



FUEGO Y AGUA

EL IMPACTO DE LOS INCENDIOS FORESTALES EN EL CICLO HIDROLÓGICO

António J. Dinis Ferreira, Carla S. S. Ferreira, Célia Bento, Tânia Esteves y Manuela Carreiras

Después de las llamas y el humo nos queda un territorio donde la vegetación no amortigua el impacto de las gotas y donde las escorrentías se producen en superficie y de manera súbita. Los cambios en el ciclo hidrológico como consecuencia de los incendios forestales son cada vez mejor entendidos por los científicos. Fuego significa más agua disponible para el acuífero y las plantas que retoñan, pero también una transición más rápida de los caudales desde la parte alta a la baja de las cuencas fluviales. Evitar grandes incendios forestales, incluso con quemas controladas, reducirá la continuidad de la escorrentía y favorecerá la infiltración.

Los efectos del fuego sobre los procesos hidrológicos son complejos a causa de los múltiples mecanismos involucrados. Podemos considerar las modificaciones introducidas por la existencia de efectos directos del fuego, y los efectos indirectos derivados de la desaparición de la protección de la vegetación y la hojarasca. Los primeros resultan de la mineralización de la materia orgánica en el suelo, que queda más expuesta a ser transportada por las aguas de infiltración y escorrentía. Los segundos incrementan la susceptibilidad del suelo a la erosión y a alteraciones en el régimen hidrológico. Los cambios en la respuesta hidrológica y geomorfológica en las cuencas quemadas pueden desencadenar episodios catastróficos de crecidas.

Los incendios producen toda una gama de impactos más o menos severos en el suelo, que dependen de factores como el régimen de incendios, la meteorología, la vegetación, el tipo de suelo y el relieve. Los cambios producidos en el suelo alterarán profundamente los procesos hidrológicos, las vertientes y las cuencas hidrográficas. Estos mecanismos físicos están directamente relacionados con los cambios químicos y biológicos, ya que favorecen que los nutrientes se transporten más fácilmente por escorrentía. Así, el movimiento del agua arrastra sedimentos y solutos que llegan a áreas no afectadas por los fuegos, y

por tanto amplían la zona afectada a espacios de alto valor estratégico como son las fuentes y reservorios de agua.

Los incendios forestales pueden conducir a la aparición o al fortalecimiento de la repelencia del agua en el suelo. Este proceso ocurre en las áreas quemadas por incendios forestales de alta intensidad, así como en algunos tipos de hojarasca, como es el caso de la producida por *Eucalyptus globulus* Labille. El calor generado por el fuego provoca la vaporización de los compuestos orgánicos hidrofóbicos, que se condensan en la superficie de las partículas minerales del suelo, más frías, situadas debajo. Los incendios que superan temperaturas de 450 °C tienen un impacto significativo en la escorrentía y en el aumento de las tasas de erosión, dado que dejan la vegetación y el suelo calcinados. En cambio, los incendios dejan impactos contradictorios en la humedad del suelo. La cantidad de agua en el suelo puede aumentar

a causa de la eliminación temporal de la transpiración de las plantas. Este efecto podrá reducir, anular o sobrepasar el efecto causado por el aumento de la evaporación superficial debido a la pérdida del efecto de la sombra de la vegetación y la hojarasca, y de la disminución del albedo promovida por la capa de cenizas. El incremento de la humedad del suelo favorece la percolación del agua y por tanto el incremento de las reservas subterráneas (más agua

«LOS INCENDIOS TIENEN IMPACTOS CONTRADICTORIOS EN LA HUMEDAD DEL SUELO. LA CANTIDAD DE AGUA PUEDE AUMENTAR A CAUSA DE LA ELIMINACIÓN TEMPORAL DE LA TRANSPIRACIÓN DE LAS PLANTAS»

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

en los manantiales y ríos), y también facilita la saturación del suelo durante la temporada de lluvias y, por tanto, contribuye a incrementar la erosión laminar y concentrada de los suelos. Al dejar la superficie del suelo expuesta a la radiación solar, el fuego promueve una mayor desecación superficial asociada a una mayor evaporación directa, y con eso y el impacto de las gotas se forman costras superficiales, lo que favorecerá el aumento de la escorrentía.

Cuando el incendio consume la vegetación y la hojarasca, el suelo se queda expuesto y la porosidad disminuye a causa del impacto directo de las gotas de lluvia sobre la superficie, lo que produce una abundante escorrentía. La energía del impacto de las gotas de lluvia sobre el suelo aumenta de manera drástica y la pérdida de vegetación y hojarasca reduce aún más la capacidad de retención y almacenamiento de agua, así como la resistencia a los flujos de agua superficial en las laderas. Las propiedades del suelo que contribuyen al buen funcionamiento del sistema hidrológico, en particular la capacidad de infiltración, porosidad, materia orgánica, conductividad hidráulica y la capacidad de almacenamiento y retención de agua, se ven negativamente afectadas por el fuego.

No solo en los suelos, en general los incendios forestales causan cambios significativos en los diversos componentes del ciclo hidrológico, ya que modifican la interceptación, la evapotranspiración y los procesos por los que el agua llega a los cauces y acuíferos, determinando el caudal base y los picos de crecida. Pero es en el suelo donde se produce la mayor transformación del ciclo hidrológico como consecuencia del fuego, porque determina la generación de los caudales que transportarán los ríos.

En la vertiente boscosa, la precipitación excede en pocas veces la capacidad de infiltración, de manera que los flujos de agua de la cabecera hacia la parte inferior de la pendiente se procesan a través del suelo, lo que disminuye significativamente la velocidad del agua y permite el almacenamiento de una parte importante de la precipitación, que así queda disponible para las plantas. De vez en cuando, en tiempo y lugares específicos, el suelo podrá quedar saturado y se producirá escorrentía. Después del incendio, la aparición o intensificación de la capa hidrofóbica disminuye en gran medida la capacidad de infiltración de agua en el suelo y esto causa la escorrentía que remueve con facilidad la capa hidrofílica de cenizas y se transporta así una importante fuente de nutrientes. La existencia de macroporos en el suelo, resultantes de la quema de las raíces, permite que en algunos casos se infiltre agua de la escorrentía.

Los trabajos realizados por la Escuela Superior Agraria de Coímbra han demostrado que la escorrentía de una pequeña cuenca de drenaje en una zona quemada y otra sin quemar presenta diferencias claras. En la quemada, la

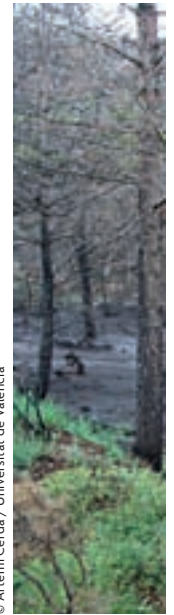
escorrentía se inicia con poca precipitación, aunque, en las primeras semanas, la cantidad de lluvia no bastaba para saturar la capa de cenizas y causar respuestas significativas al nivel de la parcela o de la cuenca. Los primeros picos significativos se producen cuando las precipitaciones superan los 50 mm por semana. Aproximadamente un año después del incendio, la respuesta de las cuencas hidrográficas con 50 mm de lluvia es similar a la registrada inmediatamente después del fuego, pero al nivel de la parcela se observa una fuerte disminución de la escorrentía. Con este experimento a diferentes escalas hecho en el centro de Portugal se verifica una respuesta rápida de la cuenca a la cantidad de precipitación durante el primer año tras el incendio. No obstante, hay una disminución en los picos de crecidas en el tiempo. Los primeros picos representan alrededor del 50 % de la precipitación. Un año



En la imagen, medidas de control de la erosión en las Montañas Rocosas. Rollos de paja, troncos, siembras... Todo parece poco después de un incendio.

después del incendio, el umbral de producción de picos de crecidas máximos de precipitaciones se ha incrementado y solo episodios de lluvia con más de 25 mm han producido picos significativos. La respuesta del área sin quemar es insignificante a escala de parcela y de cuenca, con picos pequeños de escorrentía que se producen solo en respuesta a los episodios más extremos, aquellos que tienen la capacidad de saturar el suelo.

La transición de la escorrentía subsuperficial y superficial por las pendientes también presenta cambios significativos con la presencia del fuego. Las crecidas en la cuenca forestal se generan porque el agua que fluye a través del suelo satura la parte inferior de la vertiente y produce la escorrentía superficial. Cuanta más lluvia, mayor será la zona saturada, mayor será la superficie productora de escorrentía superficial y mayor el pico de crecida. Como el agua se mueve despacio a través del



© Artemi Cerdà / Universitat de València



© Artemi Cerdà / Universitat de València



Tras los incendios aumenta la pérdida de suelo. La herencia milenaria de las terrazas de cultivo reduce estas pérdidas.

«CUANDO EL INCENDIO CONSUME LA VEGETACIÓN Y LA HOJARASCA, EL SUELO SE QUEDA EXPUESTO Y LA POROSIDAD DISMINUYE A CAUSA DEL IMPACTO DIRECTO DE LAS GOTAS DE LLUVIA SOBRE LA SUPERFICIE, LO QUE PRODUCE UNA ABUNDANTE ESCORRENTÍA»

Al ser abandonadas, las terrazas de cultivo se van degradando. Los incendios y las altas tasas de erosión posterior provocarán la aceleración de la degradación. En la imagen, una zona de Coímbra (Portugal), tras los incendios del 2005.



suelo hacia la base de la vertiente, los picos de crecida suelen retrasarse. En la cuenca quemada, la cantidad de agua que se infiltra en el suelo se reduce, de manera que una parte importante de la precipitación corre por la superficie. Los picos de crecida, alimentados por la escorrentía superficial, son muy rápidos y más abundantes.

La escorrentía se ve también controlada por la rugosidad a lo largo de la pendiente y la cuenca hidrográfica. Si no encuentra obstáculos, la exportación de los materiales –agua, sedimentos, solutos o semillas– fuera de la cuenca es rápida. Si hay discontinuidades, como por ejemplo una zona de amortiguamiento entre las laderas y los cursos de agua o bien terrazas abandonadas, la transferencia de agua es más limitada. Si las discontinuidades ocurren en las laderas, la infiltración representa un papel importante, y la cuenca del río tiene una respuesta más lenta, con la escorrentía por saturación, que promueve la conservación del suelo y del agua. En todo esto representan un papel fundamental las terrazas de cultivo abandonadas, que son clave en el control de la erosión y la escorrentía postincendio.

Así pues, podemos decir que los cambios producidos por el fuego pasan por la combustión de gran parte de la hojarasca y vegetación arbustiva y herbácea, y a menudo por la muerte de los árboles. Estos efectos dan lugar a una serie de mecanismos que afectan a los ciclos hidrológicos y ciclos biogeoquímicos que conducen a procesos de degradación. El impacto del fuego depende de su intensidad. La mayor severidad se asocia a una mayor destrucción de la vegetación, hojarasca y materia orgánica del suelo. Estos procesos provocan las mayores pérdidas de nutrientes y la formación de una capa de suelo repelente al agua, lo que dificulta la infiltración y promueve la generación de escorrentía. Sin embargo, después del incendio, también pueden experimentar un aumento relativo de agua en el suelo a causa de la reducción de la transpiración de las plantas, lo que les permite llegar más rápidamente a una situación de saturación. Cualquiera de los fenómenos tiene como consecuencia una respuesta más rápida de las cuencas hidrográficas y un mayor caudal. Sin embargo, después de un año la recuperación vegetal devuelve a la normalidad los procesos de erosión y escorrentía. ☺

BIBLIOGRAFÍA

- FERREIRA, A. J. D. *et al.*, 2000. «Hydrological Implications of Soil Water Repellency in *Eucalyptus globulus* Forests, North-central Portugal». *Journal of Hydrology*, 231-232: 165-177.
- FERREIRA, A. J. D.; COELHO, C. O. A.; BOULET, A. K.; LEIGHTON-BOYCE, G.; KEIZER, J. J.; RITSEMA, C. J. (2005). «Influence of Burning Intensity on Water Repellence and Hydrological Processes at Forest Sites in Portugal». *Australian Journal of Soil Research*, 43: 327-336.

António J. Dinis Ferreira, Carla S. S. Ferreira, Célia Bento, Tânia Estevas y Manuela Carreiras. Departamento de Ambiente, Escuela Superior Agraria de Coímbra (Portugal).