

Comportamiento hidrogeomorfológico tras incendios forestales en escenarios semiáridos

León J. *

Departamento de Geografía y Ordenación del Territorio, Universidad de Zaragoza, España

*e-mail: fjavierlmiranda@gmail.com

1. Introducción

Los incendios forestales desajustan las relaciones entre los diferentes componentes de las comunidades donde irrumpen, iniciándose a su vez, una serie de reajustes que principalmente son de tipo hidro-geomorfológico y bio-edáfico. Por ello, es importante conocer las características topográficas, litológicas, edáficas, vegetales y climáticas del medio afectado por un incendio forestal. A partir de las interrelaciones que surgen entre esos elementos citados y que van a influir en la dinámica posterior al incendio, ésta se puede modelizar e implementar en un SIG (Sistema de Información Geográfica). De esta forma, se nos plantean dos tipos de hipótesis:

- Hipótesis de carácter metodológico: el tratamiento *'upscaling'* sobre escenarios afectados por incendios forestales, mediante el uso y la combinación de diferentes herramientas geográficas (teledetección, SIG, trabajo experimental) constituye la aproximación idónea para el análisis de las consecuencias del fuego sobre algunos parámetros ambientales, tales como el suelo, la vegetación y procesos ligados a ellos, como la producción de flujo y sedimento, cambios mineralógicos, etc.
- Hipótesis de contenidos: el efecto del calor provocado por los incendios forestales en ambientes semiáridos, en los que la fragilidad de los suelos y de la vegetación está acompañada por procesos hidrogeomorfológicos intensos, constituye un factor ambiental que ralentiza la recuperación del ecosistema, desencadenando en ocasiones procesos irreversibles, tales como la erosión del suelo. Ahora bien, la presencia de determinados factores ambientales tales como la exposición topográfica (laderas de orientación norte) generan condiciones ambientales favorables a la recuperación post-fuego.

2. Objetivos

El objetivo general del proyecto es determinar el grado de alteración provocado por el fuego en los balances ambientales habituales en ecosistemas semiáridos y determinar el tiempo necesario para su recuperación tras un incendio forestal.

Además este proyecto presenta unos objetivos específicos, que suponen un avance en las investigaciones de las consecuencias de los incendios mediante:

- La realización de trabajos experimentales con infiltrómetros, simuladores de lluvia y parcelas experimentales para analizar la susceptibilidad del suelo a la erosión y el papel de la vegetación en ese proceso erosivo. Se ha analizado el comportamiento hidrogeomorfológico, producción de flujo y sedimento, en relación con otros factores ambientales y en escenarios diversos post-fuego.
- El análisis de las propiedades edáficas del suelo que han sido modificadas por el incendio y que pueden condicionar la dinámica de los procesos de erosión tras el fuego.
- Comprobar el papel de alguna medida de restauración habitual, como el acolchado mediante astillas, en el comportamiento hidro-geomorfológico mediante ejercicios de simulación de lluvia.
- La elaboración de un modelo cartográfico a escala local de la capacidad de alteración del fuego en la estructura edáfica y en las formaciones vegetales, a partir de datos de satélite, un modelo digital del terreno (MDT) y otras informaciones consideradas en el contexto de un Sistema de Información Geográfica (SIG) específico, capaz de facilitar la integración de todas estas variables.

Este conjunto de objetivos requieren un tratamiento '*upscaling*'. Es decir, un estudio de la respuesta bio e hidro-geomorfológica desde una escala de detalle y analizando a medio plazo los diferentes escenarios afectados por el fuego, con el propósito de extraer una serie de diagnósticos que validen los resultados del modelo cartográfico obtenido en paralelo. Para finalizar el estudio, se analiza la evolución temporal de las medidas correctoras y de restauración aplicadas a toda la extensión de una zona afectada por un incendio forestal.

3. Área de estudio

Este proyecto se aborda desde una perspectiva geográfica donde el dominio forestal de los Montes de Castejón (Zaragoza) está relacionado con su capacidad de reconstrucción tras el fuego, a partir de un número específico de elementos ambientales interrelacionados y de su posterior modelización espacial. En el proyecto se seleccionan dos áreas experimentales, correspondientes a los incendios de Castejón de Valdejasa-Zuera, en agosto de 2008, que abarca una extensión de 2800 ha, y por otro lado, al incendio de Remolinos-Tauste, en agosto de 2009, que abarcó 6800 ha.

La vegetación característica del incendio de Castejón-Zuera estaba formada por

un bosque mixto de *Pinus halepensis* Mill y *Quercus coccifera* L., acompañado de matorral formado por *Brachypodium phoenicoides* L., *B. retusum* Pers., *Juniperus oxycedrus* L., *Lonicera etrusca* G., *Genista scorpius* L., *Helianthemum marifolium* Mill, *Osyris alba* L., *Pistacea lentiscus* L., *Rhamnus lyciodes* L. subsp. *lyciodes*, *Rosmarinus officinalis* L., mientras que en el incendio de Remolinos-Tauste, se caracterizaba por ser un área de matorral, cuyas principales especies dominantes eran *Genista scorpius* L., *Retama sphaerocarpa* L., *Rosmarinus officinalis* L., *Gypsophila struthium* Willk subsp. *hispanica*, *Ononis tridentata* L., y *Quercus coccifera* L. y algunos parches en los que aparece *Pinus halepensis* Mill. y *Quercus ilex* L. subsp. *ilex*.

El clima es Mediterráneo continental, con una media anual de lluvia de 450 mm con una variación de temperatura de -7.1° C a 36.5° C. Las unidades geomorfológicas (200 y 748 msnm) son plataformas carbonatadas y formaciones evaporíticas del terciario y vales, es decir, valles de fondo plano. Respecto a los suelos, tenemos por un lado, los suelos calizos, cuyo material parenteral es *Rendzic Phaeozem* con textura franco arcillosa, clasificada con horizontes Ah. Y por otro lado, tenemos suelos yesíferos, cuyo material parenteral es *Haplic Gypsisols* (IUSS, 2007), con textura franca y clasificada con horizontes Ah (Badía *et al.*, 2013).

4. Material y métodos

Se decidió la instalación de una serie de parcelas-test y se abordó el estudio experimental de una serie de parámetros e indicadores, relacionados con el objetivo de la tesis. A continuación se detallan las fases del trabajo realizado:

- Recopilación bibliografía relacionada con el tema de los incendios forestales y sus consecuencias ambientales.
- Recorrido detallado por el área incendiada para identificar áreas-test sobre las que llevar a cabo el trabajo experimental.
- Utilización y tratamiento de imágenes de satélite y ortoimágenes, para la delimitación y la zonificación del incendio en función de su severidad.
- Instalación de transectos de vegetación para el análisis evolutivo de la regeneración vegetal, según una serie de parámetros tales como pendiente, exposición, segmento de ladera y severidad del fuego.
- Campañas de recogida de muestras de suelos, correspondientes a diferentes escenarios quemados (quemado con cenizas, quemado con cenizas y acículas, quemado con musgo y control) y su posterior análisis de laboratorio, con el objetivo de evaluar los cambios físicos y químicos como consecuencia del fuego.
- Campaña de campo destinada a analizar el comportamiento de la infiltración del agua en el suelo mediante el uso de un infiltrómetro. Previamente se seleccionaron los escenarios espaciales para llevar a cabo el trabajo (quemado con cenizas, quemado con cenizas y acículas, quemado con musgo y control, contando además con la pendiente, exposición y micro topografía del terreno).

- Campañas de simulaciones de lluvia para evaluar los efectos hidrogeológicos sobre litologías calizas, en ambas situaciones (quemado y no quemado) y aplicando tratamientos de acolchado.

5. Resultados publicados

Los resultados obtenidos procedentes de las dos áreas experimentales (incendios de 2008 y 2009) y bajo tipos de suelos diferentes (yesosos y calcáreos) localizadas en los Montes de Castejón, quedan recogidos en las siguientes publicaciones:

1. J. León, M.T. Echeverría, D. Badía, C. Martí, C. Álvarez, 2013. Effectiveness of wood chips cover at reducing erosion in two contrasted burnt soils. *Zeitschrift für Geomorphologie*, Supplementary Issues, 57, 27–37.

Este estudio se llevó a cabo sobre suelos yesosos y calcáreos del noreste de España, afectados por un incendio forestal en 2009. Los resultados muestran que los suelos yesosos tenían una elevada tasa de escorrentía y producción de sedimentos comparado con los suelos calcáreos. Además, con la aplicación de un acolchado de astillas extraídas de la madera quemada, se comprobó una reducción de la tasa de escorrentía y de la producción de sedimento en ambos tipos de suelos. Se midió el efecto de la hidrofobicidad de estos suelos por efecto del calor emitido durante el incendio, siendo especialmente notorio en los suelos calcáreos.

2. J. León, M.B. Bodí, A. Cerdà, D. Badía, 2013. The contrasted response of ash to wetting: the effects of ash type, thickness and rainfall events. *Geoderma*, 209–210, 143–152.

Este artículo analiza el papel llevado a cabo por:

- 1.- El tipo de ceniza (negras o blancas).
- 2.- El espesor de las cenizas (5, 15 y 30 mm).
- 3.- La variación temporal (0, 15 y 40 días) durante tres eventos de lluvia simulada (55 mm durante 1 h), sobre una parcela de simulación de lluvia de 0.25 m².

Los resultados mostraron que los suelos cubiertos con cenizas blancas duplicaron la tasa de escorrentía de aquellos suelos que se encontraban cubiertos por cenizas negras. Por lo general, la tasa de escorrentía disminuyó con el aumento del espesor de las cenizas y también con el número de eventos tras el incendio pero solo en las parcelas cubiertas por cenizas blancas. El tiempo de encharcamiento y el factor de disminución de la infiltración están correlacionados positivamente con el espesor de las cenizas, mientras que el valor de infiltración inicial y el valor de infiltración constante con el número de eventos de lluvia.

3. J. León, M. Seeger, D. Badía, P. Peters, M. T. Echeverría. 2014. Thermal shock and splash effects on burned gypseous soils from the Ebro basin (NE Spain). *Solid Earth*, 5, 131–140.

En este artículo se analizan los efectos en las propiedades físicas y químicas, los cambios mineralógicos y la susceptibilidad a la erosión por ‘*splash*’, de someter a diferentes temperaturas (35°, 105° y 205° C) dos tipos de suelos (*Leptic Gypsisol* (LP) y *Haplic Gypsisol* (GY))a . Los resultados muestran que los suelos LP tenían menor contenido en material orgánica y estabilidad de agregados que los suelos GY. Los principales minerales observados en el suelo LP fueron el yeso y la dolomita (>80 %), mientras que el yeso, la dolomita, la calcita y el cuarzo presentaban similares proporciones en los suelos GY. Los minerales arcillosos (caolinita e ilita) eran escasos en ambos suelos. El calentamiento a 105° C no tuvo efectos en la mineralogía de ambos suelos. Mientras que el calentamiento a 205° C transformó el yeso a basanita, incrementando significativamente la salinidad de ambos suelos (LP y GY) y disminuyendo el pH, solo en los suelos GY. A pesar de las diferencias en el contenido en materia orgánica y estabilidad estructural, ambos suelos no mostraron diferencias significativas ($P < 0.01$) en las tasas de erosión por efecto de la salpicadura o ‘*splash*’. El tamaño de los poros se redujo con el incremento de la temperatura, como se mostró en las variaciones en la capacidad de retención del agua en el suelo.

4. J. León, A. Cerdá, M. Seeger, D. Badía, 2014. Applications of rainfall simulators to study areas affected by forest fires. *FLAMMA*, 5 (3), 116-120, 2014. ISSN 2171 - 665X.

En este artículo se comparan los resultados obtenidos a partir de tres modelos de simulación de lluvia en tres experimentos: sobre suelos afectados por incendios forestales, en campo y en laboratorio. Se obtuvo que el acolchado de astillas aplicado sobre suelos afectados por incendios forestales reduce la erosión, además, tras someter el suelo a un aumento de temperatura provoca un incremento de la erosión por ‘*splash*’. El espesor de cenizas que cubre un suelo afectado por un incendio forestal contribuye a reducir la tasa escorrentía y la pérdida de suelo tras las primeras lluvias.

5. J. León, M.T. Echeverría, D. Martin, D. Badía, 2013. Tools for assessing areas affected by forest fires. *FLAMMA*, 4 (3), 132-138, 2013. ISSN 2171 - 665X.

Este artículo presenta una herramienta de modelización cartográfica (con imágenes de satélite Landsat TM, información del suelo, las formaciones vegetales y los usos del suelo) para evaluar y localizar tratamientos de protección y rehabilitación tras incendios forestales. A partir de esta información se modeliza la vulnerabi-

lidad edáfica de un ecosistema afectado por un incendio forestal. Además, el modelo permite evaluar la respuesta temporal de los tratamientos de rehabilitación implementados en el área incendiada. Este modelo se testa en el incendio de Formile (Boulder, CO; USA) en septiembre de 2010, donde se realizaron una serie de intervenciones de rehabilitación forestal con prácticas de aero-acolchado (con paja y astillado) durante dos años en aquellas zonas donde la severidad del fuego en el suelo fue mayor. Los resultados obtenidos con el modelo fueron satisfactorios, pero estos están supeditados a la calidad y la resolución de las capas de información incorporadas al modelo.

6. J. León, M.T. Echeverría, C. Martí, D. Badía, 2014. Can ash control infiltration rate after burning? An example in burned calcareous and gypseous soils in the Ebro basin (NE Spain). *Catena*, in press.

Se realizaron un total de 24 infiltraciones (2 tipos de suelo x 2 tratamientos x 6 replicas), para determinar los efectos de la protección ejercida por una capa de cenizas sobre el suelo en la tasa de infiltración, mediante una infiltrómetro de anillo sencillo. Los resultados mostraron que la tasa de infiltración final fue mayor sobre suelos calcáreos que sobre los yesosos. Además, la capa de cenizas que cubre el suelo temporalmente reduce la densidad aparente y aumenta la infiltración, para los suelos calcáreos afectados por un incendio.

6. Conclusiones

Se han realizado una serie de experimentos con simuladores de lluvia sobre suelos contrastados, de los que se concluye: i) el uso de astillas de madera da lugar a una clara reducción de las pérdidas de suelo, ii) la temperatura (200 ° C) aumenta la erosión por salpicadura y iii) la ceniza puede proteger el suelo contra la erosión y la pérdida de los recursos hídricos. Este trabajo destaca la importancia de conocer las características de la lluvia natural para comparar los resultados y el desarrollo de la medición y experimentos precisos.

Los suelos yesosos presentan valores más altos de escorrentía y producción de sedimentos que los calcáreos. La aplicación de acolchado en ambos tipos de suelo después de un incendio forestal reduce las tasas de escorrentía, por lo tanto, el acolchado es muy eficaz. Los resultados de este tipo de aplicación han de ser tomadas en cuenta a la hora de llevar a cabo rehabilitaciones sobre ecosistemas afectados por incendios, especialmente en ecosistemas frágiles como los localizados en entornos semiáridos y con suelos poco desarrollados. Además, en la medida de las posibilidades económicas, es aconsejable realizar un acolchado junto con semillado (adaptado a las condiciones edafo-climáticas de la zona incendiada), para mejorar la estabilización del suelo.

El Modelo de Vulnerabilidad Edáfica es una herramienta útil, sencilla y comple-

mentaria del Índice de Severidad del fuego en el Suelo, que ofrece mayor información y, usando alta resolución espacial, permite obtener cartografía de alto detalle. Los resultados para esta zona son muy realistas, pese a la resolución espacial (30 m), y su verificación en campo da buen resultado. Por ello, es una herramienta recomendable para programar medidas correctoras y rehabilitar áreas afectadas por incendios forestales.

Datos de la tesis

Premio Universitario de la SECF 2014 a la mejor tesis doctoral cuyo contenido esta relacionado con temas forestales, titulada “*Comportamiento hidrogeomorfológico tras incendios forestales en escenarios semiáridos*”.

Directores: María Teresa Echeverría Arnedo y Dabid Badía Villas.

Departamento de Geografía y Ordenación del Territorio. Univer. de Zaragoza.

Departamento de Ciencias Agrarias y del Medio Natural. Univer. de Zaragoza.

Centro: Universidad de Zaragoza.

Fecha de defensa: 04 de Julio de 2014

Publicaciones derivadas de la tesis doctoral

León, J., Echeverría, M.T., Badía, D., Martí, C., Álvarez, C., 2013. Effectiveness of wood chips cover at reducing erosion in two contrasted burnt soils. *Zeitschrift für Geomorphologie, Supplementary Issues*, 57, 27–37.

León, J., Bodí, M.B., Cerdà, A., Badía, D., 2013. The contrasted response of ash to wetting: the effects of ash type, thickness and rainfall events. *Geoderma*, 209–210, 143–152.

León, J., Seeger, M., Badía, D., Peters, P., Echeverría, M. T., 2014. Thermal shock and splash effects on burned gypseous soils from the Ebro basin (NE Spain). *Solid Earth*, 5, 131–140.

León, J., Cerdá, A., Seeger, M., Badía, D., 2014. Applications of rainfall simulators to study areas affected by forest fires. *FLAMMA*, 5 (3), 116-120, 2014. ISSN 2171 - 665X.

León, J., Echeverría, M.T., Martín, D., Badía, D., 2013. Tools for assessing areas affected by forest fires. *FLAMMA*, 4 (3), 132-138, 2013. ISSN 2171 - 665X.

León, J., Echeverría, M.T., Martí, C., Badía, D., 2014. Can ash control infiltration rate after burning? An example in burned calcareous and gypseous soils in the Ebro basin (NE Spain). *Catena*, in press.

