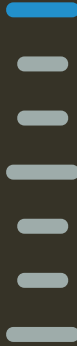




1

Introducción



1.1

Avances metodológicos e innovación técnica en el estudio de los suelos afectados por incendios forestales

Antonio Jordán¹ y Artemi Cerdà²

¹Departamento de Cristalografía, Mineralogía y Química Agrícola, Facultad de Química (Universidad de Sevilla), C/ Profesor García González, 1, 41012, Sevilla. ajordan@us.es

²Departament de Geografia, Universitat de València, Blasco Ibáñez, 28, 46010, València.

Avances metodológicos e innovación técnica en el estudio de los suelos afectados por incendios forestales

Antonio Jordán¹ y Artemi Cerdà²

¹Departamento de Cristalografía, Mineralogía y Química Agrícola, Facultad de Química (Universidad de Sevilla), C/ Profesor García González, 1, 41012, Sevilla. ajordan@us.es

²Departament de Geografia, Universitat de València, Blasco Ibáñez, 28, 46010-València.

RESUMEN

Se revisan las ideas fundamentales en las que reside el estudio del efecto de los incendios forestales en los suelos a principios del siglo XXI entre los científicos españoles. Y se presentan los métodos y las técnicas que permiten conocer el efecto del fuego en el ecosistema edáfico. La investigación científica se basa en el desarrollo de nuevas estrategias –los métodos y las técnicas– que permitan conocer mejor la realidad, en este caso los ecosistemas forestales. Los científicos españoles son extremadamente creativos en este aspecto y aquí se muestran a modo de introducción esas contribuciones que permitirán el avance científico en los próximos años. Se presentan los capítulos destacando las contribuciones más relevantes aportadas por los científicos españoles.

CIENCIA, SOCIEDAD E INCENDIOS FORESTALES

El fuego constituye una perturbación natural que se produce en la mayoría de los ecosistemas terrestres. Los fuegos naturales causados por rayos o por otras causas como las erupciones volcánicas, han contribuido a conformar la historia de la vegetación, los suelos, y en definitiva el paisaje que conocemos. También el fuego ha sido utilizado por los seres humanos desde hace 400.000 años y hace tan sólo unos 10.000 años que el hombre aprendió a encender el fuego sin necesidad de depender de agentes naturales como los rayos. Desde entonces, el fuego ha constituido una excelente herramienta para aprovechar y gestionar los ecosistemas naturales en todo el mundo. El paisaje mediterráneo que conocemos ha sido modelado por la acción del hombre durante miles de años, y el empleo del fuego no ha sido ajeno a este proceso. Así, al desarrollo de mecanismos de adaptación a la acción del fuego por parte de las especies que componen el bosque mediterráneo actual, hay que unir la transformación intensa de los sistemas forestales originales en cultivos y dehesas a partir del siglo XV para favorecer la ganadería, la explotación de carbón y leña, y el abastecimiento humano.

En la actualidad, tanto en España como en muchas otras partes del mundo, los suelos se han visto afectados por profundos cambios de uso debido al incremento de la actividad industrial y a los movimientos de la población, que tienden a agruparse en ciudades cada vez más grandes y a abandonar los entornos rurales. Estos procesos conllevan la disminución de la presión agrícola y ganadera, así como el abandono de labores tradicionales que contribuían a un manejo eficiente de los recursos agrícolas y forestales, como el mantenimiento de terrazas en las



Figura 1. Rebrote de matorral y especies arbóreas ocho meses después del incendio de Navalón (Valencia, 2008). Fotografías: Lorena M. Zavala.

laderas, el cuidado de los caminos o la limpieza del bosque. Todo esto, unido a la presión turística, a la expansión de las zonas urbanas y a otras causas de índole social, conllevó a un gran incremento en el número y daños causados por los incendios forestales durante las décadas de 1960, 1970 y 1980. A partir de 1990, el número de incendios forestales ha aumentado progresivamente, aunque afectando a una menor superficie total anual.

Sin embargo, en el contexto actual de cambio global y de degradación del paisaje, es necesaria la investigación sobre los efectos del fuego. Los incendios forestales pueden producir alteraciones sobre los suelos, el agua, y la vegetación (Neary et al., 2005). En el caso del suelo, el fuego actúa de manera indirecta al destruir la cubierta vegetal, de modo que se produce un aumento en la intensidad de los procesos erosivos, pero también de forma directa mediante cambios en su composición química y en sus propiedades físicas (Mataix-Solera y Guerrero, 2007). Como consecuencia del incendio forestal se producen tanto cambios geomorfológicos como ecológicos que alteran la situación inicial del sistema terrestre. La magnitud de esos cambios dependerá de factores como la intensidad y severidad del fuego o la capacidad de amortiguación de los cambios que tenga el propio sistema. En función de sus propiedades, no todos los suelos se comportan de la misma manera tras un incendio, así como todos los suelos no muestran el mismo riesgo de degradación física o química. Tras fuegos de alta severidad o tras períodos de recurrencia intensa de incendios, la degradación del suelo puede ser muy alta. Sin embargo, en otros casos, la recuperación del sistema puede ser rápida y espontánea. También puede ocurrir que un descenso en la frecuencia del fuego ocasione descensos en la productividad de los ecosistemas (Covington y Sackett, 1986), la inmovilización de nutrientes en la biomasa (Kilgore, 1981) o, paradójicamente, un aumento del riesgo de incendios (Agee, 1993; Grady y Hart, 2006), especialmente de incendios extraordinariamente intensos. Sin embargo el desconocimiento de estos procesos y de la dinámica de los ecosistemas asociados al fuego, como ocurre en los ambientes mediterráneos, ha llevado con frecuencia a basar el manejo de los ecosistemas forestales en la supresión a toda costa de los incendios.

AVANCES METODOLÓGICOS E INNOVACIÓN TÉCNICA EN EL ESTUDIO
DE LOS SUELOS AFECTADOS POR INCENDIOS FORESTALES



Figura 2. A la derecha, efecto de la erosión acelerada tras el incendio de Canberra (Australia, 2003). A la derecha, aplicación de estrategias de control de la erosión en el área afectada en la actualidad. Fotografías: Antonio Jordán.

Una buena gestión forestal debe basarse en la investigación científica. Respecto a los incendios forestales, se han invertido muchos recursos en apagarlos, pocos en prevenirlos, y escasos en el estudio de su impacto sobre suelos, aguas y vegetación. El conocimiento de los efectos del fuego sobre las propiedades de los suelos y la determinación y utilización de índices de impacto se convierte en esencial a la hora de llevar a cabo decisiones sobre el manejo, la restauración o la prevención de las zonas afectadas por el fuego.

La comunidad científica, los organismos responsables de la toma de decisiones, y la sociedad deben ser capaces de proponer y utilizar métodos de evaluación de los impactos del fuego sobre los ecosistemas. A pesar de la abundante información existente en la literatura científica sobre el tema, el suelo suele ser el gran olvidado a la hora de prevenir y restaurar zonas afectadas por incendios. Pero por alguna razón, no somos capaces de bajar la mirada y entender que es el suelo el lugar donde se asientan las raíces y las semillas de las plantas que conforman los ecosistemas, y que un mero intento de restauración de la vegetación original puede estar con-



Figura 3. Vistas de la Sierra del Algibe (Cádiz). A la derecha, brezal de cumbre, un tipo de vegetación cuya distribución se halla estrechamente relacionada con la recurrencia del fuego; fotografía: Lorena M. Zavala. A la izquierda, laderas degradadas y reforestadas con pinar; fotografía: Antonio Jordán.



Figura 4. A la izquierda, incendio de Minas de Riotinto (Huelva, 2004); fotografía: Lorena M. Zavala. A la derecha, incendio en una plantación de pinos de Teruel (julio de 2009).

denado al fracaso si no se reúnen las condiciones apropiadas en el suelo. Este hecho es olvidado por técnicos, gestores, científicos y, lamentablemente, estudiantes. Por esta razón, hay quien se ha preguntado: “¿dónde está la inconexión?”, dando algunas respuestas “para que pensemos por un momento si no le estamos haciendo un flaco favor a la sociedad, y al medio ambiente por cuya mejora investigamos. Debemos reconectarnos con la sociedad, para que la triada que ha hecho evolucionar a la ciencia durante siglos, vuelva a funcionar en nuestro campo” (Ruiz-Gallardo, 2010). Por ello, el objetivo de la publicación de este libro es llevar a cabo la actualización de métodos y técnicas para el estudio de los suelos afectados por incendios forestales, para mostrar cómo y en qué trabaja la comunidad científica y proporcionar una herramienta válida para que sea empleada también por otros.

ACTUALIZACIÓN EN MÉTODOS Y TÉCNICAS PARA EL ESTUDIO DE LOS SUELOS AFECTADOS POR INCENDIOS FORESTALES

En este libro se recopila la forma en cómo los investigadores aprehenden la realidad de las zonas forestales afectadas por incendios forestales. El suelo es el gran protagonista. Pero la visión del sistema edáfico en su globalidad obliga a que se trate también la vegetación y el agua, además de dar un enfoque biológico, físico y químico del sistema edáfico. Esta es una visión de los científicos españoles, pero, que tanto por la internacionalización de la ciencia española como por la contribución de investigadores foráneos, es la visión de los métodos utilizados hoy en todo el mundo. Pero este libro trata sobre todo de los métodos y las técnicas que ayudan a entender la realidad, los procesos y sus tasas, de aparatos, artilugios y herramientas para ser un poco más sabios -o menos ignorantes- cada día. El libro está dividido en cuatro apartados, además de esta introducción y las conclusiones. Esos apartados están dedicados a: i) los procesos hidrológicos y erosivos en zonas afectadas por incendios forestales, donde la ciencia española ha contribuido con aportaciones substanciales; ii) las propiedades químicas y físicas de los suelos donde sin

duda los estudios de la materia orgánica son clave y aportan a la ciencia internacional conocimiento básicos que hacen de los autores hispanos referencia mundial, y donde el estudio de las cenizas está progresando con nuevos hallazgos; iii) aportaciones técnicas que muestran la innovación y la creatividad científica de los investigadores españoles; y iv) técnicas empleadas para el estudio de la microbiología y propiedades bioquímicas de los suelos.

A continuación se detallan las principales contribuciones.

Estudio de los procesos hidrológicos y erosivos asociados a los incendios forestales

En el capítulo 2.1, Cerdà et al. (2010) realizan una revisión bibliográfica sobre la simulación de lluvia como una herramienta especialmente útil para estudiar los efectos del fuego sobre la respuesta hidrológica y erosiva de los suelos, explicando el origen de estas técnicas desde los primeros ensayos durante la primera mitad del siglo xx hasta la actualidad. El cambio en las propiedades hidrológicas de la superficie del suelo o en el riesgo de erosión del suelo después de un incendio es difícil de estudiar debido a la gran variabilidad de los eventos de lluvia en condiciones climáticas mediterráneas. Por esta razón, la simulación de lluvia constituye una herramienta básica en este tipo de estudios, ya que permite al investigador controlar la intensidad de lluvia, el tamaño y la energía cinética de las gotas, o la duración del evento. En este capítulo se proponen, por primera vez en español, protocolos para el desarrollo de experimentos de simulación de lluvia describiendo los parámetros de interés, así como los métodos de campo y gabinete para la determinación de los cambios en las tasas de escorrentía e infiltración en los suelos quemados, en las tasas de erosión, la dinámica de las curvas de escorrentía y capacidad de transporte de sedimentos, las implicaciones de la repelencia al agua del suelo en la erosión post-incendio o la diferenciación del efecto directo del fuego sobre el suelo (mediante el incremento de la temperatura, la deposición de cenizas y hojarasca parcialmente quemada) de su efecto indirecto como factor que provoca cambios en la cubierta del suelo. Se muestran y discuten, además, los resultados de algunos experimentos de campo que puedan servir de guía para futuros trabajos de investigación.

Un parámetro fuertemente relacionado con los cambios inducidos por el fuego en la estructura del suelo está el aumento súbito de la erosionabilidad. Benito et al., (2010) realizan en el capítulo 2.2 una revisión profunda de los métodos y técnicas para el estudio de la erosionabilidad del suelo, analizando los problemas de su aplicación en los suelos afectados por incendios forestales. Se discute también el papel de la erosionabilidad como factor para su incorporación en los modelos de erosión del suelo, como USLE, RUSLE o WEPP. Es de gran interés la aclaración en la introducción de este capítulo de los términos erosionabilidad, erodibilidad y erosividad. Se revisan distintos métodos utilizados hasta la fecha y se ofrecen resultados de investigaciones claves en la evolución de los métodos y de los conocimientos sobre la erosionabilidad de los suelos.

El capítulo 2.3 (Mataix-Solera et al., 2010), guarda una relación muy estrecha con el capítulo anterior al estar íntimamente relacionado la estudio de la estabilidad de los agregados con la erosionabilidad de los suelos desnudos como ocurre con las zonas afectadas por incendios fores-

tales. Además de los impactos que el fuego produce como consecuencia de la liberación de energía térmica, están los ocasionados por la profunda alteración cuantitativa y cualitativa de la materia orgánica. La materia orgánica humificada del suelo, junto a residuos frescos como hojarasca o raíces vivas y muertas son responsables de la estabilidad de los agregados del suelo. Tras un incendio, el contenido en materia orgánica del suelo desciende en los primeros centímetros, lo que causa una desprotección contra el impacto de las gotas de lluvia, disparando el riesgo de pérdida de suelo en las laderas. En este capítulo, los investigadores que mejor conocen la estructura del suelo en zonas quemadas, desgranar exhaustivamente los métodos utilizados para determinar la estabilidad de los agregados, destacando las ventajas e inconvenientes de los mismos en función de los objetivos, con especial atención a las estrategias y protocolos para el estudio de suelos quemados. Se muestran y discuten también los patrones más frecuentes de agregación encontrados en suelos afectados por incendios forestales o tras quemas experimentales en diversos estudios publicados por diferentes grupos de investigación españoles, así como las interpretaciones de los resultados que se han encontrado. En la mayor parte de los casos estudiados se observa que el fuego produce una degradación de la estructura y, consecuentemente, una pérdida de estabilidad, aunque en algunos casos no se han observado diferencias y en otros los resultados han mostrado una agregación mayor en los suelos quemados. Este hecho parece estar relacionado con la severidad del fuego y las propiedades del suelo, lo que es discutido de manera amplia en el capítulo.

En la última década, la repelencia al agua de los suelos ha surgido como un tema relevante tanto en los estudios edafológicos como hidrológicos. En el capítulo 2.4 se aborda el estudio de la repelencia al agua en suelos afectados por incendios (Jordán et al., 2010). Al modelo clásico de DeBano et al., (1976) se ha sumado la aportación de Doerr (2009) que ha permitido poner de manifiesto que la repelencia al agua es una propiedad que aparece frecuentemente tras el fuego, aunque también está asociada a distintos tipos de suelo en diferentes zonas y climas del mundo, y que limita la capacidad de infiltración de los suelos. En este capítulo se realiza una breve revisión del estado del conocimiento actual sobre esta propiedad, resumiendo sus causas físico-químicas, los factores bióticos y abióticos que condicionan su presencia en intensidad en los suelos, y sus principales consecuencias hidrológicas y geomorfológicas. Se muestran también los principales métodos directos e indirectos utilizados para el análisis de la repelencia al agua del suelo, desde el punto de vista de su persistencia y su intensidad, bajo condiciones de campo y laboratorio. Los métodos descritos han sido empleados en estudios previos de suelos afectados por el fuego de manera general y su validez está contrastada en artículos publicados en revistas científicas.

En el capítulo 2.5, Cerdà y Jordán (2010) realizan una revisión de los métodos utilizados para cuantificar la erosión del suelo en zonas incendiadas. En este capítulo se aporta información substancial de los antecedentes y resultados de cada método, se revisa la forma de aplicar el método, se detallan los protocolos a seguir, y se discute la validez y aplicabilidad de cada método a las zonas quemadas. Entre los métodos revisados destacan las parcelas abiertas y cerradas, las cuales han aportado información substancial para el estudio de la erosión del suelo en España, también en zonas afectadas por incendios forestales. Además, se apunta

información relevante sobre perfiladores, piquetas de erosión, levantamientos topográficos, y trampas de sedimentos.

En el capítulo 2.6, Bautista y Mayor (2010) discuten acerca del uso de cuencas de drenaje como una herramienta útil para el estudio de los efectos del fuego en los suelos. Dada la gran heterogeneidad del paisaje y la alta variabilidad espacio-temporal de los factores que controlan el impacto de los incendios, como ocurre con la precipitación, es aconsejable considerar el estudio de grandes extensiones espaciales y temporales. Sin embargo, las dificultades y el coste económico y de personal que implican este tipo de estudios, normalmente se llevan a cabo experimentos a escala de parcela o ladera. Según las autoras, los estudios a escala de cuenca sobre impactos hidrológicos y geomorfológicos de los incendios permiten conocer el balance neto de los procesos de generación y redistribución de escorrentía, de erosión en laderas y cauces y de redistribución y depósito temporal de sedimentos. En este capítulo se discute la importancia y las limitaciones del uso de cuencas de drenaje, exponiendo de manera detallada los principales métodos de estudio del comportamiento hidrológico y la exportación de sedimentos a escala de cuenca.

Métodos y técnicas instrumentales aplicadas al estudio de los efectos del fuego en las propiedades químicas y físicas del suelo

Esta sección consta de cuatro capítulos donde se abordan los métodos y técnicas instrumentales aplicadas al estudio de los efectos del fuego en las propiedades químicas del suelo.

Si algo hemos aprendido en los últimos años es que no todos los incendios afectan por igual al suelo. La intensidad y la severidad son claves para entender como el suelo responderá tras el fuego. Cuantificar las temperaturas y el tiempo de residencia del fuego siempre fue difícil, y las mediciones directas han sido pocas, de modo que los estudios realizados han utilizado con frecuencia variables cualitativas con cierto grado de incertidumbre. Pero desde hace unos años se ha demostrado que la espectroscopia de infrarrojo cercano (NIR) puede ser usada como técnica rápida para conocer la temperatura que ha alcanzado una muestra de suelo durante un incendio forestal. Los cambios que ocurren en los suelos afectados por incendios forestales están condicionados por la temperatura provocada por el fuego, y su análisis mediante espectroscopia NIR permite obtener una información integrada de los cambios que se han producido, de manera que a través de cada espectro obtenido se puedan conocer las temperaturas alcanzadas. En este capítulo 3.1, Guerrero (2010) propone un protocolo para el desarrollo, calibración y validación de modelos para la obtención de datos mediante esta tecnología.

La importancia del estudio de la materia orgánica del suelo como medida del impacto del fuego se fundamenta en sus efectos sobre la productividad y estabilidad a largo plazo de los ecosistemas, así como los cambios que produce el fuego sobre las características y la composición del humus, que permite un diagnóstico precoz de los cambios en los ciclos biogeoquímicos en ecosistemas afectados por perturbaciones. Las principales alteraciones químicas que experimenta la materia orgánica del suelo por efecto del fuego han sido revisadas recientemente por González-Vila y Almendros (2004) y González-Vila et al. (2009) quienes describen los cambios detectados en suelos debido al efecto del fuego. En el capítulo 3.2 (Almendros

et al., 2010), los autores, un grupo de investigación que lidera internacionalmente este tipo de estudios, describen los protocolos y técnicas utilizados para el aislamiento y análisis de la materia orgánica del suelo, que se consideran particularmente apropiados para evaluar el impacto del fuego: espectroscopía visible, análisis elemental orgánico, y degradación química por vía seca o húmeda.

En nuestro país existe abundante información sobre los efectos del fuego en las propiedades químicas del suelo (Carballas et al., 2009; Mataix-Solera y Guerrero, 2007; Terefe et al., 2008). Y también se han desarrollado diversos parámetros químicos que pueden ser utilizados con facilidad como índice del impacto del fuego en el suelo o como indicador del estado de su recuperación desde el punto de vista de la fertilidad química. Por esta razón, Gil et al. (2010) presentan en el capítulo 3.3 algunos métodos sencillos para cuantificar los cambios producidos en algunos parámetros químicos como la acidez o la capacidad de intercambio catiónico del suelo, discutiendo su eficacia como índices del grado de alteración. La importancia del pH como indicador del impacto del fuego radica en su relación con los procesos de solubilización/insolubilización de macro y micronutrientes como Ca, Mg, P, Fe, Zn ó N, por ejemplo, así como su capacidad de regulación de los procesos biológicos. El pH del suelo puede variar en función de la liberación de cationes tras la combustión de la materia orgánica y la biomasa, la cantidad y el tipo de cenizas producidas, la temperatura alcanzada en los primeros centímetros del suelo o el lavado de los cationes por medio de la infiltración o la escorrentía tras la lluvia. La capacidad de intercambio catiónico es una propiedad del suelo que depende de su composición química, del contenido y naturaleza de la arcilla y de la materia orgánica, y su determinación es necesaria para conocer la capacidad de almacenamiento de nutrientes del suelo o su capacidad tampón de los procesos químicos que tienen lugar en él. Por lo tanto, la disminución en el contenido de materia orgánica, o los cambios cuantitativos y cualitativos inducidos en los minerales por causa del fuego pueden tener graves consecuencias desde el punto de la fertilidad química del suelo. En este capítulo, los autores proponen protocolos de laboratorio para la determinación de la acidez real y potencial del suelo, así como para la determinación de la capacidad de intercambio catiónico, bases cambiables y saturación del complejo de cambio, discutiendo los cambios observados en suelos afectados por el fuego. Finalmente, se propone un diseño experimental sencillo y la interpretación de resultados a través de un caso práctico.

Tras la combustión de la hojarasca y la biomasa aérea causada por los incendios es común la aparición de una capa de cenizas sobre la superficie del suelo (Neary et al., 2005). El efecto de los restos de hojarasca y las cenizas sobre la superficie mineral del suelo persisten hasta que son dispersadas o redistribuidas por agentes externos (Cerdà y Doerr, 2008; Woods y Balfour, 2008; Zavala et al., 2009). Además, las cenizas contienen gran parte de los nutrientes minerales que estaban inmovilizados en la biomasa, de modo que su importancia en el ciclo geoquímico de los ecosistemas afectados por el fuego es capital (Pitman, 2006). A pesar de esto, la importancia de las cenizas en los suelos afectados por el fuego es uno de los aspectos menos estudiados por la comunidad científica, quizá por su carácter efímero, y de ahí la importancia de contar con metodologías de trabajo contrastadas en su estudio. El estudio de las cenizas y su influencia en el suelo es precisamente el objetivo del capítulo 2.4, donde Pereira et al. (2010) llevan a cabo una

revisión precisa sobre el origen y caracterización físico-química de las cenizas, su utilización como índice de severidad del fuego y los principales métodos de análisis, discutiendo los resultados obtenidos durante experimentos de campo y laboratorio.

Métodos y técnicas de estudio del impacto de los incendios forestales en los ecosistemas

En la cuarta sección, se discuten y actualizan algunos métodos para el estudio del impacto de los incendios forestales en los ecosistemas. En esta sección los estudios apuntan a técnicas novedosas de obtener información de los cambios en los suelos y las superficies quemadas. En el capítulo 4.1, Pérez-Cabello et al., (2010), llevan a cabo el análisis de las consecuencias del fuego sobre el binomio erosión-vegetación, mediante la utilización de parcelas experimentales. Para conocer el impacto causado por el fuego en la superficie del suelo se suelen realizar estimaciones cualitativas de la ocupación y evolución temporal de tipos de cubierta como cenizas, costras superficiales, actividad biológica y recubrimiento vegetal. Estos datos se complementan, en ocasiones, con un seguimiento de la cubierta vegetal mediante la realización de inventarios florísticos dentro de las parcelas, o transectos lineales. Sin embargo, la variabilidad de procesos e interacciones a micro escala que se producen tras un incendio requiere implementar metodologías precisas que permitan interpretar mejor los datos de erosión y conocer los modelos de distribución espacial de la cubierta vegetal. En este capítulo, los autores describen una metodología innovadora y contrastada experimentalmente, el sistema denominado FDARE (Fotografía Digital de Alta Resolución Espacial), como apoyo a la monitorización de procesos hidro-geomorfológicos en parcelas experimentales que permite el estudio multitemporal de la superficie mediante el análisis de imagen de alta resolución. Esta metodología permite la automatización de la toma de datos y el seguimiento de parcelas de erosión con un gran detalle, lo que ayudará a evaluar y cartografiar la distribución espacio-temporal de los procesos postincendio, contribuyendo a la explicación de la producción de escorrentía y sedimentos. En este capítulo se presentan también los resultados de ensayos metodológicos llevados a cabo en una estación experimental como ejemplo de su uso. El capítulo 2.5 sobre parcelas experimentales y el 4.1 sobre toma automatizada de información de la superficie de la parcelas son complementarios y de lectura obligatoria para adentrarse en el mundo de la medición de los procesos erosivos en el postincendio.

En el capítulo 4.2, Montorio et al. (2010) abordan el empleo de técnicas de teledetección como una herramienta adecuada para estimar y cartografiar la severidad del fuego, capaz de detectar los rangos espectrales más sensibles a los diferentes niveles de severidad e investigando las relaciones entre las cubiertas superficiales ligadas al proceso de combustión. Aunque la utilización de índices multispectrales ha permitido la obtención de resultados contrastados en el análisis de la severidad del fuego, también se han puesto de relieve algunos problemas como la dificultad para discriminar niveles de severidad intermedios, Como consecuencia, y dada la disponibilidad de información hiperespectral y del desarrollo de nuevas tecnologías de tratamiento de datos hiperespectrales, algunos estudios recientes se han orientado hacia la estimación de índices de campo de severidad del fuego a una escala de trabajo muy precisa. En este capi-

tulo, los autores describen la metodología de trabajo (diseño experimental, obtención y tratamiento de la información) y llevan a cabo la discusión de datos obtenidos, mostrando la validez de la metodología y marcando el camino de nuevas líneas de investigación.

El suelo no se puede entender sin la vegetación. Por ello, el capítulo 4.3 se dedica a presentar las técnicas y métodos que se utilizan para caracterizar la cubierta vegetal. Moya et al. (2010) realizan una revisión exhaustiva de las metodologías existentes y proponen un método de trabajo sencillo para determinar y explicar la variación en los patrones de recuperación de las comunidades vegetales, que servirá como introducción para profundizar en otras metodologías complementarias más exactas, pero también de mayor coste en términos de preparación, equipamiento, disponibilidad de tiempo y dinero. Por ello, como los propios autores indican, este capítulo no sólo es un compendio de técnicas básicas de caracterización de vegetación sino que también pretende ser un compendio de referencias y bibliografía básica para que cualquier investigador pueda mejorar su conocimiento en este ámbito, debido a la estrecha relación existente entre el sistema suelo y la vegetación que soporta, con la cual y a partir de la cual ha evolucionado. En el capítulo se aborda la metodología para la obtención de datos a partir de cartografía previa al incendio y de imágenes remotas, la cartografía tras el incendio y la información digital tomada en campo o el procedimiento para la realización de muestreos de campo y metodologías orientadas a la cuantificación de individuos vivos, de la biomasa quemada, la descripción de las cenizas, el nivel de protección de suelo, el seguimiento de la recuperación natural de la vegetación, el banco de semillas o la caracterización de masas forestales. Finalmente, se discute un ejemplo de diseño de parcelas para el seguimiento de suelos afectados por incendios.

Las cenizas juegan un papel definitivo en la evolución postincendio. La cubierta de restos vegetales quemados determina la protección en la inmediatez del postincendio, controla los procesos hidrológicos y la redistribución de nutrientes. Todo lo que se sabe sobre el efecto de las cenizas sobre los suelos, pero también de las cenizas: evolución de la profundidad de las cenizas, sus propiedades física y químicas, y los cambios en la hidrología se muestra en el capítulo 4.2 (Pereira et al., 2010). Este capítulo ha supuesto el esfuerzo extraordinario por parte de aquellos que trabajan para conocer cómo evolucionan las cenizas desde el mismo día después del incendio, y como sus cambios van a afectar a los suelos y a la recuperación de la zona quemada. Se muestran datos inéditos de investigaciones que aún se están desarrollando en estos momentos y que aportarán información substancial para conocer los efectos de los incendios sobre los suelos, su recuperación tras el fuego y la calidad de las aguas. Se revisan los métodos más utilizados para determinar la profundidad de las cenizas, sus propiedades físicas y químicas, su impacto hidrológico y las estrategias de análisis de datos más apropiadas.

Métodos de estudio de los efectos de los incendios forestales en las propiedades bioquímicas y microbiológicas del suelo

El último apartado de este libro está dedicado a la biota, si bien todos los implicados en la investigación en suelos reconocemos que este es el primer factor en el desarrollo o recuperación de los suelos. La vida es el motor de los procesos edáficos y debe potenciarse su estu-

dio. A pesar de esto, en España no existe una línea de investigación dedicada al efecto de los incendios forestales en la fauna y de sus cambios en los suelos. En general, los estudios sobre bioturbación son escasos. Sin embargo contamos con investigadores de renombre internacional en la investigación de las propiedades bioquímicas y microbiológicas. Díaz-Raviña et al. (2010) en el capítulo 5.1 revisan el estado de la cuestión de los métodos y técnicas, además de los resultados más relevante. Así en este último capítulo, se describen los métodos de estudio de los efectos del fuego en las propiedades bioquímicas y microbiológicas del suelo. Aunque poco importante cuantitativamente, la microbiota edáfica (bacterias, actinobacterias, hongos, algas, protozoos y microfauna) interviene en los ciclos del carbono y los nutrientes, la meteorización de rocas y minerales del suelo, o las reacciones de complejación; influye también en ciertas propiedades del suelo tales como estructura, temperatura, composición de la atmósfera, pH y potencial redox. A su vez, la población microbiana está condicionada por una serie de parámetros abióticos (acidez, humedad o disponibilidad de nutrientes, entre otros) o bióticos (como las relaciones con otros organismos). Por estas razones, la microbiota edáfica constituye un bioindicador de los cambios producidos en la calidad del suelo como consecuencia de los incendios forestales (Pankhurst et al., 1998). Recientemente esta relación entre la acción del fuego y la microbiota del suelo ha sido revisada por Carballas et al. (2009) y Mataix-Solera et al. (2009), observando que el conocimiento de la respuesta de la comunidad microbiana frente al estrés producido por el fuego es fundamental para entender el funcionamiento del ecosistema y, posteriormente, proceder a aplicar determinadas técnicas de recuperación del suelo. Por ello, en este capítulo se abordan con detalle los procedimientos metodológicos necesarios para la caracterización de la comunidad microbiana afectada por el fuego, incluyendo la recogida, preparación y conservación de muestras de suelo, el muestreo de suelos, la cuantificación del número de microorganismos, de la biomasa microbiana, su actividad y la estructura de las poblaciones.

En el apartado 6 se revisan las aportaciones más significativas de esta publicación a la mejora de la investigación científica. También se apuntan los caminos que debe tomar la ciencia del suelo y las ciencias afines que trabajan en zonas afectadas por incendios forestales para conseguir conocer mejor los espacios forestales afectados por incendios forestales para diseñar mejores estrategias de manejo postincendio. Y se rinde homenaje a los autores que han contribuido al avance de la ciencia en los últimos años. La internacionalización del campo de estudio de los efectos de los incendios forestales sobre los suelos se muestra aquí con el reconocimiento de la contribución de algunos investigadores foráneos a la ciencia en España, tanto por sus visitas, como por su colaboración con investigadores españoles en sus respectivos laboratorios e instituciones.

CONCLUSIONES

Este libro pone al día los métodos y técnicas que permiten conocer los efectos de los incendios sobre los suelos. La comunidad científica española muestra con esto su intensa actividad investigadora, de innovación en técnicas y métodos, de intercambio con la comunidad internacional, y sin duda su

interés por dar a conocer los resultados y como se consiguen éstos. Es por lo tanto un ejercicio más del método científico para conocer la realidad: el intercambiar las experiencias científicas.

El propósito de los editores, de los cincuenta y tres autores, de los más de ciento cincuenta participantes en la Red Temática "Efectos de los incendios forestales sobre los suelos", y en general de la comunidad científica es que estos métodos y técnicas aquí descritos sirvan para conseguir una gestión forestal sostenible. Sabemos que el esfuerzo y el trabajo bien hecho de los autores será referencia durante los próximos años para científicos, técnicos y estudiantes que quieran iniciarse en el estudio de los suelos afectados por incendios, y por ello se ha desarrollado una tarea editorial acorde con el esfuerzo de la comunidad científica que aquí se representa.

Este libro completa el editado hace un año (Cerdà y Mataix-Solera, 2009) dedicado al estado de la cuestión del efecto de los incendios forestales sobre los suelos. Tras este libro dedicado a métodos y técnicas los retos de los participantes deben orientarse hacia la aplicación de los resultados en colaboración con los técnicos de la administración, propietarios de zonas forestales y usuarios. Si el primer paso de FUEGORED fue mostrar que es lo que sabemos, el segundo cómo lo sabemos, el tercero debe de ser como se aplican los conocimientos a la gestión forestal.

AGRADECIMIENTOS

El trabajo aquí presentado ha sido posible 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). Los 153 participantes en la red temática, y los 53 autores son los protagonistas de este trabajo de una comunidad científica muy dinámica.

REFERENCIAS

- Agee, J.K. 1993. Fire Ecology of Pacific Northwest Forests. Island Press. Washington, DC.
- 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.: 289-325.
- 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.: 243-255.
- 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.: 85-107.
- 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. Cátedra Divulgación de la Ciencia, Universitat de València. Valencia. Pp.: 269-301.
- Cerdà, A. y Doerr, S.H. 2008. The effect of ash and needle cover on surface runoff and erosion in the immediate post-fire period. *Catena*, 74, 256-263.
- Cerdà, A. y Jordán, A. 2010. Actualización en métodos y técnicas para el estudio de los suelos afectados por incendios forestales. Cátedra de Divulgación de la Ciencia-FUEGORED, Valencia. 521 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. Cátedra de Divulgación de la Ciencia-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. Cátedra Divulgació de la Ciència - FUEGORED. Universitat de València. Valencia. Pp.: 43-83.
- 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. Cátedra Divulgació de la Ciència - FUEGORED. Universitat de València. Valencia. Pp.: 185-241.
- Covington, W.W. y Sackett, S.S. 1986. Effect of periodic burning on soil Nitrogen concentrations in ponderosa pine. *Soil Science Society of America Journal*, 50, 452-457.
- DeBano, L.F., Savage, S.M. y Hamilton, D.A. 1976. The transfer of heat and hydrophobic substances during burning. *Soil Science Society of America Journal*, 40, 779-782.
- 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. Cátedra Divulgació de la Ciència - FUEGORED. Universitat de València. Valencia. Pp.: 465-497.
- Doerr, S.H. y Shakesby, R.A. 2009. Soil water repellency. Principles, causes and relevance in fire-affected environments. 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. Pp.: 57-75.
- 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. Cátedra Divulgació de la Ciència - FUEGORED. Universitat de València. Valencia. Pp.: 327-347.
- González-Vila, F.J. y Almendros G. 2004. Thermal transformation of soil organic matter by natural fires and laboratory-controlled heatings. En: *Natural and Laboratory-simulated Thermal Geochemical Processes*. Kluwer Academic Publishers, pp. 153-200.
- 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.
- Grady, K. y Hart, S.C. 2006. Influences of thinning, prescribed burning, and wildfire on soil processes and properties in southwestern ponderosa pine forests: A retrospective study. *Forest Ecology and Management*, 234, 123-135.
- 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.: 259-287.
- 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.: 145-183.
- Kilgore, B.M. 1981. Fire in ecosystem distribution and structure: western forests and scrublands. En: H. Mooney, T.M. Bonnicksen, N.L. Christensen, J.E. Lotan y W.A. Reiners (Eds.), Fire Regimes and Ecosystems Properties, Proceedings of the Conference. United States Department of Agriculture, Forest Service. General Technical Report WO-26. Washington DC. Pp.: 58-69.
- Mataix-Solera, J. y Guerrero, C. 2007. Efectos de los incendios forestales en las propiedades edáficas. J. Mataix-Solera (Ed.), Incendios Forestales, Suelos y Erosión Hídrica. Caja Mediterráneo, CEMACAM Font Roja-Alcoi, Alicante.
- Mataix-Solera, J., Guerrero, C., García-Orenes, F., Bárcenas, G.M. y Torres, M.P. 2009. Forest fire effects on soil microbiology. En: A. Cerdà y P.R. Robichaud (Eds.), Fire effects on soils and restoration strategies. Vol 5. Land reconstruction and management. Science Publishers. New Hampshire. Pp.: 133-175.
- 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 Badia, 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.: 109-143.
- 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.
- Neary, D.G., Ryan, Kevin, C. y DeBano, L.F. 2005. Wildland fire in ecosystems: effects of fire on soils and water. United States Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station. General Technical Report RMRS-GTR-42-vol.4. Ogden, UT.
- Pankhurst, C., Doube, B.M. y Gupta, V.V.S.R. 1998. Biological Indicators of Soil Health. CAB International. Wallingford.
- 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.: 349-401.
- 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.: 405-417.

- Pitman, R.M. 2006. Wood ash use in forestry – a review of the environmental impacts. *Forestry*, 79, 563-588.
- Ruiz-Gallardo, J.R. 2010. ¿Dónde está la inconexión? *FLAMMA*, 6-7.
- Terefe, T., Mariscal-Sancho, I., Peregrina, F. y Espejo, R. 2008. Influence of heating on various properties of six Mediterranean soils. A laboratory study. *Geoderma*, 143, 273-280.
- Woods, S.W. y Balfour, V.N. 2008. The effect of ash on runoff and erosion after a severe forest wildfire, Montana, USA. *International Journal of Wildland Fire*, 17, 535-548.
- Zavala, L.M., Jordán, A., Gil, J., Bellinfante, N. y Pain, C. 2009. Intact ash and charred litter reduces susceptibility to rainsplash erosion post-wildfire. *Earth Surface Processes and Landforms*, 34, 1522-1532.

