



CUANDO ACABAN LAS LLAMAS Y EL HUMO

EL PAPEL DE LAS CENIZAS SEGÚN TRES JÓVENES INVESTIGADORES

Merche B. Bodí, Victoria Balfour y Paulo Pereira

Las cenizas tienen un papel fundamental en el ecosistema inmediatamente después de un incendio forestal. Los resultados obtenidos de las cenizas abren nuevas perspectivas e interpretaciones sobre la evaluación y efectos de los incendios. La naturaleza de las cenizas varía según la vegetación originaria y la temperatura de combustión, de manera que la capa acumulada presenta diferentes características en cuanto a color, composición mineral, medida, reacciones químicas, repelencia al agua y grosor. Esta variabilidad en las características de las cenizas explica los diferentes efectos producidos en cada ecosistema.

La imagen que nos queda a todos inmediatamente después de un incendio forestal es la de un paisaje en blanco y negro con un suelo cubierto de ceniza grisácea. Las cenizas cubren el suelo y suelen acumularse allí donde más biomasa había. Son el producto de la combustión de la vegetación viva y muerta, y están compuestas por material orgánico carbonizado y material mineral.

Tras un incendio, el paisaje y el ecosistema cambian de repente. Los elementos que controlaban el funcionamiento hidrológico y el ciclo de nutrientes han cambiado y las cenizas adquieren un papel fundamental en el ecosistema. A pesar de este papel clave, las cenizas han sido las grandes olvidadas. Hasta ahora, solo se habían hecho análisis sobre su papel en el ciclo de los nutrientes. Los motivos del retraso en el estudio de las cenizas se explican porque son un material heterogéneo (orgánico y mineral) que cambia rápidamente cuando interactúa con la atmósfera, y al hecho de que son efímeras ante el ataque del agua y del viento. Por ello, el estudio de las cenizas requiere un muestreo rápido, lo que implica tener el experimento diseñado y el equipo listo para entrar en acción.

Tres jóvenes investigadores nos encargamos de esta tarea de caracterizar las cenizas y analizar cuáles son sus efectos en el ecosistema, especialmente en el suelo. Cada uno tenemos un punto de vista distinto, pero nuestros trabajos se complementan. Así, los conocimientos adquiridos podrán ser utilizados para mejorar la evalua-

ción del estado del ecosistema tras un incendio y para actuar más cuidadosamente.

■ PAULO PEREIRA Y LOS EFECTOS DEL FUEGO

Paulo Pereira es portugués y fue estudiante de doctorado en la Universidad de Barcelona. Desde 2010 es doctor en Geografía Física y trabaja en la Universidad de Vilna, en Lituania. Ha estudiado algunas características físicas y químicas de las cenizas según la severidad del fuego y la vegetación originaria, tanto cenizas procedentes de incendios forestales como de quemas prescritas o producidas en el laboratorio. Según Paulo, las cenizas son más que el residuo de la vegetación tras un incendio forestal, son uno de los principales factores de la recuperación del ecosistema.

La característica más visible de la ceniza es el color. De acuerdo con los resultados de Pereira, este simple atributo aporta mucha información sobre los efectos de las cenizas en el ecosistema. Generalmente, a temperaturas menores de 300°C se produce ceniza enrojecida. A más de 300°C pasa a ser negra y gris, hasta 500-550°C, cuando es blanca. Así, utilizando el color de las cenizas como parámetro, podemos cuantificar la severidad del fuego y los posibles efectos de los incendios en un ecosistema. Por tanto, si la ceniza depositada en el suelo tiene un color negro, significa que la severidad del incendio no ha sido elevada

«TRAS UN INCENDIO, EL PAISAJE Y EL ECOSISTEMA CAMBIAN Y LAS CENIZAS ADQUIEREN UN PAPEL FUNDAMENTAL»

A la izquierda, Javier Riera, *Agullent-AC*, 2011. Fotografía sobre papel, 82 x 120 cm.



© Paulo Pereira



© Paulo Pereira

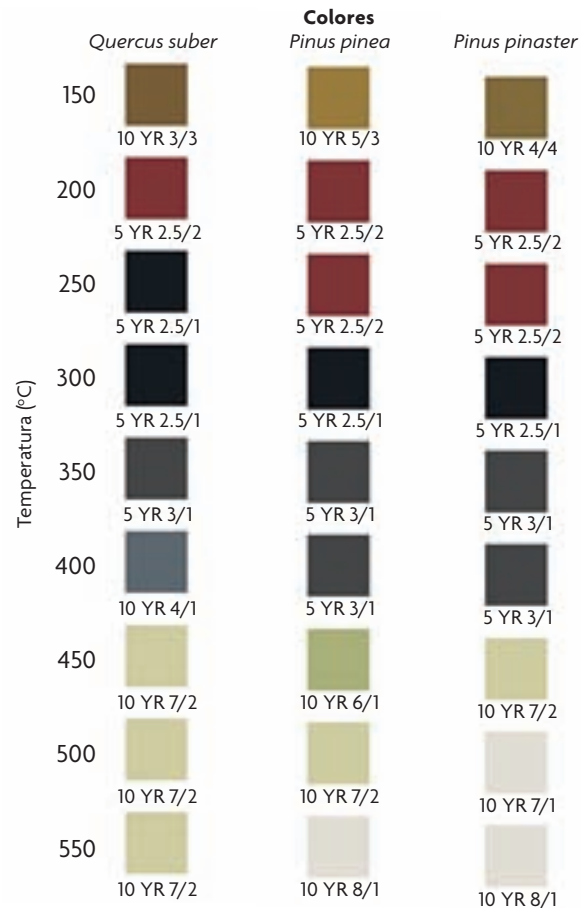
Arriba, ceniza rojiza y negra, y debajo, ceniza gris y blanca. Las cenizas blancas indican altas intensidades de fuego y son más minerales que las negras, que indican una baja intensidad del fuego y una composición más orgánica.

y que seguramente el bosque no necesita ninguna intervención para recuperarse.

Durante la combustión se produce la mineralización de la materia orgánica, es decir, la materia orgánica se convierte total o parcialmente en una estructura inorgánica mineral. Así, la mineralización es una liberación súbita de nutrientes que pasan a estar disponibles para ser utilizados por las plantas. No obstante, los nutrientes también son más vulnerables a posibles pérdidas en el agua de escorrentía o por lixiviación. Además, si la concentración de nutrientes en estos flujos es elevada, tanto cursos de agua como embalses pueden resultar contaminados.

Los componentes orgánicos y minerales de las cenizas cambian según el tipo de vegetación y la temperatura de combustión. Los nutrientes que componen la ceniza

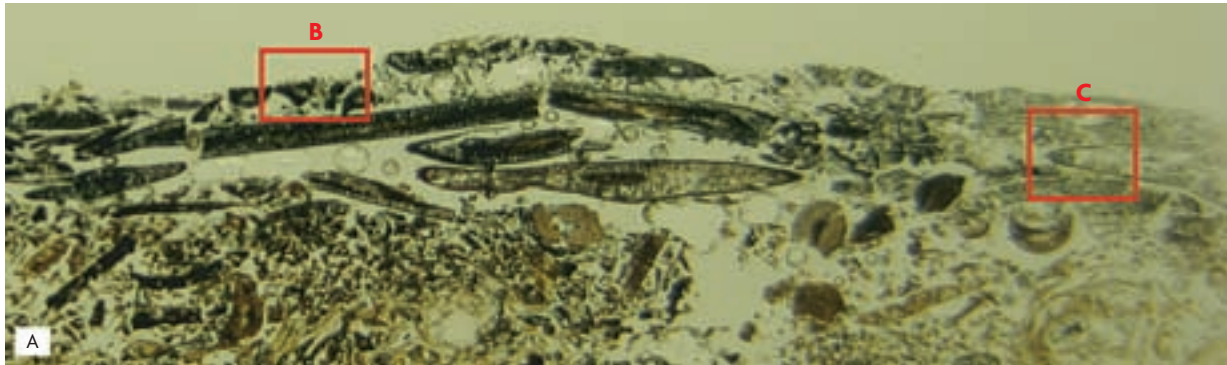
«LA CARACTERÍSTICA MÁS VISIBLE DE LA CENIZA ES EL COLOR. UTILIZANDO EL COLOR PODEMOS CUANTIFICAR LA SEVERIDAD DEL FUEGO Y SUS POSIBLES EFECTOS EN UN ECOSISTEMA»



© Paulo Pereira

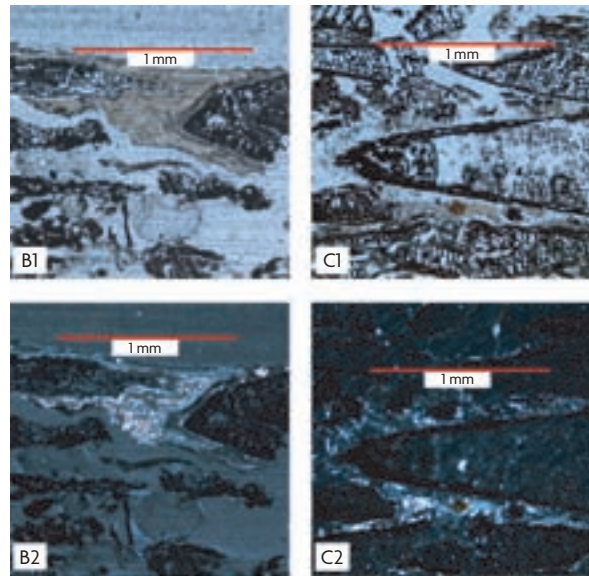
Cambios en el color de las cenizas según el gradiente de temperatura en *Quercus suber*, *Pinus pinea* y *Pinus pinaster*.

za producida a temperaturas bajas no son muy distintos de los nutrientes que conforman la hojarasca, pero la estructura del carbón orgánico es diferente a causa de los procesos de pirólisis, de manera que se constituyen formas más resilientes, como el *black carbon*, que ejerce un papel importante en la reserva de carbono a largo plazo. Por otra parte, la ceniza producida a temperaturas entre 300-400°C libera cantidades considerables de calcio y magnesio, dos de los nutrientes más importantes para el crecimiento de las plantas. A temperaturas más elevadas (>400°C), las cenizas son casi completamente minerales, y el sodio, potasio, silicio y azufre son los elementos más comunes. La presencia de carbón es residual. Ligando esta información con la anterior vemos que el análisis del color de las cenizas nos puede dar no solo una estimación indirecta de la severidad del incendio, sino



© Victoria Balfour

Centímetro superior de una sección fina de suelo franco-arenoso (A) con áreas ampliadas en luz transmitida (B1, C1) y la luz polarizada transversal (B2, C2). En la imagen se muestra cómo la ceniza blanca rellena los poros entre las partículas grandes de ceniza y las partículas de suelo. La ceniza blanca es de color blanco brillante a la luz de polarización transversal a causa de la presencia de calcita.



© Victoria Balfour

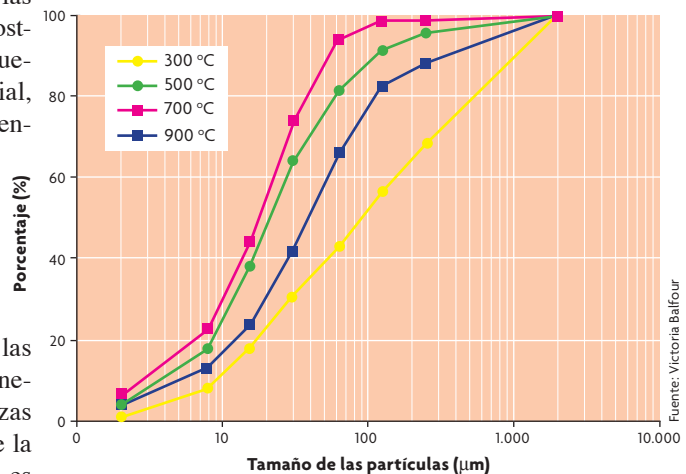
también qué nutrientes estarán potencialmente disponibles tras un incendio.

Sin embargo, Paulo ha comprobado que la misma especie localizada en diferentes ecosistemas no tiene la misma resistencia a un incendio y puede ser, incluso, más inflamable según el tipo de hoja. De esto interpretamos que el color, los minerales liberados y en general los efectos del incendio no dependen solo de la especie afectada y de la temperatura de combustión sino también del ecosistema específico.

■ VICKY BALFOUR Y LA RELACIÓN ENTRE CENIZAS E HIDROLOGÍA

La ceniza también es un factor clave para entender las alteraciones en la escorrentía y las tasas de erosión post-incendio en cuencas forestales. Estas alteraciones pueden generar un considerable impacto humano y social, como el riesgo de inundaciones y arrastre de sedimentos, con el consiguiente efecto en los suministros públicos de agua como los embalses, que pierden capacidad de almacenamiento, y la reducción de la calidad del suelo en los bosques.

Aunque estos factores que alteran la hidrología postincendio están bien estudiados, aún hay imprecisiones, como la no consideración hasta ahora de las cenizas acumuladas en la superficie del suelo. En general los científicos están de acuerdo en que las cenizas alteran la respuesta hidrológica postincendio, aunque la literatura es contradictoria. La opinión más común es que sellan la superficie del suelo y la escorrentía aumenta, pero otros estudios sugieren que la capa de ceniza reduce temporalmente la escorrentía, ya que almacena el agua de la lluvia y protege el suelo subyacente. Com-

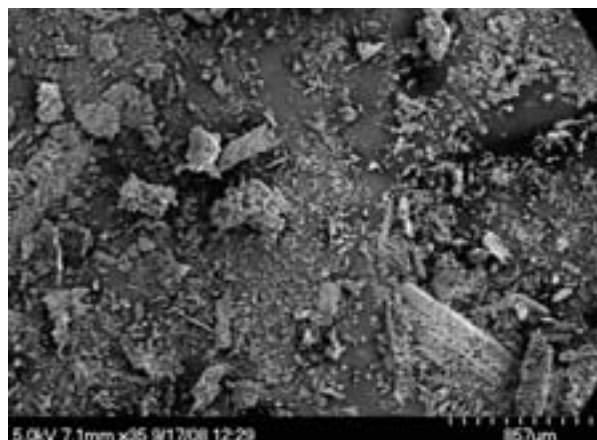


Fuente: Victoria Balfour

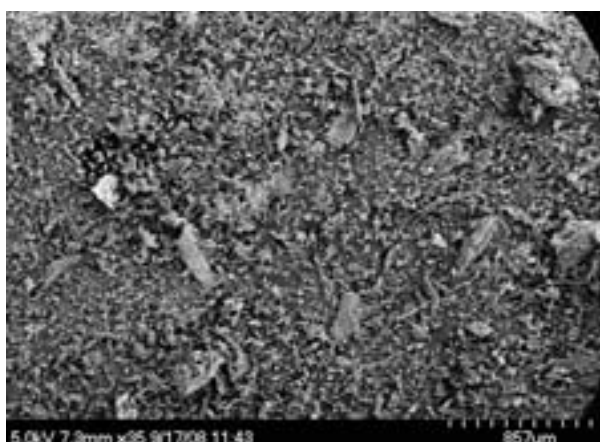
Distribución del tamaño de las partículas de ceniza producida en el laboratorio a diferentes temperaturas. A más intensidad del fuego, menor diámetro de los granos de las cenizas hasta 900 °C, que cambia la tendencia.



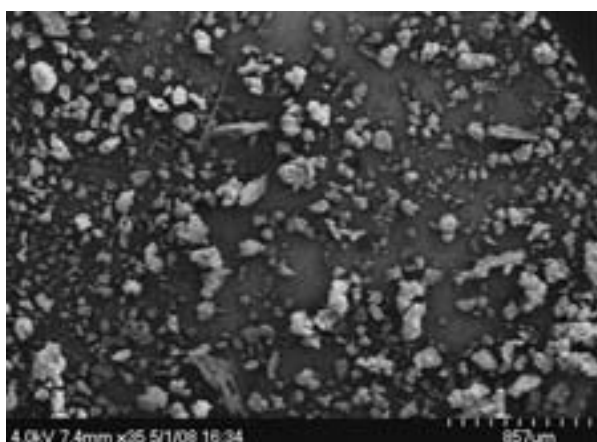
© Victoria Balfour



© Victoria Balfour



© Victoria Balfour



© Victoria Balfour

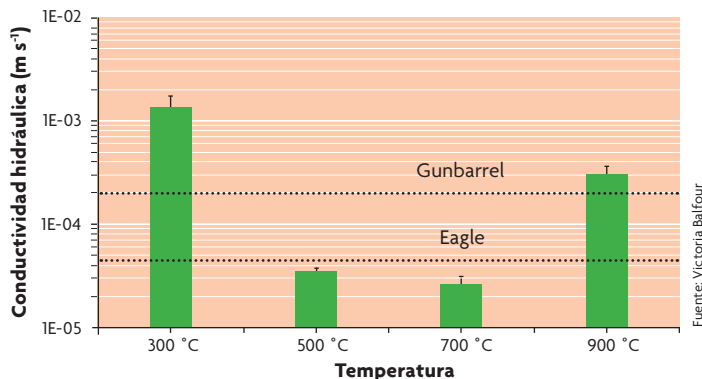
prender esta aparente contradicción es uno de los objetivos de las dos estudiantes de doctorado, Victoria Balfour, en la Universidad de Montana (EEUU), y Merche B. Bodí, en la Universitat de València.

Según los resultados de Victoria, una capa de ceniza fina (<1 cm) sobre un suelo macroporoso tapaná los poros más grandes y aumentará la escorrentía, mientras que la misma ceniza cubriendo un suelo fino no tendrá ningún efecto distinto al suelo individualmente. Si las cenizas son gruesas, no producirán ningún efecto de sellado.

Igual que el color o la composición mineral, la medida de las cenizas también varía en función del tipo de vegetación y de la temperatura de combustión. A medida que aumenta la temperatura, el diámetro de las partículas de la ceniza disminuye. Pero a temperaturas superiores a 900 °C la tendencia cambia y la medida se incrementa. El análisis de las cenizas con microscopio electrónico indica que este engrandecimiento se debe a un crecimiento cristalino asociado a la hidratación de cenizas. Esta hidratación empieza con la descomposición térmica de la materia orgánica por la combustión, y la subsiguiente formación de óxidos de calcio, entre

Imágenes tomadas con un escáner de micrografía electrónica por rastreo de la forma y tamaño de las partículas de ceniza producidas en el laboratorio a temperaturas de 300, 500, 700 y 900°C (de derecha a izquierda, y de arriba abajo). Se puede apreciar que a menor temperatura las cenizas son más gruesas, con partículas más grandes y muy irregulares. A temperaturas altas las cenizas se hacen homogéneas y pequeñas.

«LOS CAMBIOS DE LA ESTRUCTURA DE LA CENIZA Y LAS VARIACIONES EN LA MEDIDA DE LOS POROS SE CORRELACIONAN CON ALTERACIONES EN LAS PROPIEDADES HIDROLÓGICAS DE LAS CENIZAS, COMO LA CAPACIDAD DE RETENCIÓN DE AGUA Y LA CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA»



Fuente: Victoria Balfour

Conductividad hidráulica de muestras de ceniza producidas en el laboratorio a diferentes temperaturas, así como muestras recogidas en los incendios de Gunbarrel e Eagle (EEUU). Tanto con bajas como con altas temperaturas se consiguen altas conductividades en cenizas frescas.

muchos otros óxidos. Este es un mineral muy inestable que se transforma en calcita en contacto con el dióxido de carbono de la atmósfera y el agua de la lluvia. Las cenizas hidratadas conforman una especie de cemento que las encostra y reduce su capacidad de infiltración.

El grosor de la capa de ceniza también puede explicar la variabilidad de respuesta en la infiltración y la escorrentía, ya que determina en parte la capacidad de almacenamiento de agua. Como la porosidad de las cenizas puede llegar a un 90%, esta capacidad de almacenar agua es muy elevada. Así, aunque una capa de ceniza fina (<1 cm) puede obstruir los poros del suelo en función de sus propiedades, capas más gruesas de ceniza (2-5 cm)

«ESTÁ ASUMIDO QUE LAS CENIZAS SON UN MATERIAL HIDROFÍLICO CON GRAN CAPACIDAD DE ALMACENAMIENTO DE AGUA. NO OBSTANTE ALGUNAS DE ELLAS NO SE COMPORTAN ASÍ Y SON REPELENTES»



© Merche B. Bodí

Muestra de ceniza de *Eucalyptus regnans* repelente al agua. Recogida en un incendio prescrito en Australia.

aumentarán la capacidad de almacenamiento de las cenizas, retrasando y reduciendo así la escorrentía, hasta el punto de que no se produce ningún flujo superficial, independientemente de cualquier efecto de la obstrucción de poros en el suelo subyacente.

Los cambios en la estructura de la ceniza y las variaciones en la medida de los poros se correlacionan con alteraciones en las propiedades hidrológicas de las cenizas, como la capacidad de retención de agua y la conductividad hidráulica, es por ello que dan respuesta a la variabilidad de resultados obtenidos en la escorrentía y la erosión postincendio.

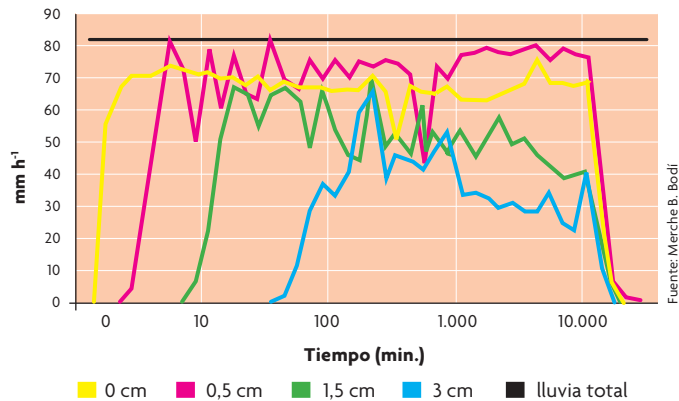
■ MERCHE B. BODÍ Y LA REPELENCIA AL AGUA DE LAS CENIZAS

Otro factor más que puede explicar esta variabilidad de los efectos de las cenizas en la hidrología del suelo es la repelencia al agua. La repelencia al agua o hidrofobicidad, es una propiedad de los materiales que son capaces de evitar que el agua penetre en ellos. En el suelo, la repelencia al agua es un tema de estudio relativamente reciente pero relevante, ya que también modifica las tasas de escorrentía y erosión. Con respecto a las cenizas, está asumido que son un material hidrofílico con gran capacidad de almacenamiento de agua, no obstante hay algunas cenizas que no se comportan así y son repelentes. Según los resultados obtenidos, algunas cenizas con mayor contenido de materia orgánica y por tanto quemadas a temperaturas más bajas pueden ser repelentes. Estos resultados se han matizado con trabajo de laboratorio, con cenizas de tres especies mediterráneas: pino blanco (*Pinus halepensis*), carrasca (*Quercus coccifera*) y romero (*Rosmarinus officinalis*) producidas a diferentes temperaturas. Se ha comprobado que las cenizas de carrasca y pino producidas a 250°C son las más repelentes. A medida que aumenta la temperatura, la repelencia disminuye y a partir de más de 400 °C desaparece. El romero es el que menos repelencia presenta y ocurre a 350°C. También se ha observado repelencia al agua en cenizas quemadas a bajas temperaturas procedentes de eucalipto, en Australia. Los causantes de la repelencia se cree que son ciertos compuestos presentes en la materia orgánica pirolizada (igual como ocurre en el suelo).

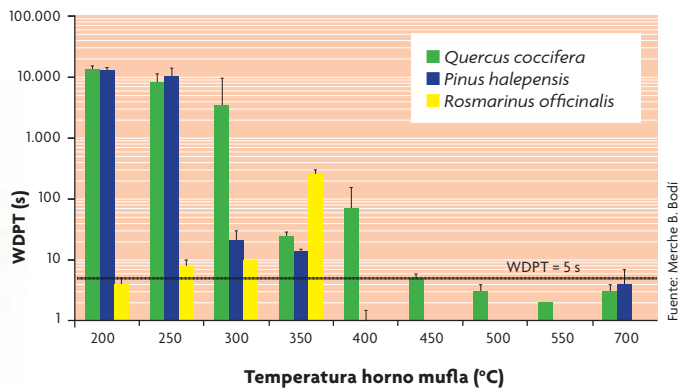
Volviendo a la situación de antes de una capa de cenizas sobre un suelo quemado, y ahora considerando la repelencia de las cenizas y del suelo, podemos suponer

laboratorio, con cenizas de tres especies mediterráneas: pino blanco (*Pinus halepensis*), carrasca (*Quercus coccifera*) y romero (*Rosmarinus officinalis*) producidas a diferentes temperaturas. Se ha comprobado que las cenizas de carrasca y pino producidas a 250°C son las más repelentes. A medida que aumenta la temperatura, la repelencia disminuye y a partir de más de 400 °C desaparece. El romero es el que menos repelencia presenta y ocurre a 350°C. También se ha observado repelencia al agua en cenizas quemadas a bajas temperaturas procedentes de eucalipto, en Australia. Los causantes de la repelencia se cree que son ciertos compuestos presentes en la materia orgánica pirolizada (igual como ocurre en el suelo).

Volviendo a la situación de antes de una capa de cenizas sobre un suelo quemado, y ahora considerando la repelencia de las cenizas y del suelo, podemos suponer



Evolución de la escorrentía en un suelo repelente cubierto con una capa de ceniza hidrofílica de diferentes grosores. La lluvia es simulada y la intensidad es de 82 mm h⁻¹. A mayor grosor menor escorrentía, debido a la alta capacidad de retención hídrica de las cenizas.



Repelencia al agua (WDPT) de cenizas de *Quercus coccifera*, *Pinus halepensis* y *Rosmarinus officinalis* producidas en el laboratorio a diferentes temperaturas. La repelencia al agua se mide con el test de penetración de la gota de agua (Water Drop Penetration Time Test, o WDPT) y, por convención, una muestra se considera repelente cuando tarda más de 5 segundos en infiltrarse.

varias situaciones: una capa de ceniza repelente sobre un suelo hidrofílico o hidrofóbico o una capa de ceniza hidrofílica encima de un suelo hidrofílico o hidrofóbico. En el primer caso, cuando la ceniza es repelente y el suelo absorbe el agua, la respuesta es similar a la situación estudiada por Victoria Balfour, de cenizas hidratadas con baja conductividad hidráulica: habrá mayor escorrentía superficial producida por las cenizas, que eventualmente pueden saturarse y producir infiltración hasta el suelo. En cambio, si el suelo también es repelente, existirán pocas oportunidades de que el agua penetre a través del perfil. Cuando la ceniza es hidrofílica sobre un suelo repelente, se observa que la capa de ceniza almacena el agua y hay una reducción temporal de la escorrentía hasta que se satura. El tiempo que tarde en

saturarse aumenta cuanto más gruesa es la capa de ceniza y al mismo tiempo más infiltración se produce en el suelo. Esto es así porque la repelencia del suelo se reduce porque está sometida a más presión y más tiempo en contacto con el agua. Tras la primera lluvia, la repelencia, tanto de las cenizas como del suelo, disminuye.

LA INVESTIGACIÓN DE LAS CENIZAS

El reciente estudio de las cenizas da nuevas perspectivas e interpretaciones a la evaluación y efectos de los incendios forestales en el suelo, como por ejemplo la medición de la severidad del fuego y los fenómenos de escorrentía o de erosión.

La información que adquirimos en el análisis físico y químico de las cenizas nos proporciona datos indirectos de la temperatura de combustión del incendio, el tipo y cantidad de nutrientes liberados en disolución, si la ceniza contribuirá a la tendencia general de aumentar las tasas de escorrentía tras un incendio y por tanto puede ser un indicador de mayor peligro en las evaluaciones de los riesgos postincendio o si, en cambio, las cenizas temporalmente reducirán la escorrentía y la erosión y entonces puede haber un beneficio asociado con la estabilización local de la capa de ceniza.

Así, con el análisis de la ceniza y otros parámetros del suelo y vegetación, es posible evaluar el estado de la zona quemada y elegir qué opción de gestión es la adecuada: si es necesario intervenir o no y en qué medida hay que invertir en proyectos de rehabilitación y restauración. Este estudio, sin embargo, no carece de complejidad porque tanto las propiedades de las cenizas como los otros parámetros varían según la vegetación inicial, temperatura de combustión y ecosistema implicado. Este es uno de los motivos por los que la investigación sobre las propiedades de las cenizas y en general de los incendios forestales continúa. ☺

BIBLIOGRAFÍA

BALFOUR, V. N. y S.W. WOODS, 2010. «Physical and Hydrological Properties of Vegetative Ash». In *Annual Meeting of the Montana Chapter of the American Water Resources Association*. Montana, EE UU.

BODÍ, M. B., MATAIX-SOLERA, J., DOERR, S.H. y A. CERDÀ, 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*. Phd thesis, Universidad de Barcelona.

Merche B. Bodí. Investigadora del SEDER (Soil Erosion and Degradation Research Group), Departamento de Geografía, Universitat de València.

Victoria Balfour. Investigadora del Departamento de Ciencias de los Ecosistemas y de la Conservación, Universidad de Montana (EEUU).

Paulo Pereira. Investigador del Grupo de Investigación Ambiental, Departamento de Geografía, Universidad de Barcelona, y del Departamento de Gestión y Política Ambiental, Universidad Mykolas Romeris, Vilna, Lituania.