

Presentación

Los incendios forestales constituyen uno de los mayores riesgos para la pervivencia del medio natural y de los ecosistemas. Sus efectos nocivos no sólo se dejan sentir sobre la superficie vegetal directamente quemada, sino que alcanzan de forma directa e indirecta muchos otros elementos ambientales, culturales y paisajísticos; e incluso llegan a afectar a infraestructuras de gran importancia ambiental, social y económica. La principal consecuencia ambiental directa de un incendio forestal es la destrucción de la biota y, en ocasiones, del suelo subyacente sobre el que se desarrolla. Pero el efecto del incendio no se detiene ahí, de forma casi inmediata se extiende sobre otros compartimentos de la biosfera, en especial la atmósfera y las aguas superficiales y subterráneas.

Es indudable la influencia de los incendios forestales sobre los recursos hídricos, por ello numerosos grupos de trabajo han tratado de cuantificar cómo la quema de masas forestales afecta a los recursos de agua próximos, con resultados a veces dispares. No obstante, ha quedado claro que los recursos hídricos son vulnerables a los incendios y que, a menudo, sufren las consecuencias negativas de los mismos. Dado que el agua es un recurso básico, tanto para la vida natural como para el desarrollo del ser humano pues afecta tanto al desarrollo de la sociedad como a la actividad agraria e industrial, se hace cada vez más necesario comprender los efectos que los incendios tienen sobre los recursos hídricos y plantear actuaciones encaminadas a paliar los mismos de la mejor manera posible.

El Instituto Geológico y Minero de España (IGME), como Servicio Geológico Nacional y organismo público de investigación de la Administración General del Estado especializado en Ciencias de la Tierra, es consciente de esta situación desde hace tiempo; situación que se ha visto reforzada durante los últimos años porque, a petición de jueces y tribunales, ha tenido que realizar numerosas peritaciones acerca del impacto económico de los incendios forestales desde la perspectiva de las aguas subterráneas afectadas por ellos.

En el marco de los antecedentes expuestos, la presente publicación tiene como objetivo, además de difundir y concienciar acerca de la repercusión de los incendios forestales sobre la calidad y disponibilidad del recurso hídrico subterráneo, poner al día el estado del arte, aportar la experiencia del IGME en este campo y mostrar a los técnicos, científicos y cualquier persona interesada en el tema, la metodología desarrollada en el ámbito de la evaluación económica de los efectos de los incendios sobre los acuíferos con el fin de aportar a la sociedad una visión lo más global posible de esta problemática.

Francisco González Lodeiro
Ex-director del IGME

Agradecimientos

Este libro se ha realizado gracias a la participación y colaboración de un equipo de trabajo perteneciente, fundamentalmente, al Instituto Geológico y Minero de España, pero con la participación también, de otras personas, instituciones y organismos oficiales.

En primer lugar, se desea agradecer al IGME la financiación que ha permitido la ejecución del proyecto de investigación cuyo fruto ha dado lugar a esta publicación y en especial a D^a. Loreto Fernández Ruiz, Jefa del Área de Hidrogeología General y Calidad del Agua en el momento de aprobación del proyecto y la posterior gestación del libro, por su apoyo inicial incondicional, y a D. Juan José Durán Valsero, Director del Departamento de Investigación en Recursos Geológicos, por su impulso entusiasta del trabajo; así como al Servicio de Publicaciones de esta institución y a los revisores que han participado en la corrección y mejora del documento.

Se agradece en particular, a D. Pedro Robledo Ardila, Jefe de la Unidad Territorial del IGME en Baleares, por la búsqueda y selección de la información hidroquímica y las fotografías relacionadas con el incendio de Andratx (Mallorca), a D^a. Silvia Rosado Piqueras, de la Unidad Territorial del IGME en Valencia, por su participación en las labores de toma de muestras y trabajo de campo para el seguimiento del incendio ocurrido en La Vall d'Ebo (Alicante), a D. Miguel Mejías Moreno, Jefe del Área de Hidrogeología Aplicada, por facilitar la realización de medidas en las redes de control de las aguas subterráneas; y a D. Benigno Asensio Nistal, Jefe del Servicio de Publicaciones del IGME, que ha facilitado la edición de este libro.

Respecto a otras instituciones, es necesario agradecer el papel de la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET), por su aportación de las series climáticas de periodicidad diaria del entorno de Vall d'Ebo; y a la Dirección General de Recursos Hídricos de la Consellería de Medio Ambiente y Agricultura del Gobierno de las Islas Baleares por los datos hidroquímicos de la red de control de aguas subterráneas en la zona afectada por el incendio de Andratx (Mallorca).

Finalmente se agradece, a la Subdirección General de Silvicultura y Montes, Dirección General de Desarrollo Rural y Política Forestal del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, el haber facilitado la cartografía de áreas quemadas en formato vectorial; al *Joint Research Center* de la Comisión Europea (*European Forest Fire Information System*, EFFIS) las últimas actualizaciones de esta cartografía; a la Red de Información Ambiental de Andalucía (RE-DIAM), Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio, Junta de Andalucía, la cesión de cartografía histórica de incendios en Andalucía en formato vectorial.

Abstract

This publication summarizes the knowledge we currently have of the harmful effects that wildfires cause on groundwater. It is the result of studies and research carried out by the Area of Hydrogeology and Water Quality, of the IGME Department of Research on Geological Resources. The publication is organized into seven chapters that analyze and cover different aspects involved in this topic.

The book begins with the review and updating of the state-of-the-art of wildfire effects, such as the impact and loss of soil and vegetation in general, and on water resources in particular. In chapter 1, we first analyze the impacts of fire on the soil components, separating the biotic part (vegetation and organisms) from the abiotic. Modifications of physical and chemical properties of the soil are shown in detail. Secondly, the effects on the relevant variables that affect the hydrological cycle (mainly runoff and infiltration) and the effects of the presence of ash on the water quality are also analyzed. The chapter ends with the presentation of a specific example case of fire, the peat bogs, which are often forgotten because they are hidden in the subsoil, as usually happens too with the impact on groundwater.

Through a cartographic analysis of the major wildfires that have occurred in Spain in recent decades, chapter 2 shows their potential impact on groundwater taking into account the geographical position of the wildfires and the limits of the current groundwater bodies in Spain, organized by River Basin Districts. With the implementation of all the information in a GIS, a methodology for assessment the risk of impact of wildfires on groundwater is established. That is the spatial index RAIFAS, which is obtained in a simple way based on two factors: vulnerability of the groundwater bodies and density of vegetation. Finally, the spatial distribution of risk in the Guadalquivir river basin is shown as an example of application of this index.

Chapter 3 addresses one of the most remarkable topics of this publication: the assessment of the economic damage to groundwater. The methodology developed by IGME in 2007, as a consequence of some requests from different Spanish courts, is presented. Steps to be followed are described: calculation of the impact based on four easily obtainable parameters under any circumstance (type of aquifer, position in the river basin, use of groundwater and recharge / discharge area affected by the fire), determination of the groundwater volume affected and the price of the cubic meter of potentially contaminated groundwater. After, the wildfires studied to date with this methodology are presented and, based on their analysis, a first calculation of the economic cost of wildfires in Spain can be known. In a preliminary approach to what effects occur in groundwater after a fire, the real case of Andraitx (Mallorca) analyzed in a report made by IGME, is presented as an example. At the end of the chapter, and as a result of the experience acquired during 10 years of effective application of this method, its improvement (the so-called FIVE method), is proposed and described.

After that, and also as an essential part of the book, chapter 4 shows the study and continued monitoring of a real case of impact of wildfire on groundwater: the fire of Vall d'Ebo (Alicante), one of the most important occurred in Spain in 2015 that came dangerously close to the Pego-Oliva marsh, a natural protected area under both national and international protection figures. This chapter highlights the characterization of the physical environment, calculating the runoff threshold (that

means the minimum precipitation that must fall in the burned area to generate runoff), and the hydrological study, that shows where this runoff is channeled and which aquifers may be affected in its path. The central axis of the chapter is the temporary hydrochemical characterization of groundwater as a tool to calculate the impact of wildfire on its quality. In the established observation network, with pre and post-fire chemical analyzes, an individualized study of the major elements and metals is carried out, observing in detail how the concentration is distributed in space and time. The chapter concludes with the identification of parameters clearly able to detect the impact (magnesium, some metals and pH) and the aquifers that have been affected by the wildfire.

After having analyzed the qualitative aspects of wildfires in detail, chapter 5 focuses on evaluating their quantitative effect on groundwater. It evaluates the variation that occurs on the natural recharge rate to the aquifers by the treatment of hydrogeological data from a specific case, the 1985 wildfire on the karstic aquifer of the Sierra de Lijar (Cádiz province, Southern Spain). Using a mathematical model, the piezometric levels and the recharge of the aquifer are simulated and compared with the values observed before and after the fire.

Chapter 6 provides a panoramic view of the actions that are being carried out by the Spanish Public Administrations. These wide from maps of wildfire risk indexes to hydrological-forest restoration plans. It also presents the contribution of the national scientific community, which basically focuses on the study of soils affected by wildfires, and the recent incorporation of IGME into the new field of quantification of the impact of wildfires on groundwater. As a result of it, this publication has arisen.

The end of the book is completed, as logic, with the presentation of the conclusions drawn from the experience acquired; and a series of general recommendations that aim to be aware of the importance of strengthening this new field of research in the short-term future.

Resumen

La presente publicación recoge de forma resumida el conocimiento que se tiene actualmente de los efectos nocivos que los incendios forestales causan a las aguas subterráneas. Es fruto de los estudios e investigaciones llevados a cabo por el IGME a través del Departamento de Investigación en Recursos Geológicos y su Área de Hidrogeología General y Calidad del Agua. La publicación se organiza en siete capítulos que analizan y recorren distintos aspectos implicados en esta temática.

El libro comienza con la revisión y puesta al día del estado del arte de los efectos que provoca un incendio forestal, como la afección y pérdida de suelo y vegetación en general, y su afección sobre los recursos hídricos en particular. En el capítulo 1 se analizan en primer lugar, los impactos del fuego sobre los componentes del suelo, separando la parte biótica (vegetación y organismos), de la abiótica, donde se indican detalladamente las modificaciones que sufren las propiedades físicas y químicas del suelo. En segundo lugar, se analizan también los efectos sobre las variables que intervienen en el ciclo hidrológico (principalmente sobre la escorrentía y la infiltración) y los efectos de la presencia de las cenizas sobre la calidad del agua. El capítulo finaliza con la presentación de un caso de incendio muy particular, las turberas, que a menudo quedan olvidadas al estar ocultas en el subsuelo, al igual que sucede con la afectación a las aguas subterráneas.

Mediante un análisis cartográfico de los grandes incendios forestales ocurridos en España en las últimas décadas, en el capítulo 2 se presenta la potencial afección a las aguas subterráneas teniendo en cuenta la posición geográfica de los incendios forestales estudiados y la delimitación de las actuales masas de agua subterránea en España, organizadas por demarcaciones hidrográficas. Con la implementación de toda la información en un SIG, se establece una metodología para la evaluación del riesgo de afección de los incendios forestales a las aguas subterráneas, el índice espacial RAIFAS, que se obtiene de forma sencilla a partir de dos factores, la vulnerabilidad de las masas de agua subterránea y la densidad de la vegetación. Finalmente, se muestra como ejemplo de aplicación del índice, la distribución espacial del riesgo en la cuenca hidrográfica del Guadalquivir.

En el capítulo 3 se aborda uno de los aspectos más destacables de la publicación, la evaluación del daño económico a las aguas subterráneas. La metodología desarrollada por el IGME en el año 2007, inducida por las peticiones recibidas desde los tribunales, se presenta describiendo los pasos a seguir: determinación del impacto en función de cuatro parámetros de fácil obtención en cualquier situación (tipo de acuífero, posición en la cuenca hidrográfica, uso del agua subterránea y área de recarga/descarga afectada por el incendio), determinación del volumen de agua subterránea afectado y precio del metro cúbico del agua potencialmente contaminada. A continuación, se presentan los incendios forestales valorados hasta la fecha con esta metodología y, de su análisis, se desprende una primera valoración del coste económico de los incendios forestales en España. En una aproximación preliminar a la cuestión de qué efecto se produce en las aguas subterráneas tras un incendio, se presenta como ejemplo el caso real de Andraitx (Mallorca) y el informe de valoración emitido en su momento. Como final del capítulo, y como resultado de la experiencia adquirida en los 10 años de aplicación efectiva del método, se propone y se describe una mejora del mismo, el denominado método FIVE.

A continuación, formando también parte esencial del libro, en el capítulo 4 se detalla el estudio y seguimiento continuado de un caso real de afección del fuego a las aguas subterráneas: el incendio de la Vall d'Ebo (Alicante), uno de los más importantes ocurridos en España en el año 2015 y que se aproximó peligrosamente al marjal de Pego-Oliva, un espacio natural con diversas figuras de protección nacionales e internacionales. En este capítulo destaca la caracterización de medio físico, con el establecimiento del umbral de escurrimiento que define la precipitación mínima que debe caer en la zona quemada para generar escurrimiento; y el estudio hidrológico que determina hacia donde se encauza esa escurrimiento y qué acuíferos pueden verse afectados a su paso. El eje central del capítulo es la caracterización hidroquímica temporal de las aguas subterráneas como herramienta para detectar los efectos del incendio sobre su calidad. En la red de observación establecida, con los análisis químicos pre y post-incendio, se realiza un estudio individualizado de los elementos mayoritarios y metales, observándose detalladamente cómo se distribuye la concentración en el espacio-tiempo. El capítulo concluye con la identificación de los parámetros claramente indicadores de afección destacada (magnesio, algunos metales y pH) y los acuíferos que se han visto afectados.

Analizados en detalle los aspectos cualitativos de los incendios forestales, el capítulo 5 se centra en evaluar su efecto cuantitativo. Se evalúa la variación que se produce sobre la tasa de recarga natural a los acuíferos a través del tratamiento de datos de recarga y piezométricos en un caso concreto, el incendio ocurrido en 1985 en el acuífero de la Sierra de Lijar (Cádiz). Mediante el empleo de un modelo matemático se simulan los niveles piezométricos y la tasa de recarga del acuífero, comparando los valores observados antes y después del incendio.

El capítulo 6 aporta una visión panorámica de las actuaciones que se llevan a cabo por parte de las Administraciones Públicas. Estos van desde los mapas de índices del riesgo de incendio forestal a los planes de restauración hidrológico-forestal. Presenta también la aportación de la comunidad científica nacional, que se centra básicamente en el estudio de los suelos afectados por los incendios forestales, y la reciente incorporación del IGME en el ámbito nuevo de cuantificación de los efectos de los incendios forestales sobre las aguas subterráneas, fruto del cual surge esta publicación.

El final del libro se completa, como no puede ser de otro modo, con la presentación de las conclusiones extraídas de la experiencia adquirida en la realización de los trabajos; y una serie de recomendaciones de carácter general que pretenden llamar la atención sobre la importancia de potenciar en el futuro inmediato este nuevo campo de investigación.