



# QUAN PASSEN LES FLAMES I EL FUM

## EL PAPER DE LES CENDRES SEGONS TRES JOVES INVESTIGADORS

Merche B. Bodí, Victoria Balfour i Paulo Pereira

Les cendres tenen un paper fonamental en l'ecosistema immediatament després d'un incendi forestal. Els resultats obtinguts de les cendres obren noves perspectives i interpretacions sobre l'avaluació i efectes dels incendis. La natura de les cendres varia segons la vegetació originària i la temperatura de combustió, de manera que la capa acumulada presenta diferents característiques quant a color, composició mineral, mida, reaccions químiques, repel·lència a l'aigua i grossor. Aquesta variabilitat en les característiques de les cendres explica els diferents efectes produïts en cada ecosistema.

La imatge que ens queda a tots immediatament després d'un incendi forestal és la d'un paisatge en blanc i negre amb un sòl cobert de cendra grisenca. Les cendres cobreixen el sòl i solen acumular-se allà on més biomassa hi havia. Són el producte de la combustió de la vegetació viva i morta, i són compostes per material orgànic carbonitzat i material mineral.

Després d'un incendi, el paisatge i l'ecosistema canvien de sobte. Els elements que controlaven el funcionament hidrològic i el cicle de nutrients han canviat i les cendres passen a tenir un paper fonamental en l'ecosistema. Malgrat aquest paper clau, les cendres han estat les grans oblidades. Fins ara, sols s'havien fet anàlisis sobre el seu paper

en el cicle dels nutrients. Els motius del retard en l'estudi de les cendres s'expliquen perquè són un material heterogeni (orgànic i mineral) que canvia ràpidament quan interactua amb l'atmosfera, i al fet que són efímeres davant l'atac de l'aigua i del vent. Per això, l'estudi de les cendres requereix un mostreig ràpid, que implica tenir l'experiment dissenyat i l'equip llest per a entrar en acció.

Tres joves investigadors ens encarreguem d'aquesta tasca de caracteritzar les cendres i analitzar quins són els seus efectes en l'ecosistema, especialment al sòl. Cadascun tenim un punt de vista distint, però els nostres treballs es complementen. Així, els coneixements adquirits podran ser utilitzats per millorar l'avaluació de l'estat de l'ecosistema després d'un incendi i per actuar més acuradament.

### ■ PAULO PEREIRA I ELS EFECTES DEL FOC

Paulo Pereira és portuguès i va ser estudiant de doctorat a la Universitat de Barcelona. Des de 2010 és doctor en Geografia Física i treballa a la Universitat de Vïlnius, a Lituània. Ha estudiat algunes característiques físiques i químiques de les cendres segons la severitat del foc i la vegetació originària, tant de cendres provinents d'incendis forestals com de cremes prescrites o produïdes al laboratori. Segons Paulo, les cendres són més que el residu de la vegetació després d'un incendi forestal, són un dels principals factors de la recuperació de l'ecosistema.

La característica més visible de la cendra és el color. D'acord amb els resultats de Pereira, aquest simple atribut aporta molta informació sobre els efectes de les cendres en l'ecosistema. Generalment, a temperatures menors de 300°C es produeix cendra enrogida. A més de 300°C passa a ser negra i grisa, fins als 500-550°C, quan és blanca. Així, utilitzant el color de les cendres com a paràmetre, podem quantificar la severitat del foc i els possibles efectes dels incendis en un ecosistema. Per tant, si la cendra depositada al sòl té un color negre, significa que la severitat de l'incendi no ha estat elevada i que quasi segur el bosc no necessita cap intervenció per recuperar-se.

Durant la combustió es produeix la mineralització de la matèria orgànica, és a dir, la matèria orgànica es converteix totalment o parcialment en una estructura inor-

**«DESPRÉS D'UN INCENDI,  
EL PAISATGE I L'ECOSISTEMA  
CANVIEN I LES CENDRES  
PASSEN A TENIR UN PAPER  
FONAMENTAL»**

A l'esquerra, Javier Riera, *Agullent-AC*, 2011. Fotografia sobre paper, 82 x 120 cm.



© Paulo Pereira

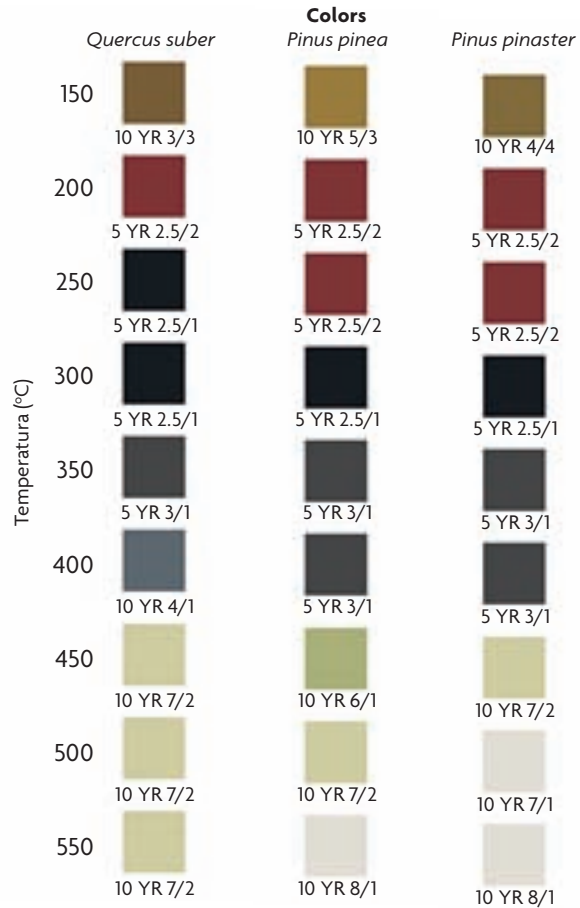
© Paulo Pereira

A dalt, cendra rogenca i negra, i a sota, cendra gris i blanca. Les cendres blanques indiquen altes intensitats de foc i són més minerals que les negres, que indiquen una baixa intensitat del foc i una composició més orgànica.

gànica mineral. Així, la mineralització és una alliberació sobtada de nutrients que passen a estar disponibles per a ser utilitzats per les plantes. No obstant això, els nutrients també són més vulnerables a possibles pèrdues en l'aigua d'escolament o per lixiviació. A més, si la concentració de nutrients en aquests fluxos és elevada, tant els cursos d'aigua com els embassaments poden resultar contaminats.

Els components orgànics i minerals de les cendres canvien segons el tipus de vegetació i la temperatura de combustió. Els nutrients que componen la cendra produïda a temperatures baixes no són molt diferents dels nutrients que conformen la fullaraca, però l'estructura del carbó orgànic és diferent a causa dels processos de piròlisi, de manera que es constitueixen formes més resilents, com el *black carbon*,

**«LA CARACTERÍSTICA MÉS VISIBLE DE LA CENDRA ÉS EL COLOR. UTILITZANT EL COLOR PODEM QUANTIFICAR LA SEVERITAT DEL FOC I ELS EFECTES DELS INCENDIS EN UN ECOSISTEMA»**

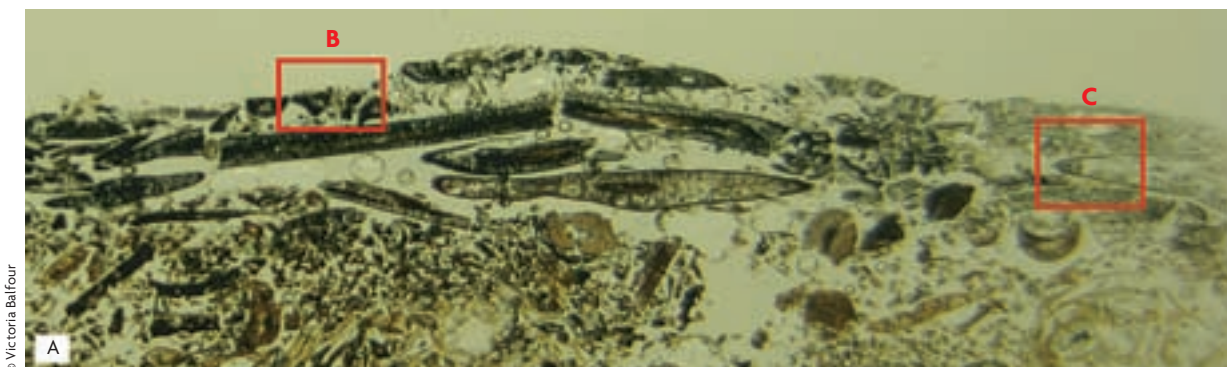


Canvis en el color de les cendres segons el gradient de temperatura en *Quercus suber*, *Pinus pinea* i *Pinus pinaster*.

© Paulo Pereira

que exerceix un paper important en la reserva de carboni a llarg termini. Per altra banda, la cendra produïda a temperatures entre 300-400°C allibera quantitats considerables de calci i magnesi, dos dels nutrients més importants per al creixement de les plantes. A temperatures més elevades (>400°C), les cendres són quasi completament minerals, i el sodi, potassi, silici i sofre són els elements més comuns. La presència de carbó és residual. Lligant aquesta informació amb l'anterior veiem que l'anàlisi del color de les cendres ens pot donar no sols una estimació indirecta de la severitat de l'incendi, sinó també de quins nutrients estaran potencialment disponibles després d'un incendi.

Tanmateix, Paulo ha comprovat que la mateixa espècie localitzada a diferents ecosistemes no té la mateixa resistència a un incendi i pot ser, fins i tot, més inflamable



© Victoria Balfour

Centímetre superior d'una secció fina de sòl franc-arenós (A) amb àrees ampliades en llum transmesa (B1, C1) i la llum polaritzada transversal (B2, C2). En la imatge es mostra com la cendra blanca omple els porus entre les partícules grans de cendra i les partícules de sòl. La cendra blanca és de color blanc brillant a la llum de polarització transversal a causa de la presència de calcita.

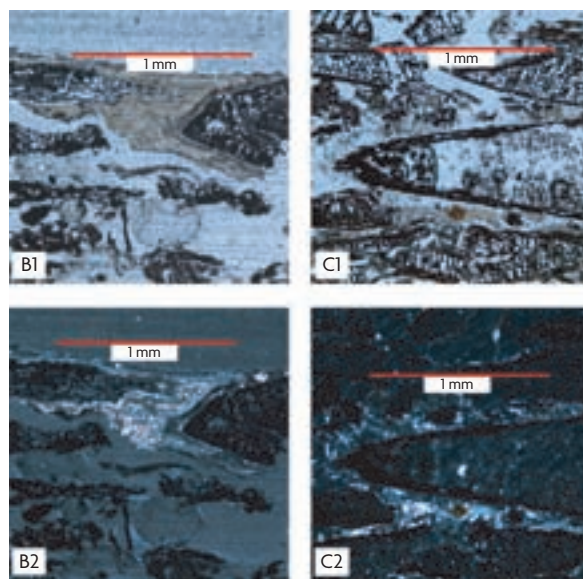
segons el tipus de fulla. D'açò interpretem que el color, els minerals alliberats i en general els efectes de l'incendi no depenen sols de l'espècie afectada i de la temperatura de combustió sinó també de l'ecosistema específic.

■ VICKY BALFOUR I LA RELACIÓ ENTRE CENDRES I HIDROLOGIA

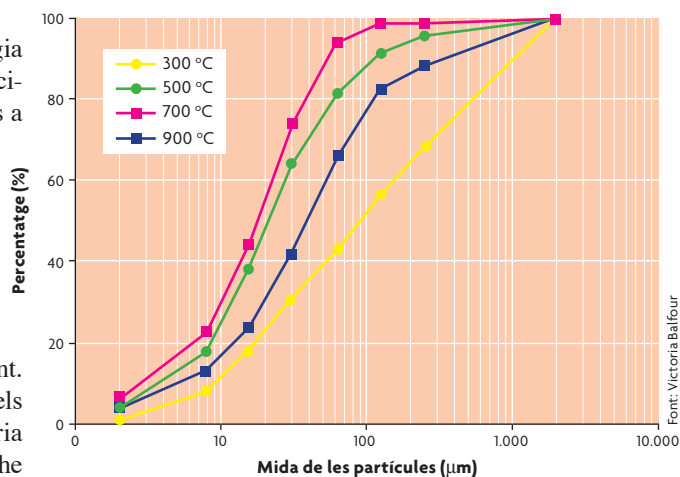
La cendra també és un factor clau per entendre les alteracions en l'escolament i les taxes d'erosió postincendi en conques forestals. Aquestes alteracions poden generar un considerable impacte humà i social, com ara el risc d'inundacions i arrossegament de sediments, amb el consegüent efecte en els subministraments públics d'aigua com els embassaments, que perden capacitat d'emmagatzemament, i la reducció de la qualitat del sòl als boscos.

Tot i que aquests factors que alteren la hidrologia postincendi estan ben estudiats, encara hi ha imprecisions, com la no consideració fins ara de les cendres a la superfície del sòl. En general els científics estan d'acord que les cendres alteren la resposta hidrològica postincendi, encara que la literatura és contradictòria. L'opinió més comuna és que segellen la superfície del sòl i l'escolament augmenta, però altres estudis suggereixen que la capa de cendra redueix temporalment l'escolament, ja que emmagatzema l'aigua de la pluja i protegeix el sòl subjacent. Comprendre aquesta aparent contradicció és un dels objectius de les dues estudiants de doctorat, Victoria Balfour, a la Universitat de Montana (EUA), i Merche B. Bodí, a la Universitat de València.

Segons els resultats de Victoria, una capa de cendra fina (<1 cm) sobre un sòl macroporós taparà els po-



© Victoria Balfour



Font: Victoria Balfour

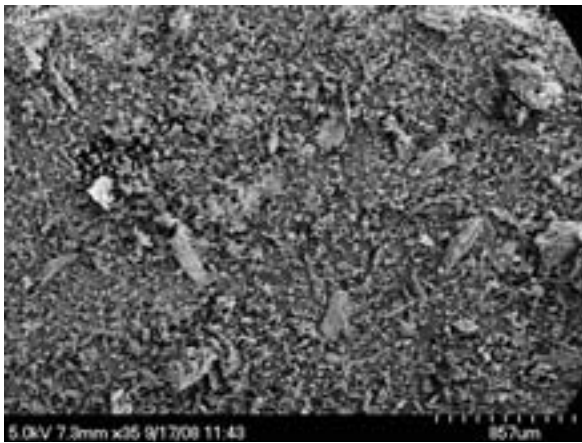
Distribució de mida de partícules de cendra produïda al laboratori a diferents temperatures. A més intensitat del foc, menor diàmetre dels grans de les cendres fins a 900 °C que canvia la tendència.



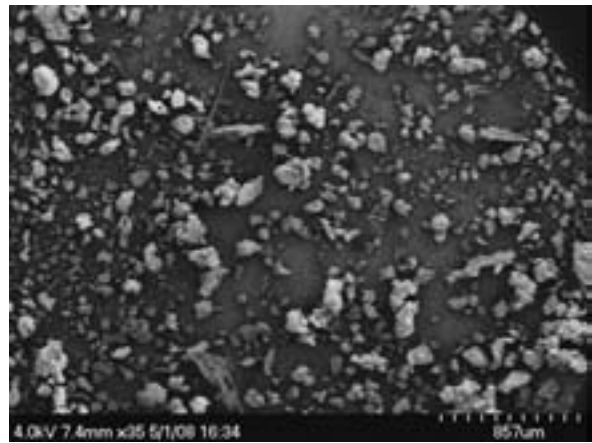
© Victoria Balfour



© Victoria Balfour



© Victoria Balfour



© Victoria Balfour

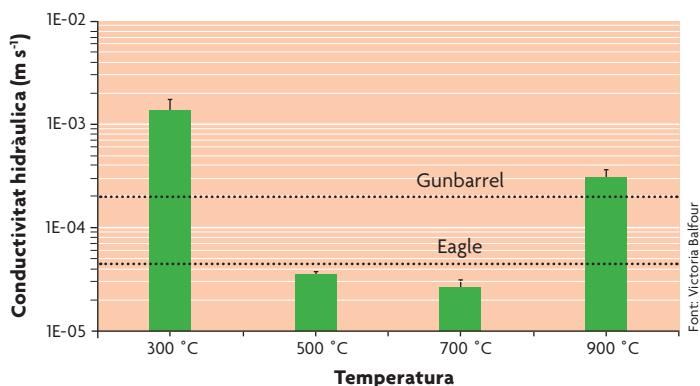
rus més grans i augmentarà l'escolament, mentre que la mateixa cendra cobrint un sòl fi no tindrà cap efecte distint del sòl individualment. Si les cendres són gruixudes, no produiran cap efecte de segellament.

De la mateixa manera que el color o la composició mineral, la mida de les cendres també varia en funció del tipus de vegetació i de la temperatura de combustió. A mesura que augmenta la temperatura, el diàmetre de les partícules de la cendra disminueix. Però a temperatures superiors a 900 °C la tendència canvia i la mida s'incrementa. L'anàlisi de les cendres amb microscopi electrònic indica que aquest engrandiment és degut a un creixement cristal·lí associat amb la hidratació de cendres. Aquesta hidratació comença amb la descomposició tèrmica de la matèria orgànica per la combustió, i subsegüent formació d'òxids de calci, entre molts altres òxids. Aquest és un mineral molt inestable que es transforma en calcita en contacte amb el diòxid de carboni de l'atmosfera i l'aigua de la pluja. Les cendres hidratades conformen una espècie de ciment que les encrosta i que redueix la seva capacitat d'infiltració.

El gruix de la capa de cendra també pot explicar la variabilitat de resposta en la infiltració i l'escolament, ja

Imatges preses amb un escàner de micrografia electrònica per rastreig de la forma i mida de les partícules de cendra produïdes al laboratori a temperatures de 300, 500, 700 i 900 °C (de dreta a esquerra, i de dalt a baix). S'hi pot apreciar que a menor temperatura les cendres són més gruixudes, amb partícules més grans i molt irregulars. A temperatures altes les cendres es fan homogènies i menudes.

**«ELS CANVIS EN L'ESTRUCTURA DE LA CENDRA I LES VARIACIONS EN LA MESURA DELS PORUS ES CORRELACIONEN AMB ALTERACIONS EN LES PROPIETATS HIDROLÒGIQUES DE LES CENDRES, COM LA CAPACITAT DE RETENCIÓ D'AIGUA I LA CONDUCTIVITAT HIDRÀULICA»**



Font: Victoria Balfour

Conductivitat hidràulica de mostres de cendra produïdes al laboratori a diferents temperatures, així com mostres recollides en els incendis de Gunbarrel i Eagle (EUA). Tant amb baixes com amb altes temperatures s'aconsegueixen altes conductivitats en cendres fresques.

que determina en part la capacitat d'emmagatzematge d'aigua. Com que la porositat de les cendres pot arribar a un 90%, aquesta capacitat d'emmagatzemar aigua és molt elevada. D'aquesta manera, encara que una capa de cendra fina (<1 cm) pot obstruir els porus del sòl en funció de les seves propietats, capes més gruixudes de cendra (2-5 cm) augmentaran la capacitat d'emmagatzematge de les cendres, retardant i reduint així l'escolament, fins al punt que no es produeix cap flux superficial, independentment de qualsevol efecte de l'obstrucció de porus al sòl subjacent.

Els canvis en l'estructura de la cendra i les variacions en la mida del porus es correlacionen amb alteracions en les propietats hidrològiques de les cendres, com la capacitat de retenció d'aigua i la conductivitat hidràulica, és per això que donen resposta a la variabilitat de resultats obtinguts en escolament i erosió postincendi.

**■ MERCHE B. BODÍ I LA REPEL·LÈNCIA A L'AIGUA DE LES CENDRES**

Un altre factor més que pot explicar aquesta variabilitat dels efectes de les cendres en la hidrologia del sòl és la repel·lència a l'aigua. La repel·lència a l'aigua o hidrofobicitat és una propietat dels materials que són capaços d'evitar que l'aigua penetri en ells. En el sòl, la repel·lència a l'aigua és un tema d'estudi relativament recent però rellevant, ja que també modifica les taxes d'escolament i erosió. Respecte a les cendres, s'ha as-

sumit que són un material hidrofílic amb gran capacitat d'emmagatzemament d'aigua, no obstant això hi ha algunes cendres que no es comporten així i són repel·lents. Segons els resultats obtinguts, algunes cendres amb major contingut de matèria orgànica i per tant cremades a temperatures més baixes poden ser repel·lents. Aquests resultats s'han matisat amb treball de laboratori amb cendres de tres espècies mediterrànies: pi blanc (*Pinus halepensis*), coscolla (*Quercus coccifera*) i romer (*Rosmarinus officinalis*) produïdes a diferents temperatures. S'ha comprovat que les cendres de coscolla i pi produïdes a 250°C són les més repel·lents. A mesura que augmenta la temperatura, la repel·lència disminueix i a partir de més de 400°C desapareix. El romer és el que menys repel·lència té i ocorre a 350°C. També s'ha observat repel·lència a l'aigua en cendres cremades a baixes temperatures provinents d'eucaliptus, a Austràlia. Els causants de la repel·lència es creu que són certs compostos presents a la matèria orgànica pirolitzada (igual com ocorre al sòl).

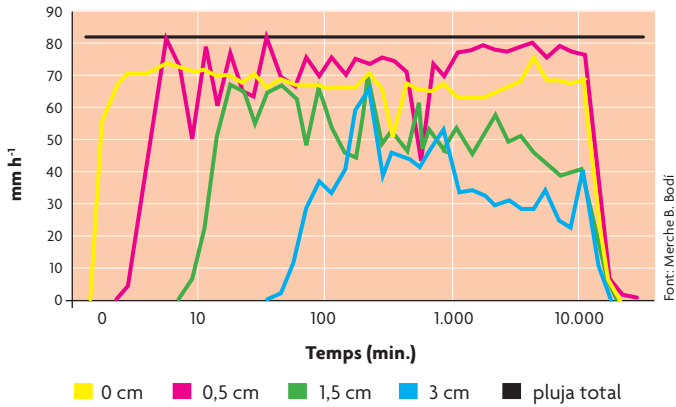
Tornant a la situació d'abans d'una capa de cendres sobre un sòl cremat, i ara considerant la repel·lència de les cendres i del sòl, podem suposar diverses situacions: una capa de cendra repel·lent sobre un sòl hidrofílic o hidrofòbic o una capa de cendra hidrofílica damunt d'un sòl hidrofílic o hidrofòbic. En el primer cas, quan la cendra és repel·lent i el sòl absorbeix l'aigua, la resposta és similar a la situació estudiada per Victoria Balfour, de cendres hidratades amb baixa conductivitat hidràulica. Hi

**«S'HA ASSUMIT QUE LES CENDRES SÓN UN MATERIAL HIDROFÍLIC AMB GRAN CAPACITAT D'EMMAGATZEMAMENT D'AIGUA. NO OBSTANT AIXÒ ALGUNES D'ELLES NO ES COMPORTEM AIXÍ I SÓN REPEL·LENTS»**

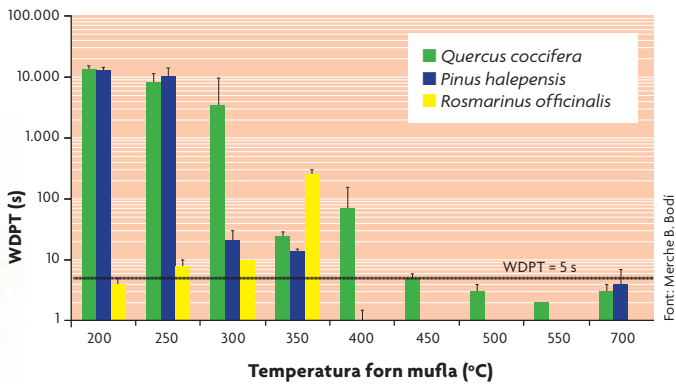


© Merche B. Bodí

Mostra de cendra d'*Eucalyptus regnans* repel·lent a l'aigua. Recollida en l'incendi prescrit a Austràlia.



Evolució de l'escolament en un sòl repel·lent cobert amb una capa de cendra hidrofílica en diferents grossors. La pluja és simulada i la intensitat és de 82 mm h<sup>-1</sup>. A major grossor menor escolament, el que és degut a l'alta capacitat de retenció hídrica de les cendres.



Repel·lència a l'aigua (WDPT) de cendres de *Quercus coccifera*, *Pinus halepensis* i *Rosmarinus officinalis* produïdes al laboratori a diferents temperatures. La repel·lència a l'aigua és mesurada amb el test de penetració de la gota d'aigua (Water Drop Penetration Time Test o WDPT) i, per convenció, una mostra es considera repel·lent quan tarda més de 5 segons a infiltrar-se.

haurà un major escolament superficial produït per les cendres, que eventualment poden saturar-se i produir infiltració fins al sòl. En canvi, si el sòl també és repel·lent, existiran poques oportunitats que l'aigua penetri a través del perfil. Quan la cendra és hidrofílica sobre un sòl repel·lent, s'observa que la capa de cendra emmagatzema l'aigua i hi ha una reducció temporal de l'escolament fins que se satura. El temps que tarda a saturar-se augmenta com més grossa és la capa de cendra i alhora més infiltració és produïda al sòl. Açò és així perquè la repel·lència del sòl és reduïda perquè està sotmesa a més pres-

sió i més temps en contacte amb l'aigua. Després de la primera pluja, la repel·lència tant de les cendres com del sòl disminueix.

## LA INVESTIGACIÓ DE LES CENDRES

El recent estudi de les cendres dóna noves perspectives i interpretacions a l'avaluació i efectes dels incendis forestals al sòl, com per exemple el mesurament de la severitat del foc i els fenòmens d'escolament o d'erosió.

La informació que adquirim en l'anàlisi física i química de les cendres ens proporciona dades indirectes de la temperatura de combustió de l'incendi, el tipus i quantitat de nutrients alliberats en dissolució, si la cendra contribuirà a la tendència general d'augmentar les taxes d'escolament després d'un incendi i per tant serà un indicador de major perill en les avaluacions dels riscos postincendi o si, en canvi, les cendres temporalment reduiran l'escolament i l'erosió i llavors hi pot haver un benefici associat amb l'estabilització local de la capa de cendra.

Així, amb l'anàlisi de la cendra i d'altres paràmetres del sòl i vegetació, és possible avaluar l'estat de la zona cremada i triar quina opció de gestió és l'adequada: si és necessari intervenir o no i en quina mesura cal invertir en projectes de rehabilitació i restauració. Aquest estudi, però, no manca de complexitat perquè tant les propietats de les cendres com els altres paràmetres varien segons la vegetació inicial, temperatura de combustió i ecosistema implicat. Aquest és un dels motius pels quals la investigació sobre les propietats de les cendres i en general dels incendis forestals continua. ☺

## BIBLIOGRAFIA

- BALFOUR, V. N. i S. W. WOODS, 2010. «Physical and Hydrological Properties of Vegetative Ash». *Annual Meeting of the Montana Chapter of the American Water Resources Association*. Montana, EUA.
- BODÍ, M. B. *et al.*, 2011. «The Wettability of Ash from Burned Vegetation and its Relationship to Mediterranean Plant Species Type, Burn Severity and Total Organic Carbon Content». *Geoderma*, 160: 599-607.
- PEREIRA, P., 2010. *Effects of Fire Intensity in Ash Chemical and Physical Characteristics of Mediterranean Species and Their Impact in Water Quality*. Tesis doctoral. Universitat de Barcelona.

## «EL RECENT ESTUDI DE LES CENDRES DÓN A NOVES PERSPECTIVES I INTERPRETACIONS A L'AVALUACIÓ I EFECTES DELS INCENDIS FORESTALS AL SÒL»

**Merche B. Bodí.** Investigadora del Soil Erosion and Degradation Research Group (SEDER), Departament de Geografia, Universitat de València.

**Victoria Balfour.** Investigadora del Departament de Ciències dels Ecosistemes i la Conservació, Universitat de Montana (EUA).

**Paulo Pereira.** Investigador del Grup de Recerca Ambiental, Departament de Geografia, Universitat de Barcelona, i del Departament de Gestió i Política Ambiental, Universitat Mykolas Romeris, Víliaus, Lituània.