

ANÁLISIS PRELIMINAR DE LA AFECCIÓN DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS CAUSADA POR EL INCENDIO FORESTAL DE LAS PEÑUELAS. DOÑANA 2017

N. Fernández de los Santos⁽¹⁾, N. García Bravo⁽²⁾, R. Morales García⁽²⁾, J.J. Durán Valsero⁽²⁾, A.N. Martínez Sánchez de la Nieta⁽¹⁾, L. Moreno Merino⁽²⁾, C. Mediavilla Laso⁽¹⁾

(1) Instituto Geológico y Minero de España. Oficina Territorial de Sevilla. Plaza de España -Torre Norte s/n. 41013 Sevilla, España. n.fernandez@igme.es, a.martinez@igme.es, c.medivilla@igme.es

(2) Instituto Geológico y Minero de España. C/Ríos Rosas 23. 28003 Madrid, España. n.garcia@igme.es, r.morales@igme.es, jj.duran@igme.es, l.moreno@igme.es

RESUMEN

Los incendios forestales pueden llegar a producir grandes perturbaciones ambientales sobre los ecosistemas y el medio hídrico que los alimenta, llegando a provocar, en ocasiones, graves alteraciones en la calidad de los mismos. Los resultados que aquí se presentan constituyen una primera aproximación a la investigación que el IGME está llevando a cabo en el Espacio Natural de Doñana (END) con el fin de identificar las posibles alteraciones que podrían producirse en la composición química de las aguas subterráneas como consecuencia del incendio forestal de Las Peñuelas, ocurrido en Moguer (Huelva) en junio de 2017. Con este objetivo, se estableció, con carácter urgente, una red de seguimiento hidroquímico constituida por 21 puntos de muestreo, algunos de ellos con datos químicos históricos. La red está integrada por pozos, sondeos, manantiales y lagunas, ubicados dentro y fuera del perímetro del incendio, en los que se han realizado campañas mensuales de toma de muestras de aguas superficiales y subterráneas durante un año. Los primeros resultados ponen de manifiesto que se produce un aumento progresivo del pH *in situ*, desde el inicio del muestreo hasta el mes de octubre, cuando comienzan las primeras lluvias y se alcanzan los valores máximos, para luego decrecer y estabilizarse hacia los valores iniciales en, aproximadamente, dos meses. Se detectan también ciertas variaciones temporales en la composición química de las aguas subterráneas analizadas, entre las que destaca el contenido en Mg, especialmente en los puntos de control del Médano del Loro y la Laguna de las Madres, donde se alcanzan valores de hasta 52 mg/L.

Palabras clave: incendio forestal, caracterización hidroquímica, aguas subterráneas, Doñana.

1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

Los incendios forestales pueden afectar de forma muy diversa al suelo sobre el que se desarrollan, y, en consecuencia, también a los acuíferos subyacentes. En primer lugar, puede originarse una capa impermeable de pocos centímetros de espesor debido a la volatilización de componentes orgánicos, lo que puede implicar una menor tasa de infiltración). Por otro lado, la química del medio hídrico subterráneo puede verse afectado debido a la percolación resultante de la lixiviación de cenizas tras el comienzo de la época de lluvias. Las principales modificaciones que pueden producirse en un acuífero tras la ignición son incrementos de pH y de la concentración cationes como Ca²⁺, K⁺, Mg²⁺, Na⁺ y P (Iglesias, M.T., 1993).

En la actualidad, el Departamento de Investigación en Recursos Geológicos del Instituto Geológico y Minero de España, está desarrollando el proyecto “Incendios forestales y aguas subterráneas. Análisis y evaluación del impacto en un marco de adaptación hacia el cambio global”, donde aborda el estudio del efecto de los incendios forestales sobre las aguas subterráneas de cara a establecer las medidas preventivas que sean necesarias para mitigar sus efectos nocivos (Morales, R., 2018). En el proyecto se realiza un seguimiento analítico periódico en dos casos reales: el incendio de La Vall d’Ebo (Alicante) de mayo de 2015 y el de Las Peñuelas (Huelva), de junio de 2017.

Con el fin de identificar el grado de afectación al acuífero por parte del incendio forestal de Las Peñuelas, ocurrido en el entorno e interior del Parque Natural de Doñana, se determinaron con carácter de urgencia una serie de medidas específicas de actuación, que tenían como objetivo hacer un seguimiento de los valores de temperatura, pH, conductividad, potencial redox (ORP), así como de calidad general y metales. Estos parámetros tienen una estrecha relación con la infiltración de las cenizas al acuífero, de forma que, aunque no sea de manera excluyente, su estudio permitiría caracterizar los procesos derivados en el caso de que la infiltración de las cenizas llegase a ocurrir tras los períodos de lluvias. Para ello, se implementó una red de muestreo hidroquímico, constituida por 21 puntos ubicados dentro y fuera del perímetro del incendio, donde se han realizado campañas mensuales de toma de muestras de aguas superficiales y subterráneas durante un año.

El objetivo principal de este trabajo, es realizar una primera aproximación al estado general del acuífero tras el comienzo del período de lluvias después del incendio, determinar si existe afección a las aguas subterráneas y, en su caso, de qué tipo es y cómo afecta a la composición de las aguas subterráneas, determinando qué parámetros varían o aumentan su concentración en las aguas subterráneas.

2. LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA Y MARCO HIDROGEOLÓGICO

El incendio declarado el pasado 24 de junio de 2017 en el paraje de las Peñuelas (término municipal de Moguer, Huelva), afectó a un total de 10.339,97 hectáreas, siendo 7.387,48 de estas pertenecientes al Parque Natural de Doñana. Los puntos de estudio se sitúan dentro y fuera del perímetro del incendio (Figura 1), entre los municipios de Mazagón, Moguer y Matalascañas, situados al noroeste del Parque Nacional de Doñana.

Desde el punto de vista administrativo, el área estudiada se enmarca dentro del Sistema Acuífero Almonte-Marismas en la Masa de Agua Subterránea (MASb) 05.51.04 denominada “Manto Eólico Litoral de Doñana”, y la MASb 06.51.05 denominada “La Rocina”, en el ámbito de la Demarcación Hidrográfica del Guadalquivir, y en la MASb 030.595 denominada “Condado”, en el ámbito de la Demarcación Hidrográfica del Tinto-Odiel-Piedras.

En líneas generales, los materiales acuíferos que afloran principalmente en la superficie de la zona de estudio son arenas de origen eólico, de la denominada *Formación Abalarío*, que constituyen parte del denominado Manto Eólico Litoral. Estas arenas, de grano fino-medio, constituyen una unidad sedimentaria muy uniforme que actúa como un acuífero libre, con una potencia máxima de 153 m en la zona de Matalascañas, que se acuña progresivamente hacia el norte y el oeste (Salvany *et al.*, 2010), llegando a ser de 50 m en la zona de Mazagón. Por debajo de la *Formación Abalarío*, se encuentran unos niveles más groseros de origen aluvial, pertenecientes a la *Formación Arenas y Gravas de Almonte*, que forman una capa de espesor continuo de unos 20 m. Este cuerpo sedimentario se localiza por encima de la *Formación Arenas de Huelva*, constituida por niveles de arena margosa con abundantes fósiles, que en ocasiones se encuentra bien cementada, y que actúa como base del acuífero.

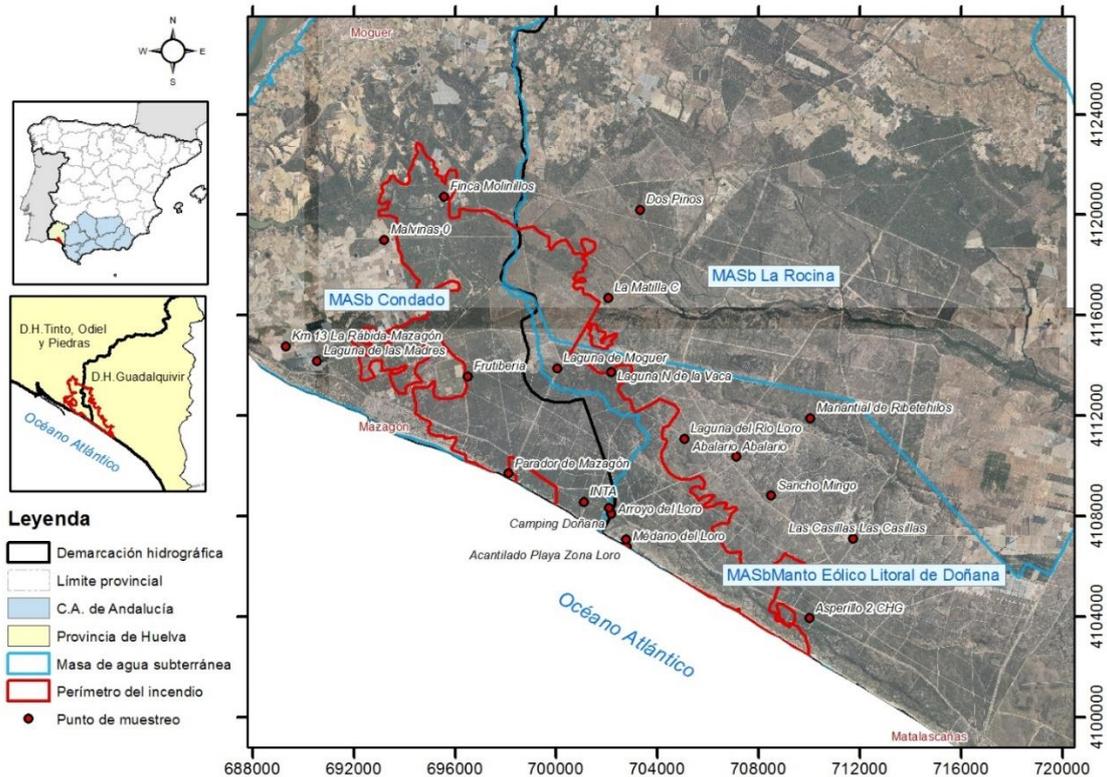


Figura 1. Localización del incendio de Las Peñuelas y situación de la red de control de calidad

3. METODOLOGÍA

Inmediatamente después del incendio, se estableció una red de control de calidad química para la toma de muestras de agua subterránea. Los criterios a considerar para la selección de los puntos de la red, dadas las características hidrogeológicas del espacio afectado (Figura 2), fueron: a) la profundidad del pozo y la posición del nivel freático respecto a la superficie, de manera que se verifique que la captación se encuentra en el acuífero superficial del Manto Eólico Litoral; b) su ubicación respecto al sentido general del flujo subterráneo y a la divisoria de aguas existente, pues la circulación del agua subterránea se produce hacia dos vertientes hidrográficas diferentes; y c) la existencia de analíticas previas que permitan realizar una comparación con los valores hidroquímicos previos al incendio. En base a estos criterios, se consultó la base de datos de puntos de agua del IGME obteniéndose un primer listado de puntos y analíticas históricas. No obstante, durante el reconocimiento del terreno se verificó que muchos de los puntos que cumplían con estas características habían desaparecido, por lo que fue necesario modificar la selección previa sobre el terreno. Finalmente, la red de muestreo quedó constituida por 21 puntos de aguas superficiales y subterráneas (Figura 1), algunos de los cuales disponen de datos históricos de calidad general, integrando así pozos y sondeos ubicados dentro y fuera del perímetro del incendio.

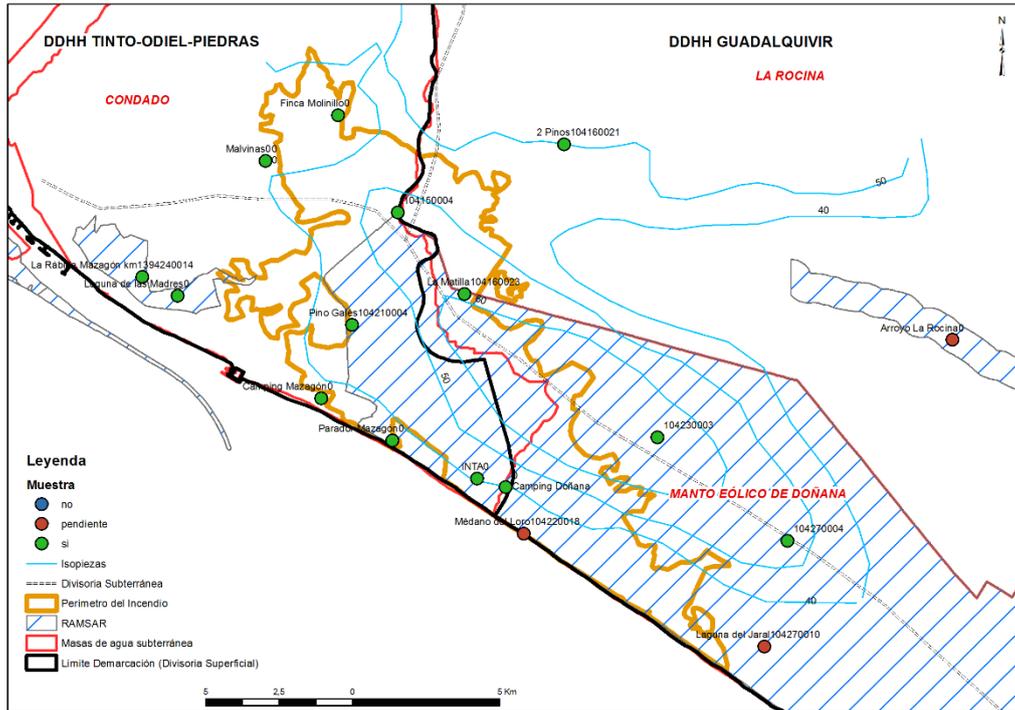


Figura 2. Proceso de selección de los puntos de la red de control y características hidrogeológicas

La primera campaña de toma de muestras se realizó en julio de 2017, repitiéndose el muestreo posteriormente con periodicidad mensual (salvo en el mes de enero que no se realizó muestreo), y la última se completó en agosto de 2018, de manera que se consiguió un monitoreo continuo del acuífero durante un año.

En cada campaña de muestreo y cada punto de control se determinaron *in situ* los parámetros de temperatura, pH, conductividad, y potencial redox. Posteriormente, se tomaron muestras de agua para su análisis en el laboratorio de aguas del IGME, determinando así la concentración de los elementos mayoritarios y metales.

Con los resultados obtenidos, se realizan gráficos temporales de evolución del contenido en cada elemento. A partir de estos gráficos se detectaron los valores extremos, la concentración media y la tendencia. Posteriormente se realizaron mapas mensuales de isoconcentración de cada componente, mediante el programa ARCGIS 10. Este estudio se centra en analizar de forma general la evolución de los parámetros químicos mencionados anteriormente, en el área de estudio afectada por el incendio. Para ello, se han revisado las analíticas de laboratorio disponibles hasta el momento (julio de 2017-junio de 2018), detectando posibles anomalías químicas y relacionándolas con los períodos de pluviometría, teniendo en cuenta analíticas históricas de las que se disponía en algunos casos.

4. PRIMEROS RESULTADOS

Se comprueba que las muestras analizadas siguen la misma tendencia en cuanto a la evolución del pH *in situ*, de manera que se producen incrementos de pH desde los días posteriores al incendio hasta alcanzar valores máximos hacia el mes de octubre (excepto en el caso de la Laguna de las Madres), cuando comienzan a caer las primeras lluvias, para luego descender y estabilizarse en los valores iniciales del muestreo en aproximadamente dos meses (Figura 3). Estos incrementos en el pH se producen al tiempo que se dan algunos cambios en las concentraciones de Mg^{2+} , Ca^{2+} , Na^+ y K^+ . Teniendo en consideración que la única fuente de recarga al acuífero en

el Parque Natural de Doñana es la infiltración de la lluvia que cae sobre las arenas (Manzano *et al.*, 2017), los primeros resultados parecen indicar que la evolución hidroquímica de las aguas analizadas es diferente en función de la masa de agua en que se encuentren los puntos muestreados. Las principales anomalías se concentran en la MASb 05.05.04 *Manto Eólico Litoral de Doñana*, en los puntos Las Casillas, Abalarío, Médano del Loro, mientras que la MASb 030.595 *Condado* no se ve prácticamente afectada, salvo en el punto Laguna de las Madres. Las características de estos puntos se presentan en la tabla 1.

NIPA	Toponimia	Coord X	Coord Y	Tipo	Profundidad (m)	Prof.Nivel _{max} (m)	Prof. nivel _{min} (m)
104270004	Las Casillas	178317	4110408	Pozo	3,78	4	3
104230003	Abalarío	173821	4114158	Pozo	7,65	5	4
104220018	Médano del Loro	169196	4111922	Sondeo	22	13	13
104160023	La Matilla	169325	4120754	Sondeo	22	2	3
	Laguna de las Madres	158544	4119548	Laguna			

Tabla 1. Descripción de los puntos que presentan anomalías químicas significativas. Los datos de profundidad se han extraído de la Base de Datos de Aguas del IGME, mientras que los indicados como Prof.Nivel se refieren a las profundidades máximas y mínimas que ha alcanzado el nivel piezométrico en esos puntos desde julio de 2017 a junio de 2018. Las coordenadas son UTM y están referidas al sistema de proyección cartográfica European Datum 50, Huso 29

Los valores de pH medidos *in situ* sufren en toda la zona de estudio, salvo excepciones, un incremento notable, desde julio de 2017 hasta los meses de octubre-noviembre, con la aparición del período de lluvias. De entre todos los puntos analizados, se ha representado esta evolución en los puntos de Abalarío, Las Casillas, Médano del Loro y Laguna de las Madres (Figura 3), que experimentan también excepcionales incrementos de Mg²⁺.

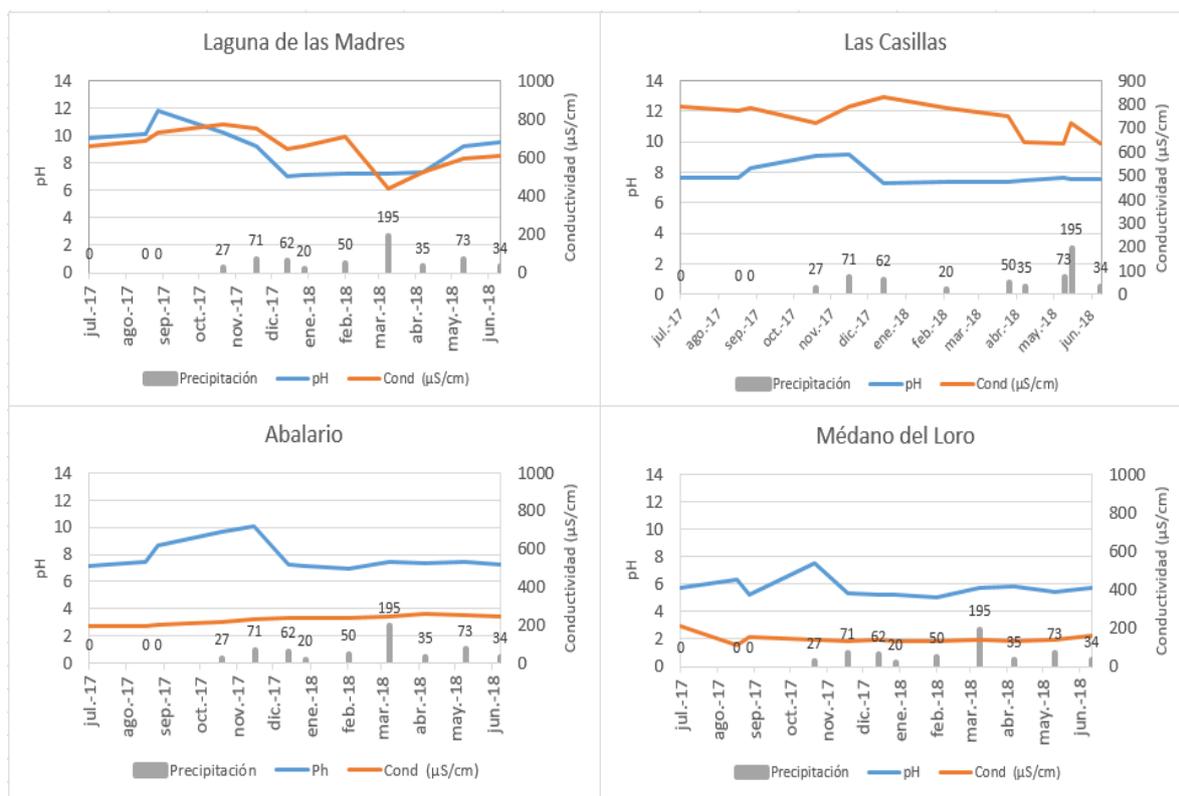


Figura 3. Evolución de los valores de pH *in situ* en función de la pluviometría, en la que puede observarse el incremento del pH en función de la pluviometría, a excepción de la Laguna de las Madres

Las muestras de agua superficial de la Laguna de las Madres, sobre las que caían directamente las cenizas, se vuelven más básicas inmediatamente después la extinción del incendio. En septiembre se alcanza un pH máximo de 12 unidades, para ir disminuyendo progresivamente hasta el final de la campaña, al tiempo que los valores se

van incrementando en las muestras de aguas subterráneas localizadas hacia el NE (Abalarío y Casillas), y disminuyendo en el área central afectada por el incendio, en la divisoria de aguas de las vertientes que fluyen hacia el Atlántico y el Arroyo de la Rocina. En Abalarío y Las Casillas, la evolución temporal de PH en estos dos puntos es prácticamente idéntica (Figura 3). En ellos se observan valores iniciales de pH de 7 (igual que los indicados en las analíticas históricas del año 1966), que aumentan progresivamente a medida que aparecen las primeras lluvias, alcanzando los máximos valores en noviembre de 2017, cuando alcanzan las 10 unidades. Por último, los valores de pH en las muestras de agua subterránea del Médano del Loro, se incrementan hasta alcanzar las 7 unidades hacia octubre de 2017, y comienzan a disminuir a partir de noviembre de 2017, sufriendo ligeras variaciones en función de la intensidad pluviométrica (Figura 3).

Espacialmente, el pH in situ se representa en la figura 4, donde puede observarse la evolución cronológica, desde la extinción del incendio (julio de 2017) hasta el final de la campaña. En septiembre de 2017, y de forma general en toda la zona de estudio, aumentan los valores de pH, alcanzándose los valores máximos generalizados en el mes de octubre de 2017, tras las primeras lluvias importantes, con incrementos superiores a una unidad de pH. Hacia el mes de noviembre de 2017 el manto acuífero recupera los valores originalmente ácidos de pH, salvo en las zonas extremas del Abalarío y la laguna de Las Madres. En febrero se detectan los valores de pH más ácidos del período, y en abril de 2018 se recupera la situación de acidez inicial.

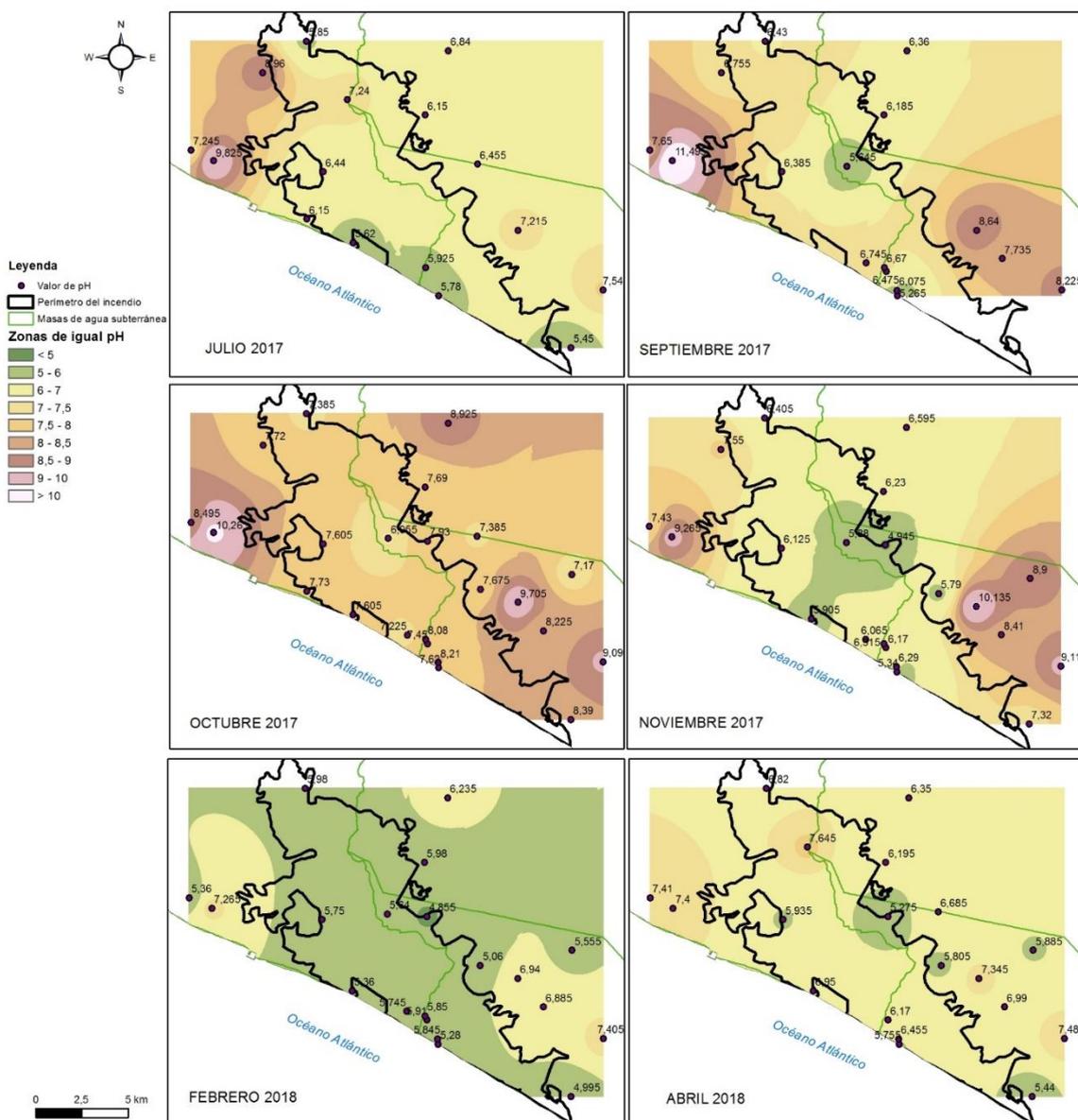


Figura 4. Evolución espacio temporal de la concentración de pH in situ en la zona de estudio

De los elementos analizados, destaca la distribución espacial del contenido en Mg^{2+} y su evolución en el tiempo (Figura 5). Las muestras de las primeras campañas presentan contenidos en Mg de entre 1 y 20 mg/L aproximadamente, presentando las concentraciones más elevadas en la zona vertiente a la laguna de las Madres, al NO de la zona estudiada, fuera de los límites del terreno quemado pero en el sentido de la escorrentía superficial y subterránea. Estos valores se van incrementando hasta marzo de 2018, cuando se alcanzan en este punto las concentraciones máximas que llegan a los 52 mg/L. En la zona del Médano del Loro, Abalarío y las Casillas (al NE de la zona del incendio), se observa un incremento progresivo hasta llegar a alcanzar un máximo de 52 mg/L en el mes de noviembre de 2017, para posteriormente disminuir progresivamente su concentración. Ya en abril de 2018, el conjunto de muestras vuelve a tomar, en general, valores entre 1 y 20 mg/L, y la concentración de la laguna de las Madres se reduce, trasladándose el máximo de concentración de Mg más al oeste. Aumenta la concentración ligeramente respecto al mes anterior en las muestras tomadas en las cotas altas próximas a la divisoria que separa la escorrentía vertiente al Atlántico y la vertiente al Arroyo de la Rocina.

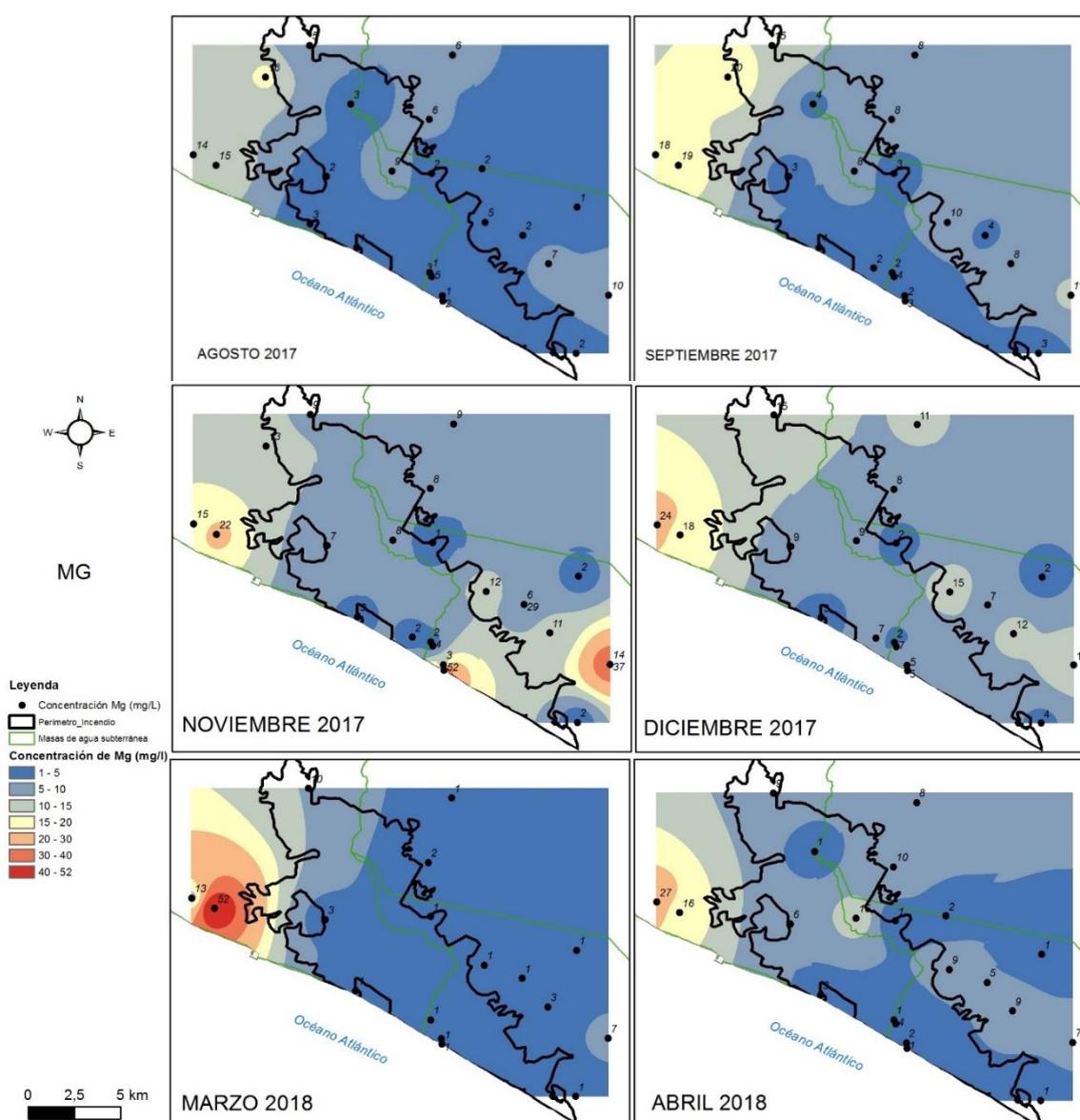


Figura 5. Evolución espacio temporal de la concentración de Mg^{2+} en la zona de estudio

5. CONCLUSIONES

En todo el área de estudio se han detectado variaciones composicionales que permiten afirmar que el incendio de Doñana ha tenido un impacto sobre el medio hídrico que lo alimenta. Hasta el momento, los lugares donde se han encontrado las mayores afecciones al acuífero son Abalario, Las Casillas, Médano del Loro y la Laguna de las Madres. En los casos del Abalario y Las Casillas, se trata de pozos de poca profundidad en los que el agua está más expuesta a las condiciones ambientales, por lo que puede interpretarse que los cambios en los parámetros y la composición química pueden ser más acusados. Lo mismo ocurre en la Laguna de las Madres, donde los incrementos del pH y de la concentración de los cationes de Mg^{2+} se van produciendo a lo largo de toda la campaña. En este punto, además, estos valores podrían estar influenciados por el incendio ocurrido en la Turbera de las Madres, asociada al cauce del Arroyo Madre del Avitor, que seguía en ignición en el mes de noviembre de 2017; o por la fuerte antropización en forma de invernaderos y fincas de cultivo que se localizan en el entorno de la laguna. En el Médano del Loro (punto muy afectado por el incendio en el que apenas se producen variaciones del nivel piezométrico) los incrementos de Ph *in situ* y la anomalía del incremento de la concentración de Mg^{2+} , sí podría atribuirse a procesos de lixiviación de las cenizas depositadas, debido a que, en las analíticas históricas de las que se tiene constancia, el valor máximo de Mg^{2+} alcanzado es cinco veces menor. En todos los casos, para poder discretizar las causas del origen de estos elementos en el agua, sería necesario continuar con muestreos periódicos que aporten información adicional.

Agradecimientos

El presente estudio se desarrolla en el ámbito de la investigación que el Departamento de Investigación en Recursos Geológicos del Instituto Geológico y Minero de España, en el marco del proyecto “Incendios forestales y aguas subterráneas. Análisis y evaluación del impacto en un marco de adaptación hacia el cambio global”, que este Organismo desarrolla a nivel nacional con la participación de la Oficina de Proyectos de Sevilla. Los autores agradecen el interés y la cooperación de la Guardería del Parque Nacional de Doñana, dependiente de la Junta de Andalucía, que ha sido determinante para poder llevar a cabo el trabajo de campo y las tareas de muestreo.

REFERENCIAS

- Custodio, E., Manzano, M. y Montes, C. (2009). Las aguas subterráneas en Doñana: aspectos ecológicos y sociales. Agencia Andaluza del Agua, Sevilla, 243 p.
- Fernández, R., Sousa, A., García, P. (2007): Lagunas de las madres, Huelva. Flora y Vegetación. Junta de Andalucía, Sevilla, 278, p.
- Iglesias, M.T. (1993). Efectos de los incendios forestales sobre las propiedades del suelo en un pinar de repoblación (*Pinus Pinaster*), en Arenas de San Pedro (Ávila). Tesis doctoral Univ. Complutense de Madrid, 332p.
- Manzano, M., Custodio, E. (2007). Las aguas subterráneas en Doñana y su valor ecológico. Enseñanza de las Ciencias de la Tierra, (15.3): 305-316.
- Morales, R. (Editora) 2018. Incendios forestales y aguas subterráneas. Un análisis de los efectos ambientales y económicos sobre los acuíferos. Publicaciones del Instituto Geológico y Minero de España. Serie Hidrogeología y Aguas Subterráneas, nº 35. IGME, Madrid.

Salvany, J.M., Mediavilla, C. y Rebollo, A. (2010): Las formaciones Plio-Cuaternarias de El Abalario, en el litoral de la provincia de Huelva (España). *Estudios Geológicos*, 66(2): 209-225.