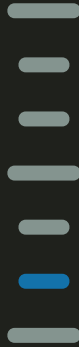


# 6

**Síntesis, conclusiones y retos**





# 6.1

## **Métodos y técnicas para el estudio de suelos afectados por incendios forestales. Retos para la investigación**

Antonio Jordán<sup>1</sup> y Artemi Cerdà<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Cristalografía, Mineralogía y Química Agrícola, Facultad de Química (Universidad de Sevilla), C/ Profesor García González, 1, 41012, Sevilla. [ajordan@uv.es](mailto:ajordan@uv.es)

<sup>2</sup>Departament de Geografia, Universitat de València, Blasco Ibáñez, 28, 46010, València.



# Métodos y técnicas para el estudio de suelos afectados por incendios forestales. Retos para la investigación

Antonio Jordán<sup>1</sup> y Artemi Cerdà<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Cristalografía, Mineralogía y Química Agrícola, Facultad de Química (Universidad de Sevilla), C/ Profesor García González, 1, 41012, Sevilla. [ajordan@us.es](mailto:ajordan@us.es)

<sup>2</sup> Departament de Geografia, Universitat de València, Blasco Ibáñez, 28, 46010-València.

## RESUMEN

La ciencia española que estudia los efectos de los incendios forestales sobre los suelos goza de una etapa de gran actividad con avances substanciales en resultados de investigación, y mejoras técnicas y metodológicas. Esta es la razón del crecimiento en el número de publicaciones, en los intercambios con grupos de investigación de otros países y dentro de territorio nacional, y del desarrollo de importantes proyectos de investigación. La innovación tecnológica en ciencia es fundamental en su desarrollo, y en el caso de los estudios de suelos afectados por incendios forestales así ha sido durante los últimos 30 años. En este capítulo se revisan los avances más significativos en las técnicas y métodos para el estudio de los suelos afectados por incendios forestales en España, se destaca a los grupos de investigación e investigadores más activos, y se apuntan los retos a cumplir en la próxima década en materia metodológica y técnica.

## LA INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA EN SUELOS E INCENDIOS

El estudio de los suelos afectados por incendios forestales en España nace en los años 70 como consecuencia de las oleadas de fuegos sin control que se originaban cada verano. Esas crisis fueron recurrentes en las décadas de 1980 y 1990, con pavorosos incendios que han dejado mella en la sociedad española. En la última década, con algunas excepciones, se ha conseguido reducir la superficie quemada. Esa mejora ha estado basada en gran medida en la intervención rápida y en inversiones multimillonarias en maquinaria, recursos humanos y equipamientos. Ello culmina una política de supresión de incendios iniciada hace ya medio siglo, y que ha dejado de lado cualquier otra estrategia de gestión forestal.

Seguramente, el éxito en la supresión de incendios forestales dará como resultado una nueva oleada de incendios pavorosos, como ya ha ocurrido en otros países, especialmente en Australia y EEUU. Esta premonición está basada en la experiencia de países en los que los cambios sociales y económicos han sido similares, pero anteriores, a los que han ocurrido y están ocurriendo en España: abandono del campo y olvido de la gestión forestal tradicional. La historia económica y social de España también demuestra que el abandono del campo de los años 50 daría paso al crecimiento de la cubierta vegetal, la alteración del paisaje agrario y forestal tradicional, y con ello la llegada de los incendios a partir de los años 70. El éxito de la supresión de incendios en la actualidad, junto a un mayor abandono del mundo rural y la presencia de urbanizaciones en pleno monte no presagia otra cosa que no sea la que hemos visto en EEUU y Australia en la última década: un recrudecimiento de los grandes incendios. Y por ello debemos estar preparados para su estudio, además de para la prevención.



Figura 1. Vista de los costosos tratamientos para la prevención de incendios forestales. Carretera entre Navalón y Moixent en el sur de Valencia. La escasa presencia humana en las montañas mediterráneas hace necesario los tratamientos preventivos contra los incendios forestales.

El abandono del campo, y la consecuente proliferación de incendio ha llevado a que se deba invertir un abultado presupuesto en medidas preventivas contra los incendios. La vigilancia es una de las partidas presupuestarias importantes, como lo es la limpieza de zonas para que actúen como cortafuegos. Los costes de esas infraestructuras son desorbitados (Figura 1). Una gestión forestal integral en la que se hubiera tenido en cuenta a los habitantes de las zonas rurales hubiera evitado la situación actual. El retorno de la población y sus actividades agrícolas y ganaderas es la clave para el éxito en la gestión de los incendios forestales.

Otra lección que los investigadores podemos ofrecerle a la sociedad es recordar que el fuego es parte del ecosistema natural. Como también lo ha sido durante milenios la presencia del hombre –y con ello sus actividades agrícolas, ganaderas y silvícolas– como elemento cultural en las montañas mediterráneas. Convivir con el fuego es el sino de cualquier sociedad que habite territorios con vegetación. En algunos ecosistemas el fuego presenta recurrencias anuales –sábanas, praderas, estepas– en otros es de siglos –pluviosilva, taiga– y en algunos llega a pensarse que no existe –tundra– por los milenarios periodos de retorno del fuego. Y a los ciclos naturales se unen los humanos. En territorios humanizados como el mediterráneo hay que añadir a la presencia del fuego natural el utilizado en las tareas agrícolas, ganaderas y silvícolas, con lo que su recurrencia aumenta. Y en muchas ocasiones a esas actividades debemos sumar las de la caza, la minería o la guerra. Todo ello dará lugar a un complejo entramado humano y natural en el que el fuego podía ser un enemigo, pero era sobretudo una herramienta, un aliado en la gestión forestal. Tras cincuenta años de abandono, el fuego es visto por la sociedad de principios del siglo XXI sólo como el enemigo a combatir. En ese cambio sociológico se han perdido siglos de experiencias en el manejo del fuego.

Los científicos, como miembros de esta sociedad, recibimos esa idea negativa del fuego en nuestra educación. Sin embargo, el método científico obliga a ser asépticos y a aprehender la realidad siguiendo unas normas básicas de observación y de razonamiento. Esto es lo que ha llevado a muchos de los que trabajamos en zonas forestales a pensar que la supresión del fuego puede no ser la mejor estrategia para la conservación de nuestros ecosistemas. Esas deducciones y pensamientos se han basado en la aplicación de métodos –apoyados en técnicas cada vez más sofisticadas– que queremos compartir con la comunidad científica y la sociedad espa-



Figura 2. Los estudios de los suelos afectados por incendios forestales requieren también el estudio de suelos no quemados. Por ello, buscar zonas comparables es un requisito básico para tener éxito en la investigación. Scott Woods ejerce de escala en los pinares de Teruel donde podemos ver una zona quemada a la izquierda y una no quemada a la derecha.

ñola. De ahí la publicación de esta recopilación de los trabajos de distintos grupos de investigación que reúnen a 53 investigadores y que muestra cómo llegamos al saber los científicos españoles que estudiamos el efecto de los incendios forestales sobre los suelos. Una de las premisas básicas para conocer el efecto del fuego es comparar zonas quemadas con no quemadas (Figura 2). Pero esta es una de las múltiples estrategias utilizadas por los investigadores y que en este trabajo se revisan. Los detalles de las técnicas y los métodos han sido expuestos aquí, ahora es el momento de hacer un balance con perspectivas de futuro.

## CIENCIA, TÉCNICA E IDEAS BRILLANTES

Los métodos que consiguen resultados y avances en ciencia se nutren de ideas brillantes. Pero las ideas brillantes necesitan de técnicas que las hagan aflorar, que permitan verificar las hipótesis y convertirlas en Tesis. Esas técnicas, guiadas por esas ideas brillantes, son las que permitirán que podamos ver lo que “a priori” es invisible. La creatividad de los científicos, junto a su formación, es clave para el desarrollo de las ideas brillantes. Y si además se consigue aplicar la técnica adecuada habremos dado un paso de gigante en la investigación. La combinación de ciencia, ideas brillantes y técnica se produce pocas veces, pero cuando ocurre, aquellos que amamos la ciencia, sentimos una satisfacción indescriptible.

El libro que tiene el lector en sus manos está lleno de esos momentos de gozo fruto del esfuerzo, de la intuición, y tal vez de algo de suerte. Este libro revisa aquellos avances que entendemos como los más substanciales para fundamentar el conocimiento científico actual, y los que permiten vislumbrar los retos que esperan a los científicos españoles en los próximos años. Estos ejemplos que ahora apuntamos servirán para que el lector pueda tener una visión global de la investigación científica, del avance en métodos, técnicas y resultados de los que estudiamos los suelos afectados por el fuego.

Durante décadas, los estudios en zonas afectadas por incendios forestales demostraban que la severidad del fuego era la clave para la evolución postincendio. Un incendio de alta severidad

desencadena la volatilización de nutrientes, la degradación de la estructura del suelo, el aumento de su erosionabilidad, el incremento de la pérdida de agua y suelo, y una recuperación escasa y lenta de la vegetación. En los suelos afectados por quemas de baja intensidad de fuego la recuperación de la vegetación es más rápida y los procesos de degradación del suelo no existen o son poco evidentes. La clave está, por lo tanto en la severidad, y en la intensidad de fuego, muy especialmente la temperatura máxima alcanzada. Para saber cómo fue el fuego durante un incendio o quema se desarrollaron distintos métodos: medición del diámetro de las ramas supervivientes, modelos a partir de variables climáticas o color de las cenizas, entre otros. Todos ellos eran válidos, todos ellos fueron utilizados, pero todos ellos adolecían de falta de precisión, y también de agilidad en la toma de datos. Parecía imposible saber a qué temperatura se quemada el suelo. Los termopares, las pinturas, y otros ingenios como las pistolas de infrarrojos, permitieron en fuegos controlados conocer el tiempo de residencia y la temperatura alcanzada, pero sobretodo se mejoraron las mediciones en la superficie del suelo y la atmósfera. Pocas veces sabíamos dentro del suelo que es lo que ocurría, o lo sabíamos de forma precaria. Aprendimos por experimentos de laboratorio que el suelo es un mal conductor del calor, y que amortigua muy bien las altas temperaturas que se alcanzan en la atmósfera durante un incendio. Pero poco más. Y de repente, alguien con muchas horas de trabajo a sus espaldas, y la formación adecuada que supone también una gran dedicación previa, alguien con una idea brillante, se da cuenta que el impacto del calor deja una huella en el suelo que se puede leer, y desarrolla el método apoyándose en una técnica: el NIR, la espectroscopía del infrarrojo cercano. Y hoy gracias al trabajo incansable de César Guerrero, a su idea brillante y a todos los que colaboran con él en el Grupo de Edafología Ambiental de la Universidad Miguel Hernández de Elche podemos saber la temperatura alcanzada por el suelo durante el incendio. En el capítulo 3.1 (Guerrero, 2010) el Dr. Guerrero presenta todos los pormenores de esta técnica que seguro no dejará de sorprendernos por que alguien supo ver más allá, y fue capaz de dedicar su esfuerzo y su empeño en algo que parecía imposible.

Los estudios de zonas afectadas por incendios forestales deben asumir que la fisionomía de la superficie del suelo es muy cambiante. Desde el día del incendio y hasta pasados unos meses se producen cambios substanciales casi a diario. Esos cambios son en ocasiones paulatinos, como es el caso del crecimiento de la vegetación. Pero habitualmente son súbitos: dispersión de cenizas por el viento o la arroyada superficial; bioturbación; tala y extracción; o bien por erosión del horizonte orgánico fruto de la falta de protección por la vegetación. Durante décadas, esos cambios eran registrados de una forma precaria: por apreciación visual. Para algunos, la gran innovación fue que siempre fuese el mismo miembro del equipo el que determinase la cubierta de plantas, piedras y suelo desnudo. Más tarde, descubrimos que con las diapositivas proyectadas en la pared podíamos revisar esas imágenes y mejorar la precisión. Y con el desarrollo de las cámaras fotográficas digitales comprobamos que esto lo podíamos hacer en la misma pantalla del ordenador, y el mismo día de la toma de la fotografía, pocas horas después de haber tomado la imagen en el campo. Y en ocasiones se podía realizar una planimetría de la parcelas y determinar el tipo de cubierta. Era un trabajo artesanal al que muchos hemos dedicado largas jornadas de trabajo. Pero esas mejoras no aportaron nada substancial al método, el cual pretendía conocer la cubierta del suelo (cenizas, piedras, vegetación u hojarasca) y como cambiaba con



el paso del tiempo tras el incendio. Y eso que la técnica había progresado substancialmente en esos años 90. Pero si todos parecíamos ciegos y no apreciábamos los cambios técnicos que se producían a nuestro alrededor, alguien con una idea brillante pudo ver más allá de los árboles y ver el bosque en su globalidad: Fernando Pérez Cabello. Tal vez por ser especialista en sensores remotos, en sistemas de Información Geográfica, en mediciones en el campo con parcelas de erosión y cuencas de drenaje, por haber realizado experimentos con lluvia simulada y mediciones con piquetas de erosión, tuvo la visión global necesaria para ver el futuro. En definitiva, por haber visto las zonas incendiadas desde la mesa de un ordenador con imágenes de satélite o bajo la lluvia directamente en el campo, debió pensar que un sistema automático de seguimiento de la superficie afectada por el incendio ayudaría mucho a saber que pasa después del fuego. Otra vez vemos unido el trabajo de años, el esfuerzo y la iniciativa por querer conocer más y trabajar en más campos, y ello fue el caldo de cultivo que permitió que la idea brillante viera la luz, y que hoy ilumine a los que estudian zonas incendiadas. El método recibe el nombre de FDARE (*Fotografía Digital de Alta Resolución Espacial*) y es fruto del esfuerzo del profesor Pérez Cabello y de otros muchos que con él colaboran en el Departamento de Geografía y Ordenación del Territorio de la Universidad de Zaragoza. En el capítulo 3.2 (Pérez-Cabello et al., 2010) se presenta esta investigación, y en el capítulo 3.3 (Montorio et al., 2010) muestran como la espectroradiometría de campo puede ser una herramienta de gran utilidad para el estudio de zonas incendiadas. Esta es una técnica, procedente del mismo grupo de investigación que desarrollo la FDARE, y aprovechando las ideas iniciales de ésta, consigue cuantificar la cubierta de cenizas y de vegetación, lo que la hace muy adecuada para zonas quemadas. Raquel Montorio, junto a otros compañeros de la Universidad de Zaragoza, pone en marcha un método que utiliza los recursos técnicos más sofisticados para detectar los cambios postincendio. La automatización del sistema de toma y análisis de datos es una contribución substancial para estudios a desarrollar en el futuro. Así, se cumple una de las condiciones básicas del método científico: la reproducibilidad, y alejamos al investigador de la subjetividad que supone su apreciación visual.

En el estudio del efecto de los incendios forestales sobre los suelos siempre hubo un tema olvidado: las cenizas. Sin embargo, en el último lustro, los científicos han visto necesario el profundizar en el impacto edáfico, hidrológico y erosivo de la cubierta de restos vegetales quemados. Lo efímero de las cenizas hizo que fueran obviadas, pero ahora reconocemos que su papel en el incendio es decisivo porque determinan la respuesta hidrológica y erosiva, y la redistribución de los nutrientes (Figuras 3 y 4). Para conocer mejor la evolución del suelo en el postincendio es necesario caracterizar las propiedades de las cenizas, y para ello debemos mejorar los métodos, ya que los utilizados para los suelos minerales no son completamente viables con las cenizas. Este tema es tan importante que investigadores que trabajan en distintos países y continentes están investigando en común para conseguir hacer que las cenizas no sean las grandes ignoradas. Paulo Pereira lidera el capítulo 3.4 (Pereira et al., 2010), en el que se recogen sus innovaciones en la caracterización química de las cenizas. También los trabajos de Scott Woods y Vicky Balfour aportan sus mejoras metodológicas para conocer la física de las cenizas. Artemi Cerdà presenta sus mediciones de la evolución de la profundidad de la capa de cenizas. Xavi Úbeda informa de las propiedades químicas de cenizas procedentes de quemas e incendios forestales. Y Merche B. Bodí y Jorge Mataix de la repelencia de las cenizas. En todas estas



Figura 3. Investigando el efecto de distintos tipos de cenizas en la respuesta hidrológica y erosiva. Merche B. Bodí realiza sus experimentos con lluvia simulada en zonas forestales de la Sierra de Enguera.

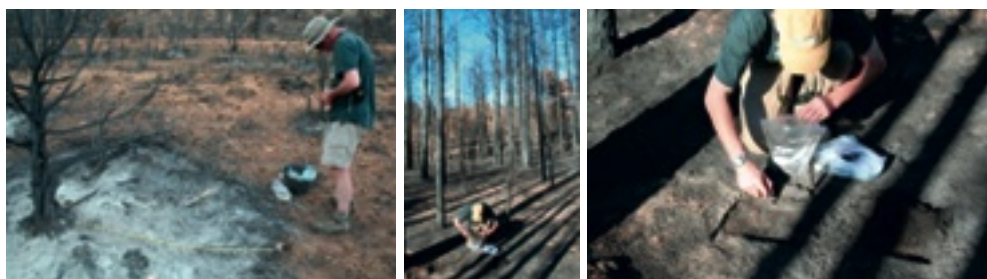


Figura 4. Las cenizas. Sus propiedades, sus cambios temporales y espaciales, su impacto sobre los procesos erosivos, y sus efectos en la redistribución de los nutrientes serán la clave para entender los la evolución postincendio. Toma de muestras en incendios de Teruel en agosto de 2009. Scott Woods ejerce de escala.

investigaciones se necesitan métodos y técnicas de contrastada viabilidad, pero también el desarrollo de nuevos instrumentos y estrategias, para conseguir que la investigación con ideas brillantes llegue a buen puerto. Si se consigue esto conoceremos mejor el postincendio y tendremos las bases para gestionar mejor las zonas forestales.

## INVESTIGACIONES CON SOLERA Y SOLVENCIA

La ciencia no sólo necesita de brillantez. También requiere persistencia, trabajo en grupo, coordinación de la investigación, financiación, y liderato para conseguir unificar criterios y solventar con eficiencia los imprevistos. Esos requisitos son cumplidos con creces por los grupos de investigación españoles que trabajan en suelos afectados por incendios forestales, además de presentar un currículo extraordinario, con una proyección internacional contrastada. En España, disponemos de esos grupos de investigación, y son ellos los que se han responsabilizado de redactar varios de los capítulos de este libro. La larga experiencia de los investigadores españoles estudiando el efecto de los incendios forestales sobre los suelo se demuestra en varios de los capítulos aquí presentados. En estos casos no es sólo la idea brillante llevada a buen término, sino el

trabajo de décadas de varios miembros de distintos grupos de investigación con una incansable dedicación al trabajo de campo, laboratorio y gabinete.

Los estudios realizados por los investigadores Almendros et al. (2010) y que se resumen en el capítulo 3.2, presenta una contribución al conocimiento de la materia orgánica en suelos afectados por incendios forestales y a las técnicas y métodos para su estudio que es de referencia internacional. La materia orgánica juega un papel fundamental en la estabilidad de los suelos y en sus funciones y servicios. Los incendios modifican, degradan y alteran la materia orgánica y con ello modifican la productividad y desencadenan la degradación de los ecosistemas. Además, la calidad y cantidad de la materia orgánica es un indicador de la salud del ecosistema, al diagnosticar precozmente los cambios en los ciclos biogeoquímicos. En el capítulo 3.2 se detallan con precisión la aplicación de métodos y técnicas para caracterizar la materia orgánica de forma que investigadores jóvenes dispongan de una guía para avanzar en el conocimiento científico, pero también un espejo donde mirarse para trazar una trayectoria científica de prestigio como la mostrada por los autores de este capítulo.

Otro ejemplo de los magníficos grupos de investigación que trabajan en España lo encontramos en el capítulo 2.3 (Mataix-Solera et al., 2010) donde se revisan prácticamente todos los métodos que pueden informar de la estabilidad de los agregados. La agregación del suelo es una propiedad sintética que ilustra claramente el efecto de una perturbación en el ecosistema edáfico, y por ello es de gran interés estudiarla tras los incendios forestales. Pero es una propiedad extremadamente difícil de cuantificar. Los incendios forestales suponen un aumento de la temperatura, pérdida de vegetación y habitualmente degradación de la estabilidad de los agregados, y esos cambios aún complican más el estudio en zonas quemadas al aumentar la diversidad de factores que controlan el proceso. Pero, si algo transmiten los autores del capítulo 2.3 es la necesidad de ver la diversidad de respuestas que se producen tras el fuego en el sistema edáfico. La estabilidad de los agregados se puede incrementar por su recubrimiento con sustancias repelentes condensadas sobre los agregados durante el incendio. Pero también la degradación de la materia orgánica, o la destrucción del sistema radicular favorecen la rotura de los agregados. La severidad e intensidad del fuego, el tipo de suelo, el manejo posterior de la zona quemada, o incluso el régimen de lluvias pueden afectar a la respuesta del suelo. En el estudio de la estabilidad de los agregados los investigadores españoles han adaptado métodos procedentes de otros grupos de investigación, pero también aquí se han desarrollado métodos y técnicas que han sido exportadas.

Las investigaciones de la erosionabilidad del suelo son claves para entender los procesos erosivos, y para conocer el riesgo de degradación del suelo en el postincendio. La revisión de los trabajos realizados y las técnicas aplicadas (capítulo 2.2; Benito et al., 2010) muestran la buena salud que ha gozado esta línea de investigación en España. Revisar estas técnicas ha servido para entender que en este campo se debe producir una renovación substancial ya que se mantienen protocolos, métodos y técnicas desarrolladas hace varias décadas. Esperemos que el esfuerzo realizado por Benito et al. (2010) sirva de punto de partida para el desarrollo de nuevas técnicas y métodos que facilitaran la innovación en protocolos, mediciones y experimentos.

Otro grupo de investigación con prestigio internacional y con una larga trayectoria presenta aquí una revisión de los métodos, técnicas y resultados de la investigación en torno a las propie-



Figura 5. A la izquierda vista una zona incendiada en Tarifa (Cádiz) en 2008. La fotografía fue tomada un año después. Y a la derecha 9 años después del incendio de Algeciras (Cádiz) en 2000.



Figura 6. A la izquierda, vista de la zona afectada por del incendio de Minas de Riotinto (Huelva, 2004), y a la derecha, alcornoques rebrotando apenas unos meses después. Fotografía: Lorena M. Zavala.

dades bioquímicas y microbiológicas de los suelos (Díaz Raviña et al., 2010). La actividad biológica es la clave para la recuperación de suelos afectados por incendios forestales al ser la biota la activadora y catalizadora de los procesos formadores de suelo y de su estabilización. En el capítulo 5.1 se desarrollan de forma pormenorizada los protocolos necesarios para aplicar técnicas y métodos contrastados para conocer la bioquímica y microbiología del suelo. Este fascinante mundo microscópico vienen siendo estudiado por el grupo del Instituto de Investigaciones Agrobiológicas de Galicia desde hace tres décadas.

Entre las características químicas de los suelos más comúnmente afectadas por el fuego se encuentran las bases de cambio, la capacidad de intercambio catiónico, el pH, y el poder de amortiguación. Los procesos químicos más comunes en los suelos afectados por el fuego, además, son los mecanismos que intervienen en la disponibilidad de nutrientes y las pérdidas y aportes de nutrientes. Por esta razón, los estudios de las alteraciones de los suelos en el postincendio requieren de mediciones básicas que permitan caracterizar sus cambios. Los cambios en las propiedades químicas son fáciles y rápidos de realizar, y además la química del

suelo es la que cambia con más facilidad tras los incendios. Es por ello que cuantificar esos cambios, utilizando indicadores apropiados, es lo más aconsejable como se indica en el capítulo 3.3. (Gil et al., 2010).

Lo más llamativo para el espectador de una zona quemada es ver la rápida pérdida de la cubierta vegetal y la presencia de cenizas. Si ese espectador vuelve pasados unos meses o años descubrirá que la vegetación coloniza el suelo quemado (Figuras 5 y 6). De la recuperación de la cubierta vegetal dependerá la evolución del suelo en el postincendio. Determinar con precisión como se produce esa evolución, sus factores y el impacto de la gestión forestales ha sido el objetivo del grupo de investigación de la Escuela Técnica Superior de Agrónomos de la Universidad de Castilla – La Mancha (Moya et al., 2010; Capítulo 4.3). En este capítulo se muestran parte de los experimentos realizados y todas las técnicas y métodos para caracterizar la evolución de la investigación. Sin estas investigaciones, la visión del suelo no sería completa por la íntima relación que existe entre suelo y vegetación.

## INCENDIOS Y ARROYADAS

La degradación del suelo supone una alteración en el funcionamiento de los ecosistemas que puede desencadenar su alteración. Los incendios la pueden favorecer al provocar la pérdida súbita de la vegetación. Sin embargo, la propia recuperación de la vegetación puede devolver el suelo a las condiciones biológicas, físicas y químicas previas al incendio. En cambio, con la pérdida de suelo la recuperación es imposible. Aquello que se quiere recuperar ya no está. Además, la aceleración de la pérdida de suelo y aguas conduce a daños no sólo en la zona donde se arranca el material, también allí donde se deposita. Por ello, el control de la erosión en el postincendio es prioritario. Y para ello deben conocerse en detalle el proceso, las tasas, y lo mecanismos. La importancia de este tema en la investigación y gestión de zonas degradadas ha hecho que se le presta gran atención, como demuestran el gran número de publicaciones.

Varios son los grupos de investigación que han estudiado el proceso de erosión tras el fuego. Todos ellos, de una forma u otra, están presentes en los capítulos 2.1, 2.5 y 2.6. La intensa investigación realizada en torno a la erosión del suelo ha permitido tratar este tema siguiendo los métodos de medición: lluvia simulada (Cerdá et al., 2010); parcelas experimentales, piquetas, perfiladores, trampas de sedimentos y levantamientos topográficos (Cerdá y Jordán, 2010); y cuencas de drenaje (Bautista y Mayor, 2010). La experiencia de los científicos españoles les ha llevado a evaluar, mejorar y diseñar métodos de medición. En los tres capítulos se muestran los métodos y las técnicas desde una perspectiva crítica. En todos estos capítulos se es muy crítico con el método empleado para determinar si la estrategia utilizada es viable o no su uso. Las mediciones de los procesos hidrológicos y erosivos suponen una alteración del mismo proceso, y por ello se debe ser muy precavido en interpretaciones ya que la aplicación del mismo método puede inducir a errores. Cada método o técnica es adecuado para el estudio de un proceso o un mecanismo hidrológico o erosivo. Encontrar el método adecuado es la primera tarea del investigador. La lluvia simulada permite el estudio en detalle de los procesos erosivos (Figuras 7 y 8), mientras que las parcelas de erosión o cuencas de drenaje ofrecen datos reales de las tasas de erosión a la escala que se

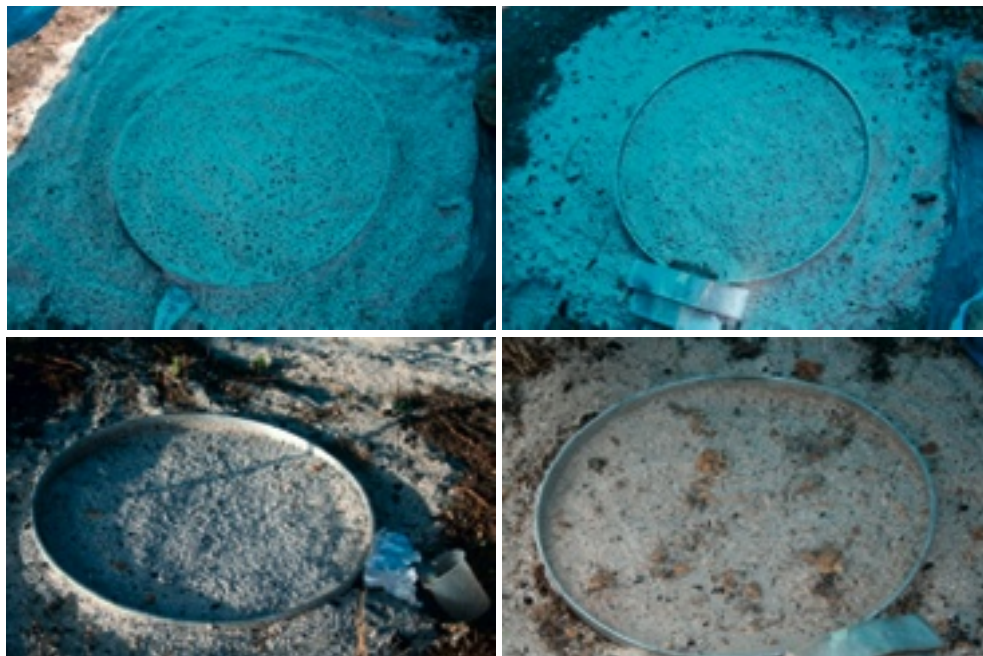


Figura 7. De izquierda a derecha, y de arriba abajo evolución de la cubierta de cenizas blancas durante un experimento con lluvia simulada. Se puede apreciar la progresiva compactación de las cenizas, el aumento del encharcamiento, y la formación de costras. Ello induce una mayor arroyada superficial que favorece la evacuación de las cenizas. Los experimentos controlados con lluvia simulada son la clave para poder realizar estas investigaciones de gran precisión.



Figura 8. De izquierda a derecha se muestra el impacto de la lluvia simulada en una superficie cubierta por cenizas negras. La repelencia del suelo induce abundantes escorrentías que a su vez forman pequeñas presas con los materiales más gruesos (fotografía de la derecha). Este tipo de mediciones de precisión sólo se pueden hacer con lluvias controladas.

midan (Figura 9 y 10). Las lluvias simuladas permiten tomar mediciones en unas semanas o meses, y las parcelas de erosión o cuencas de drenaje necesitan varios años de mediciones. Es deseable combinar distintos métodos de medición para conocer el proceso a distintas escalas.

Los procesos erosivos son altamente dependientes de los procesos hidrológicos. La repelencia al agua es una propiedad de los suelos afectados por el fuego que puede verse profunda-

mente alterada en el postincendio. Las técnicas y métodos empleados para su cuantificación se detallan en el capítulo 3.4 (Jordán et al., 2010). Los científicos españoles son líderes en este tema de investigación a nivel mundial. Aquí debemos reconocer la influencia y el magisterio de Stefan H. Doerr al convencernos a muchos científicos de que los suelos no son siempre hidrofílicos y que posiblemente la repelencia es una propiedad más extendida de lo asumido hasta los años 90, cuando se creía que era una anécdota. El trabajo incansable de muchos investigadores españoles está poniendo sobre la mesa la importancia del carácter hidrofóbico de muchos suelos tanto en zonas afectadas por incendios forestales como no afectada (Figura 11). Y su continua innovación ayudará a mejorar en el conocimiento de las zonas afectadas por incendios forestales.

## RETOS

Una publicación anterior (Cerdà y Mataix-Solera, 2009) resumió lo que sabemos los investigadores españoles sobre los efectos de los incendios forestales sobre los suelos. En ese mismo trabajo se revisan los retos de la investigación. Allí ya se apuntó la necesidad de la innovación y

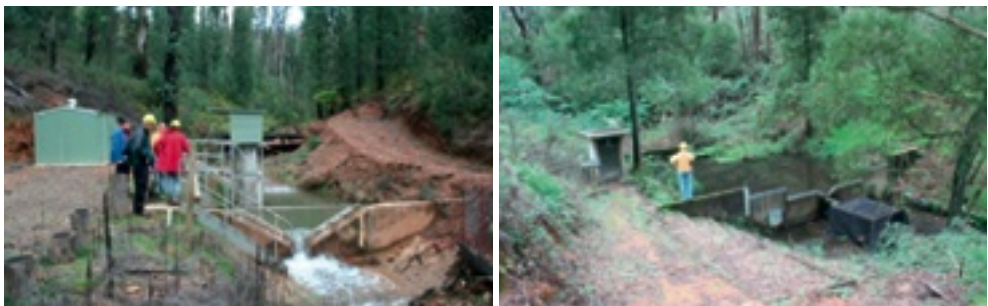


Figura 9. Aforadores para el estudio de la producción de sedimentos y aguas en dos cuencas de drenaje en Australia. Gary Sheridan y sus compañeros de la University of Melbourne trabajan en el estudio de la alteración de los flujos de agua, sedimentos y solutos en cuencas afectadas por incendios forestales.



Figura 10. Visa general y detalle de los aforadores desarrollados por Peter Robichaud en las Montañas Rocosas, Colorado, EEUU.



Figura 11. De izquierda a derecha, distintas imágenes de gotas sobre suelos afectados (centro y derecha) y no afectados (izquierda) por incendios forestales. Nuevas técnicas para determinar la implicación de la hidrofobicidad en la nutrición vegetal, humedad del suelo, estabilidad de los agregados, generación de escorrentía y pérdida de suelo deben ser desarrolladas para conocer el impacto de las respuestas hidrofóbicas en los ecosistemas terrestres.

mejora en métodos y técnicas para la investigación. Esta publicación (Cerdà y Jordán, 2010) se entiende como el principio de esa renovación metodológica, la cual debe de empezar por una revisión de cómo y con qué métodos y técnicas trabajamos, y de qué resultados disponemos y qué resultado podemos obtener con las actuales técnicas.

Con esta publicación, sabemos y damos a conocer que métodos y técnicas utilizamos, y hacia donde se dirige la investigación a la que debemos adaptar las metodologías. Por ejemplo, es evidente la necesidad de caracterizar las cenizas y determinar sus efectos edáficos, hidrológicos y erosivos, pero para ello debemos adaptar los métodos empleados en suelos minerales y desarrollar nueva estrategia para el estudio. El punto de partida de ese desarrollo de nuevas técnicas y métodos está en la reflexión que ha supuesto para los investigadores redactar los 16 capítulos de este libro.

La obra que está en sus manos detalla los métodos y técnicas utilizados para conocer lo que ahora sabemos. Esos métodos han evolucionado de forma sorprendente en las últimas tres décadas, y hoy podemos cuantificar algunos procesos o propiedades del suelo de una forma más precisa. En otros casos, como la erosión del suelo, los cambios han ido más hacia un aumento necesario de las mediciones, sin cambiar o innovar substancialmente en los métodos, ya que eran prioritarias hacer esas pruebas en distintas regiones para caracterizar las tasas de erosión. Ahora, el reto para el futuro es conocer mejor los mecanismos y procesos de erosión, para lo cual necesitaremos más precisión, nuevos métodos y mejores técnicas.

Por lo tanto, a pesar de haber conseguido una mejora substancial en los métodos y técnicas durante treinta años de dedicación, la comunidad científica española que estudia los suelos afectados por incendios forestales tiene ante sí retos y desafíos para conseguir alcanzar una ciencia de calidad y que dé soluciones a los problemas planteados por el fuego en las ecosistemas forestales.

Por una parte hay algunas **investigaciones deficitarias** como son el estudio de la fauna en el postincendio, los efectos hidrológicos, erosivos y edáficos de los restos de vegetación, los fragmentos de roca y su papel protector, la gestión postincendio y también la gestión de los incendios forestales y la posibilidad de implementar quemadas controladas en esa gestión. En



la **gestión del postincendio** tenemos además una tradicional falta de comunicación entre científicos y técnicos. Por ello, la reunión organizada por FUEGORED del 6 al 8 de octubre de 2010 en Santiago de Compostela y en colaboración con las Universidad de Vigo, la Universidad de Santiago de Compostela, el Instituto de Investigaciones Agrobiológicas de Galicia y el Centro de Investigación Forestal de Lourizán pretende atacar este problema mediante el congreso “Investigación y gestión para la protección del suelo y restauración de los ecosistemas afectados por incendios forestales”. Este reto debe acometerse por una parte con la comunicación con la administración y usuarios, pero también debemos divulgar el saber de la comunidad científica, y para ello nada mejor que explicarles como trabajamos y como llegamos a saber el efecto del fuego sobre los incendios forestales. Si en la publicación de FUEGORED de 2009 presentamos los temas más importantes en la investigación de la próxima década (Mataix-Solera y Cerdà, 2009), ahora, en 2010, profundizamos en la mejora que deben alcanzar los métodos y las técnicas.

Otro reto relevante es conseguir una **mayor homogeneización y estandarización** de métodos. El caso de las parcelas de erosión es un buen ejemplo del uso de un método de forma que es difícil comparar estudios realizados en distintas zonas de estudio. Las parcelas experimentales no se han diseñado a partir del consenso de distintos grupos de investigación, sino que cada investigador ha tomado las decisiones de forma unilateral, y en muchos casos condicionado por los recursos económicos disponibles antes que por el interés científico común. También ocurre esto cuando se realiza la medición de variables hidrológicas, físicas (Pereira et al., 2010) o químicas (Gil et al., 2010).

En el caso de la erosión del suelo, se han realizado muchas mediciones con parcelas de tamaños inferiores a 1 m<sup>2</sup>, pero han sido menos las realizadas mediante parcelas grandes (< 10 m<sup>2</sup>), y muy escasas las realizadas a escala de **cuenca de drenaje**. Y esto es así a pesar de que en España existen muchas cuencas de drenaje monitorizadas (García Ruiz y López Bermúdez, 2009), pero son muy pocas las que han sido monitorizadas durante periodos con incendios forestales (Bautista y Mayor, 2010). Por ello, desde aquí llamamos la atención sobre la necesidad de cuantificar los procesos a escala de cuenca de drenaje tras incendios forestales ya que la información es exigua (Belillas y Rodà, 1985; Belillas, 1994).

Otro reto para la investigación es mejorar las mediciones de la **evolución de los cambios postincendio**. Habitualmente, las investigaciones en zonas quemadas empiezan demasiado tarde y terminan demasiado pronto. La instalación de los instrumentos para la medición se suelen instalar unos meses después del incendio, por lo que perdemos los cambios inmediatamente posteriores. Y si esos meses o semanas postincendio son clave, también lo es conocer en el largo plazo el comportamiento del ecosistema. Aconsejamos mantener las mediciones durante periodos de tiempo que al menos superen la década. Y que la toma de datos empiece inmediatamente después del incendio. Por ejemplo, es clave en los muestreos que estos se tomen antes de las primeras lluvias, para repetirlos después, y conocer el efecto de la entrada de agua cargada de nutrientes procedentes de las cenizas.

En los últimos años los científicos españoles hemos sabido extender nuestros trabajos fuera de la Península Ibérica, y **aumentar las relaciones internacionales**. El reto para los próximos años debe ser potenciar esos intercambios. En la última década, aquellos que estudiamos los suelos y los



Figura 12. En la última década, los científicos españoles que trabajan en suelos afectados por incendios forestales han potenciado los intercambios con investigadores foráneos. Eso ha permitido mejorar las técnicas y los métodos. A la izquierda, excursión científica en Australia (julio de 2009). A la derecha, excursión científica en la Montañas Rocosas (junio de 2004). Fotografía de la izquierda: Deborah Martin.



Figura 13. Clave en el desarrollo de la investigación científica en España en esta última década es la implementación de métodos y técnicas desarrolladas por investigadores españoles, pero sin duda se ha conseguido una mejora con la colaboración de investigadores procedentes de otros países. De izquierda a derecha, Peter Robichaud con su infiltrómetro de minidisco, John Moody con una de sus miniparcelas de laboratorio, y a la derecha Stefan H. Doerr, el mayor experto en repelencia al agua de los suelos. Los tres, entre otros, han facilitado un crecimiento extraordinario a los grupos de investigación españoles. Ese intenso intercambio de ciencia ha llevado también a que científicos extranjeros trabajen en España. Heike Knicker es un buen ejemplo con su incorporación al Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología de Sevilla, del Consejo Superior de Investigaciones Científicas.

incendios forestales hemos logrado crear una red nacional (FUEGORED) pero también hacer participe de nuestras inquietudes a investigadores extranjeros. Su entusiasmo en la colaboración con científicos españoles ha permitido realizar intercambios, asistir a reuniones y excursiones científicas y también proyectar a los investigadores españoles a un ámbito internacional (Figuras 12 y 13). Entre las personas que han sido guías para muchos de nosotros debemos destacar a John Moody, Peter Robichaud y Stefan Doerr. El reto es seguir manteniendo estas relaciones internacionales para hacer la ciencia española mejor. Esta internacionalización permitirá mejorar los métodos al contrastarlos en otros ecosistemas y con otros profesionales, y a su vez adquirir métodos, técnicas, protocolos e instrumentos utilizados en otros centros de investigación.

Sin duda, uno de los éxitos conseguidos en los últimos años con respecto a la mejora de relaciones entre grupos de investigación ha radicado en el intercambio científico con grupos portugueses. Esto, debemos decir, ha sido más por el ímpetu, el buen trabajo, y la intensa actividad científica de investigadores emprendedores como António Ferreira y Jan Jacob Keizer, y de todos sus colaboradores, que por la iniciativa de los investigadores españoles. Ellos han hecho, y está haciendo que la colaboración científica ibérica sea más productiva que nunca. Los buenos resultados de estos intercambios, hacen pensar en que FUEGORED debe liderar un proyecto mediterráneo en el que distintos grupos puedan participar para mejorar los conocimientos científicos y la gestión postincendio. La visión mediterránea del problema es fundamental para comparar la gestión entre zonas desarrolladas y no desarrolladas del norte y sur del mediterráneo, pero también para comparar con los “nuevos mediterráneos”: California, Australia, Chile y Sudáfrica.

Si la comunidad científica quiere conocer mejor el efecto del fuego sobre los suelos debe haber más interacción entre disciplinas. Muchos son los que están interesados en los suelos y el fuego: Ingenieros forestales y Agrónomos, Biólogos, Ambientólogos, Geólogos, Geógrafos... y además muchos centran la atención en los temas que son especialistas: hidrología, erosión, química del suelo, física del suelo... Este es uno de nuestros grandes errores. Debemos abrir las puertas de nuestra investigación a que otros penetren en nuestro campo de trabajo para mejorar las técnicas y métodos, y con ello conocer más y mejor el efecto del fuego en el ecosistema edáfico. Por lo tanto, debemos llamar a la puerta de otros para que abran su mundo a nuestra curiosidad. Esto es cada vez más necesario ya que la multidisciplinariedad ayuda a entender el complejo mundo que estudian las ciencias de la Tierra. La ciencia avanza más fácil y rápidamente en las fronteras que separan las distintas ramas de la ciencia. Esto es así porque cada uno de los participantes en los **estudios trans o interdisciplinares** aporta nuevas ideas y conocimientos. Potenciar esta conectividad entre grupos de científicos, disciplinas e intereses es el reto más importante para los próximos años. Si esto se produce, si los autores de los distintos capítulos aquí presentados trabajan conjuntamente, y este es el objetivo primario de FUEGORED, seguro que daremos pasos de gigante para conocer los suelos afectados por el fuego.

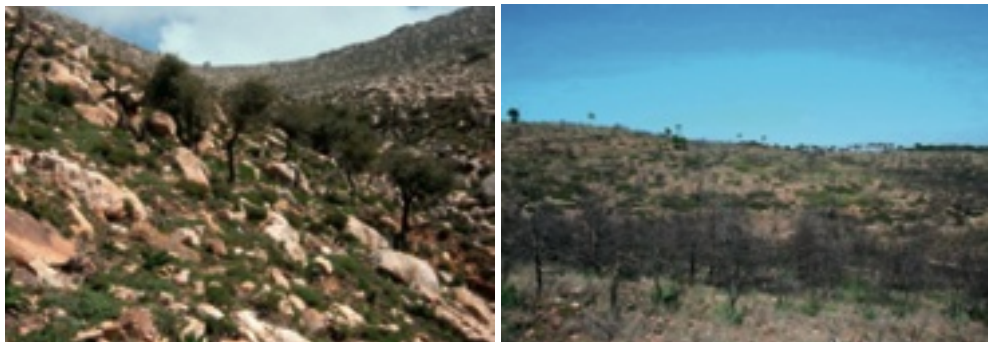


Figura 14. A la izquierda, zona incendiada en Algeciras (Cádiz) en 2006, con el aspecto que presentaba en 2009. Fotografía Lorena M. Zavala. A la derecha, incendio de Navalón, Valencia, 1 año después del incendio. Se puede apreciar como el crecimiento de las manchas de *Quercus coccifera* domina la recuperación vegetal.

En la última década se ha ido borrando de la mente de los investigadores la idea de catástrofe ligada al fuego. Es cierto que los incendios de alta intensidad, los grandes incendios, producen cambios drásticos en los ecosistemas terrestres, pero también es cierto que el fuego es un actor relevante de los ciclos naturales y culturales en la Tierra. En la figura 14 podemos ver dos ejemplos de esa recuperación natural, y en la figura 15 la evidencia sedimentaria de la recurrencia de los incendios como algo natural en los bosques, matorrales y praderas mediterráneas. El reto es acercarnos al estudio de los incendios forestales pensando en el fuego como uno de los elementos claves de la evolución de los ecosistemas terrestres, sin prejuicios, y aplicado la visión racional de la ciencia. Y reconocer que esos ecosistemas son hoy ecosistemas culturales donde la humanidad está presente.



Figura 15. Los sedimentos evidencian la recurrencia de los incendios y también la capacidad de regeneración de la vegetación sobre las cenizas y depósitos ricos en carbón. A la izquierda, herbáceas y musgos crecen sobre las cenizas la primavera posterior al incendio de Pedralba de 1991. En el centro, depósito arenoso y rico en carbones depositado sobre las cenizas del incendio en Navalón, cuatro meses después del incendio de abril de 2008. En esa misma foto se distingue un depósito de cenizas y carbones anteriores al incendio de 2008. Y a la derecha depósitos ricos en cenizas y carbones alternante al pie de la Serra Grossa, Vallada, Valencia, febrero de 2005.



Figura 16. A la izquierda se puede ver el tratamiento contraincendios en una zona colindante a una carretera en el Macizo del Caroig, Valencia. Superados los 7 m de actuación, el bosque sigue mostrando unas densidades extraordinarias de *Pinus halepensis*, lo que producirá en caso de incendio la imposibilidad de su control, y temperaturas muy elevadas. Esto es un síntoma del problema de fondo de las zonas forestales mediterráneas: el abandono, la falta de gestión, el crecimiento de la vegetación que proporciona el combustible necesario para los incendios, y finalmente el incendio. A pesar de ello la administración sigue invirtiendo el dinero en repoblaciones con *Pinus halepensis* como se puede ver en la imagen de la derecha donde se invirtió una cantidad substancial en un territorio donde se necesita aclareos más que plantar pinares en zonas de matorral. Es sin duda necesario que la administración y los científicos mantengan una comunicación más fluida para realizar una gestión con éxito. FUEGORED propicia esa comunicación.

Los científicos españoles tenemos la esperanza de que nuestro trabajo sirva para conseguir una mejora en la gestión de zonas afectadas por incendios forestales. Cosa que hoy no ocurre (Figura 16). Nuestra experiencia apunta a la necesidad de que la población mantenga los paisajes mediterráneos humanizados. Ello supone la presencia de las actividades agrícolas, ganaderas y silvícolas. El abandono supone un costo extraordinario en gestión forestal, y con el tiempo la proliferación de incendios forestales. Otro reto es desarrollar estrategias para controlar los procesos de degradación y erosión del suelo en el postincendio, estudios que deben de ser liderados por los investigadores pero en colaboración con usuarios y técnicos. Este reto es en España una deuda pendiente. Los científicos sabemos cada vez mejor que es lo que ocurre después de los incendios en nuestros suelos, pero hemos hecho poco en el desarrollo de protocolos y estrategias para reducir el impacto de los incendios. Sin duda esta es nuestra deuda pendiente con la sociedad.

## AGRADECIMIENTOS

El trabajo aquí presentado ha sido posible gracias a la financiación del Ministerio de Ciencia e Innovación mediante la Red Temática "Efectos de los incendios forestales sobre los suelos" (CGL2007-28764-E/BTE; CGL2008-01632-E/BTE y CGL2009-06861-E/BTE). Pero han sido las personas que con entusiasmo han colaborado con los editores los que han creado las condiciones, el ambiente y la ilusión para que este proyecto llegase a buen puerto. Soledad Rubio con su excelente gestión, Jorge Mataix-Solera con su experiencia y buenos consejos, Francis Moreno Young por su profesionalidad y creatividad, Félix González Peñalosa por su voluntarioso trabajo en FLAMMA, y todos los autores por su paciencia y colaboración continúan haciendo posible que este libro en particular, y FUEGORED en general, mantengan el trabajo bien hecho.

## REFERENCIAS

- Almendros, G., González-Vila, F.J., González-Pérez, J.A., Knicker, H. y de la Rosa, J.M. 2010. Protocolos y técnicas analíticas e instrumentales para evaluar el impacto del fuego sobre la materia orgánica del suelo. En: A. Cerdà y A. Jordán (Eds.), Actualización en métodos y técnicas para el estudio de los suelos afectados por incendios forestales. Càtedra Divulgació de la Ciència - FUEGORED. Universitat de València. Valencia. Pp.: 285-319.
- Bautista, S. y Mayor, A., 2010. Las cuencas de drenaje como herramienta para el estudio de los efectos de los incendios forestales. En: A. Cerdà y A. Jordán (Eds.), Actualización en métodos y técnicas para el estudio de los suelos afectados por incendios forestales. Càtedra Divulgació de la Ciència - FUEGORED. Universitat de València. Valencia. Pp.: 237-251.
- Belillas, C.M. 1994. Fire effect on particulate matter outputs in a heathland watershed (NE, Spain). En: M. Sala y J.L. Rubio (Eds.), Soil erosion and degradation as a consequence of forest fires. Geofoma Ediciones, Logroño. Pp.: 255-265.
- Belillas, C. y Rodà, F. 1985. Resultados preliminares sobre el comportamiento hidrológico y las tasas de erosión en pequeñas cuencas experimentales de la Calma (Montseny, Barcelona). Cuadernos de Investigación Geográfica, XI, 33-43.
- Benito, E., Cerdà, A., Soto, B., Díaz-Fierros, F., Rubio, J.L., Varela, E. y Rodríguez, M. 2010. Métodos para el estudio de la erosionabilidad del suelo: su aplicación en suelos afectados por incendios forestales. En:

- A. Cerdà y A. Jordán (Eds.), Actualización en métodos y técnicas para el estudio de los suelos afectados por incendios forestales. Càtedra Divulgació de la Ciència - FUEGORED. Universitat de València. Valencia. Pp.: 79-103.
- Carballas, T., Martín, A. y Díaz-Raviña, M. 2009. Efecto de los incendios forestales sobre los suelos de Galicia. En: A. Cerdà y J. Mataix-Solera (Eds.), Efectos de los incendios forestales sobre los suelos en España. El estado de la cuestión visto por los científicos españoles. Càtedra Divulgació de la Ciència, Universitat de València. Valencia. Pp.: 269-301.
- Cerdà, A. y Jordán, A. 2010. Actualización en métodos y técnicas para el estudio de los suelos afectados por incendios forestales. Càtedra de Divulgació de la Ciència-FUEGORED, Valencia. 506 pp.
- Cerdà, A. y Mataix-Solera, J. 2009. Efectos de los incendios forestales sobre los suelos en España. El estado de la cuestión visto por los científicos españoles. Càtedra de Divulgació de la Ciència-FUEGORED, Valencia. 529 pp.
- Cerdà, A., Marcos, E., Llovet, J., Benito, E., Pérez-Cabello, F., Úbeda, X., Jordán, A., Zavala, L.M. y Ruiz-Sinoga, J.D. 2010. La lluvia simulada como herramienta para la investigación del efecto de los incendios forestales sobre los suelos. En: A. Cerdà y A. Jordán (Eds.), Actualización en métodos y técnicas para el estudio de los suelos afectados por incendios forestales. Càtedra Divulgació de la Ciència - FUEGORED. Universitat de València. Valencia. Pp.: 39-78.
- Cerdà, A. y Jordán, A. 2010. Métodos para la cuantificación de la pérdida de suelo y aguas tras incendios forestales, con especial referencia a las parcelas experimentales. En: A. Cerdà y A. Jordán (Eds.), Actualización en métodos y técnicas para el estudio de los suelos afectados por incendios forestales. Càtedra Divulgació de la Ciència - FUEGORED. Universitat de València. Valencia. Pp.: 183-235.
- Díaz-Raviña, M., Fontúrbel, M.T., Guerrero, C., Martín, A. y Carballas, T. 2010. Determinación de propiedades bioquímicas y microbiológicas de suelos quemados. En: A. Cerdà y A. Jordán (Eds.), Actualización en métodos y técnicas para el estudio de los suelos afectados por incendios forestales. Càtedra Divulgació de la Ciència - FUEGORED. Universitat de València. Valencia. Pp.: 465-497.
- Gil, J., Zavala, L.M., Bellinfante, N. y Jordán, A. 2010. Acidez y capacidad de intercambio catiónico en los suelos afectados por incendios. Métodos de determinación e interpretación de resultados. En: A. Cerdà y A. Jordán (Eds.), Actualización en métodos y técnicas para el estudio de los suelos afectados por incendios forestales. Càtedra Divulgació de la Ciència - FUEGORED. Universitat de València. Valencia. Pp.: 323-341.
- González-Vila, F.J., Almendros, G., González-Pérez, J.A., Knicker, H., González-Vázquez, R., Hernández, Z. y Piedra Buena, A. 2009. Transformación de la materia orgánica del suelo por incendios naturales y calentamientos controlados en condiciones de laboratorio. En: A. Cerdà y J. Mataix-Solera (Eds.), Efectos de los incendios forestales sobre los suelos en España. El estado de la cuestión visto por los científicos españoles. Universitat de València. Valencia. Pp.: 219-268.
- Guerrero, C. 2010. Espectroscopía de infrarrojo cercano (NIR) para la estimación de las temperaturas alcanzadas en suelos quemados. En: A. Cerdà y A. Jordán (Eds.), Actualización en métodos y técnicas para el estudio de los suelos afectados por incendios forestales. Càtedra Divulgació de la Ciència - FUEGORED. Universitat de València. Valencia. Pp.: 255-283.
- Jordán, A., Zavala, L.M., González F.A., Bárcenas-Moreno, G. y Mataix-Solera, J. 2010. Repelencia al agua en suelos afectados por incendios: métodos sencillos de determinación e interpretación. En: A. Cerdà y A. Jordán (Eds.), Actualización en métodos y técnicas para el estudio de los suelos afectados por incendios forestales. Càtedra Divulgació de la Ciència - FUEGORED. Universitat de València. Valencia. Pp.: 143-181.
- Mataix-Solera, J., Benito, E., Andreu, V., Cerdà, A., Llovet, J., Úbeda, X., Martí, Cl., Varela, E., Gimeno, E., Arcenegui, V., Rubio, J.L., Campo, J., García-Orenes F. y Badía, D. 2010. ¿Cómo estudiar la estabilidad de agregados en suelos afectados por incendios? Métodos e interpretación de resultados. En: A. Cerdà

- y A. Jordán (Eds.), Actualización en métodos y técnicas para el estudio de los suelos afectados por incendios forestales. Càtedra Divulgació de la Ciència - FUEGORED. Universitat de València. Valencia. Pp.: 105-141.
- Montorio, R., Pérez-Cabello, F., de la Riva Fernández, J. y García-Martín, A. 2010. La espectro-radiometría de campo como herramienta para el estudio de la severidad del fuego. En: A. Cerdà y A. Jordán (Eds.), Actualización en métodos y técnicas para el estudio de los suelos afectados por incendios forestales. Càtedra Divulgació de la Ciència - FUEGORED. Universitat de València. Valencia. Pp.: 419-435.
- Moya, D., de las Heras, J., Ferrandis P., y López-Serrano, F.R. 2010. Estimación de cambios en la comunidad vegetal tras un incendio forestal. En: A. Cerdà y A. Jordán (Eds.), Actualización en métodos y técnicas para el estudio de los suelos afectados por incendios forestales. Càtedra Divulgació de la Ciència - FUEGORED. Universitat de València. Valencia. Pp.: 437-461.
- Pereira, P., Bodí, M.B., Úbeda, X., Cerdà, A., Mataix-Solera, J., Balfour, V. y Woods, S. 2010. Las cenizas en el ecosistema suelo. En: A. Cerdà y A. Jordán (Eds.), Actualización en métodos y técnicas para el estudio de los suelos afectados por incendios forestales. Càtedra Divulgació de la Ciència - FUEGORED. Universitat de València. Valencia. Pp.: 343-398.
- Pérez-Cabello, F., Montorio, F., Palacios, V., García-Martín, A., de la Riva, J.R., Echeverría, M.T., Ibarra, P. y Lasanta, T. 2010. Seguimiento de la evolución hidro-geomorfológica postincendio. El sistema FDARE de captura y análisis automatizado de fotografías verticales. En: A. Cerdà y A. Jordán (Eds.), Actualización en métodos y técnicas para el estudio de los suelos afectados por incendios forestales. Càtedra Divulgació de la Ciència - FUEGORED. Universitat de València. Valencia. Pp.: 407-417.

