d'aconseguir els percentatges de carboni/nitrogen, amb els aparells dels Serveis Científicotècnics de la Universitat de Barcelona.

Per avaluar les propietats químiques es va analitzar el pH, fent les pertinents mesures amb la solució de pasta saturada de sòl amb una relació 1/2,5

amb aigua MiliQ, utilitzant un pHímetre d'elèctrode de vidre. Amb la mateixa solució es va mesurar la conductivitat elèctrica (CE) amb el conductímetre.

3. Resultats

La matèria orgànica que es va eliminar durant la combustió ha comportat la desaparició d'una porció molt important del sòl, amb nombroses conseqüències visibles, directes i indirectes. La primera conseqüència directa de l'incendi és la combustió d'alguns dels arbres del bosc de *Pinus contorta*.

Un altra conseqüència directa fou l'eliminació per combustió de la matèria orgànica, quantificant-la al voltant d'uns 20 cm de profunditat (figura 3); aquesta és la conseqüència més greu de l'incendi, no tan sols per la pròpia desaparició sinó també pels efectes posteriors de caiguda d'arbres per manca de base i també per l'afectació de moltes arrels, el que ocasionà la mort de nombrosos peus que aparentment no havien resultat afectats per l'incendi.

Aquesta manca de suport físic també ha comportat, que molts individus de *Pinus contorta*, amb l'ajut de factors meteorològics com el vent, anessin caient per manca de base sòlida que els aguantés, tot provocant un efecte dòmino que malmetia bona part el bosc (figura 4).

Per altra banda, els arbres que van conservar la seva estructura subterrània sovint van patir cremades a la part aèria, com a conseqüència del foc

Figura 2. Mostra de sòl cremat



Figura 3. Descalçament dels peus d'arbres afectats per la combustió de matèria orgànica després de l'incendi



Figura 4. Efectes del vent en els arbres afectats per l'incendi subsuperficial



de flama. La humitat elevada de l'indret va provocar que es donessin bones condicions perquè proliferessin alguns fongs que ataquen els pins (figura 5).

Les restes vegetals que s'han anat dipositant a la superfície des de juliol de 2006 han contribuït a la nova aportació de matèria orgànica, que s'anirà descomponent de forma lenta, seguint les característiques ja explicades d'aquest tipus de sòls, i anirà formant una nova torbera amb el pas del temps.

El problema rau en el fet que per poder formar-se una quantitat similar a la que hi havia hauran de passar centenars d'anys (figures 6 i 7).

Els diferents elements analitzats proporcionen una idea de quin és l'estat de les propietats fisicoquímiques del sòl un any i mig després de l'incendi. La comparació de les mostres entre sòls cremats i no cremats d'indrets molt pròxims, permet apreciar-ne els canvis.

Tot i que ha passat un cert temps després del foc i l'ecosistema ha començat a recuperar-se, les mostres només poden ser indicatives de l'estat actual del sòl. No es pot saber si la recuperació està sent ràpida o lenta, ja que no es coneixen els factors temporals en què estan evolucionant aquests paràmetres, per tant l'estudi es limita a analitzar l'estat del sòl en el moment que van ser preses les mostres, per intentar mostrar els canvis que succeeixen quan un sòl de torbera es veu afectat per un incendi.

També cal aclarir que les anàlisis comparen el perfil del sòl en diferents nivells –generalment superfície i profunditat–, per això, amb l'eliminació

Figura 5. Tronc afectat per fongs



Figura 6. Part del bosc no afectada pel foc



Figura 7. Imatge del bosc dos anys després de l'incendi



dels 20 primers centímetres del sòl per la seva combustió, entre unes mostres i altres s'estan comparant diferents parts del perfil: les mostres no cremades són pròpiament sòl amb acumulació natural de matèria orgànica, en canvi, les mostres de sòl cremat són sòl profund que ha quedat al descobert un cop s'han cremat els primers centímetres. A continuació es presenten els resultats de les analítiques realitzades estructurades segons localització, crema i perfil del sòl.

Taula 1. Resultats de les anàlisis realitzades per al perfil de sòl 1

Perfil 1	Mostra superficial		Mostra profunda	
	cremat	no cremat	cremat	no cremat
Material groller (>2mm) %	70.25	100.00	86.76	100.00
Terra fina (<2mm) %	29.75	0.00	13.24	0.00
pH	4.09	4.48	4.15	3.71
Conductivitat ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$)	80.70	62.30	70.30	104.00
Matèria orgànica (%)	69.98	19.47	65.86	84.13
Carboni (%)	32.37	6.47	33.46	43.65
Nitrogen (%)	1.28	0.20	1.04	1.30

La zona del perfil 1 (taula 1) mostra un sòl molt orgànic on el material groller domina tant en superfície com a 20 cm de profunditat, que es redueix entre un 13 i un 30% en els sòls cremats. En canvi, la matèria orgànica en els cremats augmenta un 50% en superfície però presenta un descens del 18% en profunditat. Com a resultat, els percentatges de carboni i el nitrogen també es veuran afectats. El carboni dels sòls sense cremar presenta una diferència d'un 37% entre les parts superior i inferior del perfil, amb una concentració més elevada a la part inferior, mentre que en els sòls cremats aquesta diferència es redueix a l'1,09%. El nitrogen també té un comportament similar. El pH en superfície presenta un valor 0,39 inferior en els sòls cremats, mentre que en profunditat s'incrementa en 0,44 respecte el pH dels sòls sense cremar. La conductivitat elèctrica augmenta a la superfície dels sòls cremats, amb una diferència de 18,4 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ sobre els no cremats i disminueix lleugerament en profunditat: 33,7 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$.

Per altra banda, si es comparen les mostres dins el mateix perfil de sòl, el no cremat té una diferència molt més gran de pH entre la part superior i la inferior, de 0,77, mentre que al perfil cremat la diferència només és de 0,06. La variació de la conductivitat elèctrica dins el perfil és de 41,7 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ per al sòl sense cremar i de 10,4 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ per al cremat.

En el perfil 2 (taula 2) la quantitat de material groller existent es veu poc reduïda, entre un 0,22% i un 4% una vegada cremat el sòl. La nova acumulació de biomassa suposa alhora un increment de matèria orgànica en els sòls

cremats d'un 16,1% en superfície i un 43% en profunditat respecte els sòls no cremats, contribuint a què el carboni orgànic i el nitrogen mostrin valors també en augment: el carboni de +10% en superfície i +20% en profunditat, i el nitrogen d'un +0,45% en superfície i +0,66% en profunditat. La conductivitat elèctrica en superfície s'incrementa en $37,5 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ un cop cremat el sòl, mentre que en profunditat l'augment és de $16,9 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$. En canvi, el pH es veu reduït en les mostres cremades, amb una diferència en superfície de 0,1 i en profunditat de 0,49.

Taula 2. Resultats de les anàlisis realitzades per al perfil de sòl 2

Perfil 2	Mostra superficial		Mostra profunda	
	cremat	no cremat	cremat	no cremat
Material groller (>2mm) %	97.46	97.22	99.44	95.53
Terra fina (<2mm) %	2.54	2.78	0.56	4.47
pH	3.64	3.74	3.56	4.05
Conductivitat ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$)	107.90	70.40	89.30	62.40
Matèria orgànica (%)	94.41	78.31	86.37	43.42
Carboni (%)	45.38	35.46	41.74	20.8
Nitrogen (%)	1.84	1.39	1.47	0.81

En les mostres del perfil 2 (mostra superficial i profunda), la matèria orgànica (m.o.) sense cremar presenta una diferència vertical del 35%, mentre que una vegada cremada és del 8%. El Carboni i Nitrogen també presenten comportaments similars. El pH té una diferència de 0,31 en els sòls no cremats i de 0,08 en els cremats. La conductivitat elèctrica és $8 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ entre la part superior i inferior del perfil sense cremar, mentre que en el sòl cremat és de $18,6 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$.

En el perfil 3 (taula 3), s'ha pogut extreure una tercera mostra de la part intermèdia del perfil, a causa de la major profunditat d'aquest sòl (fondària mostrejada de 60 cm). Permet veure la gradació dels canvis que es produeixen en profunditat. La mostra superficial i la intermèdia, tenen característiques més homogènies i es distancien de la tercera, la qual cosa indicaria que la majoria dels canvis en els paràmetres tenen lloc entre la part intermèdia i la profunda del perfil.

Si es compara el sòl cremat i el sòl no cremat del perfil 3, es pot veure una lleugera variació del material groller, entre un -0,6% i un 3,8% a favor del sòl postincendi. La matèria orgànica es manté pràcticament estable en la part superior del perfil, però augmenta en la part intermèdia dels sòls cremats (5%) i en la part inferior (47%). El carboni orgànic i el nitrogen augmenten proporcionalment a l'augment de la matèria orgànica; el carboni presenta un increment més significatiu a la part profunda del perfil en sòls cremats, amb un augment del 25%. De la mateixa manera, el nitrogen augmenta un 0,63% en

aquesta part inferior. El pH té una variació molt insignificant, excepte si es compara la part profunda del sòl cremat amb el no cremat, on presenta una disminució de 0,35 un cop cremat. La conductivitat elèctrica registra un increment evident en els tres punts del perfil, augmentant en sòls cremats en $12,6 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$, $26,2 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ i $45,9 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ respectivament.

La diferència de la matèria orgànica entre els tres punts del perfil es fa molt més evident en els sòls sense cremar, disminuint un 83% entre la part superficial i la profunda, es pot veure com un 80% de la matèria orgànica disminueix en profunditat, sobretot a partir de la part intermèdia i fins a mostra profunda del perfil. En canvi, en els sòls cremats la diferència és molt menor, amb una pèrdua del 40% en profunditat. Com a conseqüència, carboni i nitrogen també presenten variacions concordants. El pH augmenta en profunditat, majoritàriament des de la part intermèdia del perfil fins a les capes profundes amb un increment del pH en 0,44; en canvi, en els sòls cremats es manté pràcticament sense variacions al llarg del perfil. La conductivitat elèctrica varia en $58 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ en el perfil sense cremar des de la superfície fins a la mostra profunda, mentre que en sòls cremats varia $34,2 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$.

Taula 3. Resultats de les anàlisis realitzades per al perfil de sòl 3

Perfil 3	Mostra superficial		Mostra intermèdia		Mostra profunda	
	cremat	no cremat	cremat	no cremat	cremat	no cremat
Material groller (>2mm) %	95.83	92.31	95.61	96.18	90.48	86.65
Terra fina (<2mm) %	4.17	7.69	4.39	3.82	9.52	13.35
pH	3.51	3.43	3.45	3.50	3.59	3.94
Conductivitat ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$)	125.90	113.30	134.80	108.60	100.60	54.70
Matèria orgànica (%)	94.73	95.07	96.42	91.05	58.41	11.59
Carboni (%)	45.00	44.91	46.12	44.84	30.41	5.86
Nitrogen (%)	1.20	1.22	1.19	1.55	0.78	0.15

Els perfils 4, 5 i 6 (taula 4) es presenten conjuntament pel fet de ser representatius d'una mateixa zona dividida per un rierol. Fou el límit a on el foc va poder arribar de forma latent fins a quedar interceptat (figura 8). Tot i ser transsectes molt pròxims, presenten característiques molt discontinües en les mostres analitzades.

En tots tres casos, les mostres analitzades presenten menys matèria orgànica que en els altres perfils, sobretot en els sòls no cremats, i en general en guanyen. El cas més extrem és la part superficial del perfil 5, que augmenta un 76%, passant d'un 11 a un 87% de matèria orgànica. En el perfil 4, el material groller i la matèria orgànica es veuen molt reduïts en les mostres on el sòl s'ha cremat. El perfil 4 no és un sòl especialment orgànic: en els sòls cremats el material groller només representa un 22,73% del sòl en capes profundes (de 20 a 40 cm), augmentant-hi la presència de terra fina; la matèria orgànica és d'un 5,29% i consegüentment el carboni també representa una petita part: només el 2,44%.

El perfil 5 és més orgànic en el seu estat postincendi, amb més d'un 80% de matèria orgànica. En canvi, el perfil 6 torna a reduir la matèria orgànica, ja que en superfície no arriba al 10%, ni en sòls cremats ni als sense, i en profunditat no supera el 44%. El carboni orgànic i el nitrogen varien amb concordança amb la quantitat de matèria orgànica existent. El pH mostra valors molt variables, sobretot tractant-se de mostres tant pròximes, arriba a assolir el valor menys àcid de tots els mostrejats, en el perfil 4 amb 5,77; en canvi, a les proximitats apareixen valors àcids (perfil 5 al voltant dels 3,60), això suposa una variació màxima del pH de 2,17. El mateix passa amb la conductivitat elèctrica, mostrant valors molt elevats a la part superficial del perfil 4, amb $238 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$, i en altres ocasions no arriba als $50 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$: una variació total de $188 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$.

Figura 8. El rierol delimita la part cremada (a la dreta) i la sense cremar (esquerra)



Taula 4. Resultats de les anàlisis realitzades per als perfils de sòl 4, 5 i 6

Perfil 4	Mostra superficial		Mostra profunda	
	cremat	no cremat	cremat	no cremat
Material groller (>2mm) %	78.89	95.59	22.73	90.76
Terra fina (<2mm) %	21.11	4.41	77.27	9.24
pH	5.77	4.14	4.50	4.71
Conductivitat ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$)	238.00	72.30	50.90	55.60
Matèria orgànica (%)	13.42	35.16	5.29	26.74
Carboni (%)	7.13	14.22	2.44	11.14
Nitrogen (%)	0.46	0.54	0.07	0.41

Perfil 5	Mostra superficial		Mostra profunda	
	cremat	no cremat	cremat	no cremat
Material groller (>2mm) %	98.86	86.32	100.00	89.53
Terra fina (<2mm) %	1.14	13.68	0.00	10.47
pH	3.62	4.60	4.18	3.59
Conductivitat ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$)	88.70	49.80	98.90	128.10
Materia orgànica (%)	87.02	11.12	80.14	72.71
Carboni (%)	38.25	4.67	38.54	38.69
Nitrogen (%)	0.90	0.18	1.60	1.07

Perfil 6	Mostra superficial		Mostra profunda	
	cremat	no cremat	cremat	no cremat
Material groller (>2mm) %	57.78	53.85	79.07	80.57
Terra fina (<2mm) %	42.22	46.15	20.93	19.43
pH	4.65	4.96	4.00	4.86
Conductivitat ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$)	49.9	51.10	114.90	38.50
Matèria orgànica (%)	9.67	8.76	43.70	4.64
Carboni (%)	2.83	2.97	18.92	1.10
Nitrogen (%)	0.10	0.12	0.85	0.06

Quant a la comparació en les diferents parts del perfil, es pot veure una gran diversitat segons les mostres. El perfil 4 és més orgànic en aquelles mostres que no han estat cremades, ja que en el conjunt del perfil, els percentatges de materials grollers, matèria orgànica, carboni orgànic i nitrogen són superiors. En aquest cas concret, el perfil de sòl cremat és més heterogeni en comparació amb el no cremat. El perfil 5, en canvi, presenta paràmetres molt més similars en les mostres de sòl cremades. La quantitat de matèria orgànica presenta una diferència del 7% entre les dues mostres, mentre que el sòl no cremat és del 62%. Altres paràmetres com la salinitat també s'ajusten molt més en els perfils cremats, amb una diferència de $10 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$, que en els sòls sense cremar és de $78 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$. En el perfil 6, altra vegada es presenten perfils heterogenis, la matèria orgànica té diferències en profunditat del 34%, mentre que el perfil que no s'ha alterat pel foc és només del 4%. Pel que fa als paràmetres químics, el pH té valors molt similars en superfície i profunditat, tant en els sòls cremats com en els intactes; la conductivitat elèctrica, en canvi, presenta més diferències en el perfil cremat ($65 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$) que no pas en el preservat: $12,6 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$.

El perfil 7 (taula 5) també és molt orgànic, tot i algunes diferències que fan evidents les anàlisis de laboratori fetes a les mostres. Tant en superfície com en profunditat hi ha un augment del 16% en el material groller de les mostres cremades i més d'un 78% en matèria orgànica. Aquest darrer aug-

ment també comporta increments significatius del percentatge de carboni orgànic, de l'ordre del 40% en els sòls cremats, i en el nitrogen, que experimenta el mateix tipus de canvi. El pH es veu reduït en els sòls cremats, disminuint de mitjana 1,06. En canvi, la conductivitat elèctrica augmenta al voltant del $50 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$.

Es pot apreciar que hi ha hagut un canvi dels valors dels paràmetres físics i químics analitzats. Però en aquest cas concret, les diferències entre les diferents parts del perfil són molt homogènies, tant en les mostres cremades com en les sense cremar.

Taula 5. Resultats de les anàlisis realitzades per al perfil de sòl 7

Perfil 7	Mostra superficial		Mostra profunda	
	cremat	no cremat	cremat	no cremat
Material groller (>2mm) %	98.37	82.69	98.72	82.69
Terra fina (<2mm) %	1.63	17.31	1.28	17.31
pH	3.03	4.23	3.32	4.23
Conductivitat ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$)	90.40	50.7	105.1	50.7
Materia orgànica (%)	95.44	16.61	87.99	16.61
Carboni (%)	45.17	8.09	44.09	8.09
Nitrogen (%)	1.34	0.25	1.37	0.25

4. Discussió

En aquest estudi es desconeixen les dades sobre les característiques específiques de l'incendi. Tampoc, com hem assenyalat abans, no se saben els efectes del foc a curt termini en el sòl i per tant no es pot precisar l'evolució de la possible recuperació, a causa de la falta de perspectiva temporal que permeti identificar l'estat de recuperació en què es troba el sòl després d'un any i mig del pas del foc.

Algunes dades recollides a la literatura fan referència als efectes observats en plantes i sòls segons la temperatura del foc assolida durant l'incendi. Els teixits de les plantes moren entre els 50° i 60°C , de manera que la humitat, el contingut de sucres o l'espessor de l'escorça condicionaran la resistència de cada individu. La majoria de microorganismes no poden sobreviure a temperatures superiors als 100°C . Les llavors de plantes herbàcies poden sobreviure en temperatures superiors als 150°C durant 5 minuts, i algunes llavors de matolls poden sobrepassar aquest temps. Els organismes de la capa d'humus i els primers centímetres del sòl mineral hauran mort en arribar a aquestes temperatures. Si la temperatura segueix augmentant, es produeixen canvis físics i químics en la matèria orgànica i els nutrients del sòl. La piròlisi s'accelera entre els 300°C i els 390°C , s'incrementa el pH del sòl i es perd una part superior al 75% del nitrogen. Si la calor segueix cap a temperatures

d'entre 400° i 500°C s'incinera la matèria orgànica existent i es produeixen canvis estructurals del sòl (Hartford, 1992, p. 143).

És evident que al bosc estudiat va haver-hi una gran combustió de matèria orgànica que va desaparèixer, i això permet identificar que es va arribar, com diu Hartford (1992), a temperatures superiors als 500°C en els primers centímetres orgànics del sòl.

El pH del sòl augmenta després del foc (Giovannini, 1994, p. 6), tot i que en les mostres succeeix en un 30% dels casos. El nitrogen, després de dos anys, presenta una disminució en un 40% dels casos.

La conductivitat elèctrica del sòl –un paràmetre important en relació a la quantitat de nutrients disponibles– marca una tendència majoritària a ser més elevada a les mostres cremades que a les de control sense cremar; aquest resultat és típic en situacions postincendi d'altres estudis (Úbeda, 2001, p. 3). Així passa en un 75% de les mostres analitzades.

Pel que fa als elements físics analitzats, tot sembla indicar que la pèrdua de la matèria orgànica, com a element principal d'aquest tipus de sòl, ha provocat variacions evidents en l'estructura i hi ha redistribucions en els percentatges de partícules físiques del sòl.

Pel que fa a les conseqüències indirectes del foc de torbera s'han comparat els resultats observats al bosc de Rothiemurchus amb alguns estudis realitzats en diverses espècies de *Pinus* a Montana (EUA) a finals dels anys vuitanta (Ryan, 1991, p. 113). S'hi comprova que la mortaldat dels individus va augmentant a mesura que passa el temps després de l'incendi. Onze mesos després alguns exemplars encara presentaven un fullatge sa, però 23 mesos després molts havien mort. També es van observar com plagues d'escarabat *Dendroctonus poderosae* es beneficiaven d'exemplars cremats, tot i que 6 anys després es mantenien vius.

Els estudis realitzats per Ryan (1991, p. 110) van indicar la mort del 45% dels exemplars estudiats. Segons l'extensió i severitat de les cremades a la base de l'arbre o a la seva part subsuperficial, alguns exemplars van sobreviure els 6 anys, però els més afectats no van arribar als 3 anys. La mort era provocada per la ruptura del funcionament del sistema radicular, ja que ni les capçades ni els troncs havien resultat greument afectats.

En el cas dels efectes indirectes en el bosc escocès objecte d'estudi, les similituds són múltiples: l'observació al camp va constatar un gran nombre de peus caiguts a causa de la calcinació de les arrels, mentre que l'aparença aèria dels arbres es mantenia en bon estat. En el cas del bosc de Rothiemurchus, després d'un any i mig del foc ja havien caigut la majoria de pins situats en sòl cremat, ja que la calcinació de bona part de la matèria orgànica que feia de base als arbres la va fer desaparèixer pràcticament per complet.

Per altra banda, les plagues i malalties també segueixen els mateixos models de propagació biogeogràfics, aprofitant la feblesa dels individus afectats per a desenvolupar-se i crear un nou hàbitat molt perillós per la vegetació parcialment afectada per un incendi.

4.1. Comparació amb els sòls mediterranis

Si es comparen els incendis de torbera, com el del bosc de Rothiemurchus, amb els incendis mediterranis, que són molt més habituals, es poden destacar importants diferències tant en el tipus d'incendi, com en els efectes.

D'entrada les condicions ambientals de les regions mediterrànies i les regions fredes tenen característiques molt diferents, sobretot originades per la climatologia. Mentre a les zones septentrionals escoceses les precipitacions són abundants, a les regions meridionals l'estrès hídric és molt significatiu, com a conseqüència d'un clima molt més sec. De la mateixa manera, també hi ha unes diferències de temperatura importants: als boscos de regions fredes són baixes durant tot l'any, havent-hi entre 95 i 150 dies gelades l'any (Met Office, 2010); per això, l'activitat biològica actua amb lentitud. En canvi, a les zones mediterrànies les temperatures tenen un règim més oscil·lant, però són en general càlides tot l'any i especialment durant l'estiu, coincidint amb l'època més seca. Això fa concloure que els factors ambientals han causat al Mediterrani un desenvolupament de la vegetació ben diferenciat, així com també una major rapidesa de la mineralització de la matèria orgànica en comparació amb regions més fredes.

La dinàmica dels factors geomorfològics ha caracteritzat una topografia desigual a ambdós indrets. En el cas escocès, l'aigua s'acumula a les zones més planeres on la vegetació ha anat dipositant la matèria orgànica a causa de la lenta activitat de mineralització (Ray, 2008, p. 6). La topografia mediterrània per altra banda, s'ha constituït a base de torrentades, que han originat formes de relleu que provoquen escolament. D'aquesta manera es tendeix a l'erosió del sòl, tant de la capa orgànica com de la mineral.

Per les diferències geogràfiques dels dos indrets, la tipologia dels incendis serà molt distinta. Al món mediterrani predominen els focs aeris d'alta intensitat, on el combustible és la part superficial dels vegetals. Les condicions desfavorables de l'època estival comporten una humitat molt baixa i conseqüentment faciliten el desenvolupament d'aquest tipus de focs. Ben al contrari del que succeeix als boscos de les regions fredes, on no acostumen a tenir lloc incendis de tan alta intensitat (Drysedale, 1998, p. 76).

Tal i com es coneixen els incendis de subsòl en torberes, no es podrien produir a la gran majoria de l'àmbit mediterrani, ja que hi ha catalogats pocs sòls tan orgànics i profunds (Departament de Medi Ambient i Habitatge, 2004) on el foc latent pogués desenvolupar-se durant llargs períodes de temps.

El tipus de foc comportarà uns determinats efectes postincendi, tant directes com indirectes. Si els incendis de baixa intensitat de subsòl generen un impacte poc visible, els incendis d'alta intensitat poden causar una calcinació molt extensa en el paisatge.

Per això els efectes i la recuperació a llarg termini seran molt diferents. Dependrà sobretot de la intensitat i severitat del foc; però en general es pot establir que mentre els sòls orgànics canvien la seva estructura i constitució a

causa de la falta de matèria orgànica que els sustenti, els sòls més minerals mediterranis conserven la majoria de les seves característiques en la fase postincendi. D'aquesta manera es generaran menys impactes al conjunt de l'ecosistema.

La preservació del sistema d'arrels serà un punt important per sobreviure en condicions adverses. Per això les plantes afectades pels focs forestals mediterranis que cremen la part aèria de la vegetació tindran més supervivència (a banda que gran part de les espècies són rebrotadores), mentre que els focs forestals de torbera consumiran el subsòl i conseqüentment les arrels, causant la mort de la majoria dels arbres.

Un dels motius principals de la més ràpida recuperació dels sòls mediterranis, serà la seva composició química, amb pH menys extremats i amb una major disponibilitat de nutrients, que comportaran un accés als aliments necessaris perquè la planta es desenvolupi de nou. En condicions més extremes de pH àcids, com en el cas del bosc escocès, les plantes tindran més dificultats per aconseguir els nutrients.

Alhora, al món mediterrani la vegetació està molt adaptada a la regularitat dels incendis, de manera que ha desenvolupat mecanismes d'adaptació i recuperació que permeten a les plantes regenerar-se o rebrotar amb molta facilitat. Contràriament al que es podria pensar de les espècies de regions fredes, aquestes també presenten adaptacions a les pertorbacions dels incendis forestals, bàsicament perquè aquests permeten una regeneració del bosc, eliminant antics peus i creant les condicions necessàries perquè es produeixi una sembra de noves llavors que germinin de forma natural sense tanta competència (Johnstone *et al.*, 2006, p. 15).

A banda d'això, cal no oblidar que el foc és un element més de gestió natural dels ecosistemes, sobretot mediterranis, contribuint a regular la biomassa i a gestionar els boscos, sempre que els éssers humans ho permetin. En canvi, la morfologia dels boscos de regions fredes no genera tants excedents de vegetació de sotabosc que necessitin ser gestionats, com passa a la Mediterrània, les restes vegetals es van acumulant i descomponent lentament formant la torba.

4.2. Projectió futura

Els canvis en les condicions climàtiques que es preveuen a nivell planetari, lligats a un augment de les temperatures a latituds septentrionals així com a un augment de les precipitacions, podrien causar greus efectes en els sòls de torbera (Ray, 2009, p. 8).

Tal i com apunten alguns estudis realitzats sobre els impactes en els boscos escocesos, una estacionalitat més marcada en la distribució de les precipitacions, tendint a hiverns més humits i estius més secs, podria tenir impactes importants en els boscos de regions fredes i boreals, i en la seva gestió.

A més, la possibilitat de llargs períodes sense nova aportació d'aigua conduiria a un estrès hídric molt perniciosos per a les torberes. Hi hauria la possibilitat d'assecar-se i esdevenir regions potencials de risc d'incendis forestals, tal i com va succeir a les Tablas de Daimiel (Rein, 2009), generant autocombustió de la torba una vegada s'hagi consumit l'aigua disponible.

Dins un context global, la major regularitat dels incendis forestals de torbera s'hauria de tenir en compte com a potencial emissor de gasos d'efecte hivernacle, mitjançant la transmissió de carboni a l'atmosfera.

5. Conclusions

Tal i com es pot veure amb les anàlisis de mostres de sòl de torbera, un any i mig després del foc el sòl ha canviat les seves característiques físiques i químiques. S'ha perdut bona part de la matèria orgànica, és a dir, el material primari d'una torbera.

Tot i que els resultats no siguin representatius d'una recuperació, es pot veure que l'ecosistema ha seguit evolucionant, acumulant noves capes de matèria orgànica que s'anirà descomponent pausadament i passarà a formar part de la torba del sòl. Val a dir que aquest serà un procés lent que es pot prolongar durant centenars d'anys.

En aquest sentit, els sòls d'Escòcia analitzats presenten ritmes de recuperació molt diferents dels mediterranis, aquests últims més adaptats als incendis forestals. Per això cal encetar una petita reflexió sobre el que suposa el fet que el clima estigui canviant i pugui suposar una major freqüència d'incendis a les regions septentrionals. La conservació de sòls de torbera mil·lenaris requereix d'una gestió adequada per tal d'evitar que les conseqüències dels possibles incendis puguin ser perjudicials.

Bibliografia

- AMIGÓ, Josep Maria; Luis E. OCHANDO (2001). *Geologia i Química del Cosmos i de la Terra*. València: Universitat de València (Educació Materials; 51).
- BERTSCH, Isaac; Robert J. YOKELSON; Darol E. WARD; Ron E. BABBITT; Ronald A. SUSOTT; Jon G. GOODE; Wei Min HAO (2003). "Trace gas and particle emissions from fires in large diameter and belowground biomass fuels". *Journal of Geophysical Research* [EUA], núm. 108, D13, p. 84-72.
- CERTINI, Giacomo (2005). "Effects of fire on properties of forest solid: a review". *Oecologia* [EUA], núm. 143-1, p. 1-10.
- DRYSDALE, Dougal (1998). *An Introduction to Fire Dynamics*. Segona edició. Regne Unit: John Wiley & Sons.
- FOSTER, D. R.; D. H. KNIGHT; J. F. FRANLIN (1998). "Landscape Patterns and Legacies Resulting from Large, Infrequent Forest Disturbances". *Ecosystems* [EUA], núm. 1, p. 497-510.

- GIOVANNINI, Giacomo (1994). "The effect of fire on soil quality". A: SALA, Maria; J. L. RUBIO [eds.]. *Soil erosion as a consequence of forest fires*. Barcelona: Geoderma Ediciones, p. 15-27.
- HARTFORD, Roberta A.; William H. FRANSEN (1992). "When it's hot, it's hot etc. or maybe it's not!, surface flaming may not portend extensive soil heating", *International Journal of Wildland Fire* [EUA], núm. 2, p. 139-144.
- JOHNSON, E. A.; K. MIYANISHI; J. M. H. WEIR (1998). "Wildfires in the western Canadian boreal forest: landscape patterns and ecosystem management". *Journal of Vegetation Science* [Canadà], vol. 9, núm. 4, p. 603-610.
- JOHNSTONE, Jill. F.; Francis STUART CHAPIN III (2006). "Effects of Soil Burn Severity on Post-Fire Tree Recruitment in Boreal Forest". *Ecosystems* [Canadà], núm. 9, p. 14-31.
- JOOSTEN, Hans; Donal CLARK (2002). "Wise use of mires and peatlands, Background and Principles Including a Framework for Decision Making". A: *International Mire Conservation Group and International Peat Society, NHBS*, Regne Unit, document online.
- MALLIK, Azim U.; Charles Henry GIMMINGHAM; A. A. RAHMAN (1984). "Ecological effects of heather burning. I Water infiltration, moisture retention and porosity of surface soil". *Journal of Ecology* [Regne Unit], núm. 72, p. 767-776.
- MATAIX-SOLERA, Jorge; César GUERRERO (2007). "Efectos de los incendios forestales en las propiedades edáficas". A: MATAIX-SOLERA, Jorge; César GUERRERO; Xavier ÚBEDA; Luis OUTEIRO; M. Pilar TORRES; Artemi CERDÀ; Merche B. BODÍ; Viky ARCENEGUI; Raúl ZORNOZA; Ignacio GÓMEZ; Jorge MATAIX-BENEYTO. *Incendios forestales, suelos y erosión hídrica*. València: Caja Mediterráneo CEMACAM, vol. 1, p. 5-40.
- MORENO, Luis; María-Emilia JIMÉNEZ; Héctor AGUILERA; Patricia JIMÉNEZ; Almudena DE LA LOSA (2010). "The 2009 smouldering Peat Fire in Las Tablas de Daimiel National Park (Spain)". *Fire Technology* [EUA], núm. 10.
- NAVEH, Z. (1974). "Effects of the fire in the Mediterranean region". A: KOZLOWSKI, T. T.; C. AHLGREN, [eds.]. *Fire and Ecosystems*. Oregon: Academic Press, p. 214-219.
- OHLEMILLER, Thomas. J. (1985). "Modelling of smouldering combustion propagation". *Progress Energy Combustion Science* [EUA], núm. 11, p. 277-310.
- OUTEIRO, Luis; Francesc ASPERÓ; Jorge MATAIX-SOLERA; Xavier ÚBEDA (2007). "El foc com a causant de canvis en les propietats del sòl. Incendis forestals i cremes prescrites". *Treballs de la Societat Catalana de Geografia* [Barcelona], núm. 63, p. 229-250.
- PAGE, Susanne; Florian SIERGERT; John O. RIELEY; Hans-Dieter V. BOEHM; Andy JAYA; Suwido LIMIN (2002). "The amount of carbon released from peat forest fires in Indonesia during 1997". *Nature* [EUA], núm. 420, p. 61-65.
- RAY, Duncan; Dave WAINHOUSE; Joan WEBBER; Barry GARDINER (2008). *Impacts of climate change on forests and forestry in Scotland*. Regne Unit: The Research Agency of Forestry Commission.
- RYAN, Kevin C.; William H. FRANSEN (1991). "Basal Injury from Smoldering Fires in Mature *Pinus Ponderosa* Laws". *International Journal of Wildland Fire* [EUA], núm. 1, p. 107-118.
- REIN, Guillermo; Simon COHEN; Albert SIMEONI (2009). "Carbon Emissions from Smouldering Peat in Shallow and Strong Fronts". *Proceedings of the Combustion Institute* [Regne Unit], núm. 32, p. 2489-2496.

- REIN, Guillermo; Natalie CLEAVER; Clare ASHTON; Pablo PIRONI; Jose L. TORERO (2008). "The severity of smouldering peat fires and damage to the forest soil". *Fire Effects on Soil Properties. Catena* [EUA], vol. 74,3,15, p. 304-309.
- RUIZ DEL CASTILLO, J. (2000). "Efectos del fuego en los ecosistemas forestales". A: VÉLEZ, Ricardo [ed.]. *La defensa contra incendios forestales. Fundamentos y experiencias*. Espanya: Mc Graw Hill, capítols 4-5.
- TALLIS, John H. (1987). "Fire and flood at Holme Moss (England, UK). Erosion processes in an upland blanket mire". *Journal of Ecology* [Regne Unit], núm. 75, p. 1099-1130.
- ÚBEDA, Xavier (2000). "Els incendis forestals com a causants de l'increment d'erosió del sòl". *Butlletí de la Institució Catalana d'Història Natural* [Barcelona], vol. 68, p. 5-14.
- (2001). "Cambios en las características de un suelo quemado a diferente intensidad después de un incendio forestal". *Edafología* [Santiago de Compostel-la], núm. 8, p. 41-49.
- ÚBEDA, Xavier; Marc LORCA; Luis R. OUTEIRO; Sara BERNIA; Marc CASTELLNOU (2005). "The effects of prescribed fire on soil quality (Prades Mountains, North East Spain)". *International Journal of Wildland Fire* [Australia], núm. 14, p. 379-384.
- USUP, Aswin; Yoshihiro HASHIMOTO; Hidenori TAKAHASHI; Hiroshi HAYASAKA (2004). "Combustion and thermal characteristics of peat fire in tropical peatland in Central Kalimantan, Indonesia". *Tropics* [Japó], núm. 14 (1), p. 1-19.

Webgrafia

- Departament de Medi Ambient i Habitatge de la Generalitat de Catalunya (2004). *Inventari de zones humides de Catalunya*. <http://mediambient.gentcat.net> (consultat 17/04/2009)
- Met Office UK. <http://www.metoffice.gov.uk> (consultat 01/04/2009)
- REIN *et al.* Presentació sobre els incendis de torbera. http://www.see.ed.ac.uk/~grein/others/Rein_IncendiosSoterrados_ICAI_Nov09.pdf (consultat 25/03/2009)