

# UN EFECTO DE LA SEQUÍA

# El hundimiento de la Vega de Granada

ROSA MARÍA MATEOS<sup>1</sup>, PABLO EZQUERRO<sup>2</sup>, JUAN ANTONIO LUQUE-ESPINAR<sup>1</sup>, MARTA BÉJAR-PIZARRO<sup>2</sup>, DAVIDE NOTTI<sup>3</sup>, JOSÉ MIGUEL AZAÑÓN<sup>3</sup>, ORIOL MONTSERRAT<sup>4</sup>, GERARDO HERRERA<sup>2</sup>, FRANCISCA FERNÁNDEZ-CHACÓN<sup>1</sup>, TOMÁS PEINADO<sup>1</sup>, JORGE PEDRO GALVE<sup>3</sup>, VICENTE PÉREZ-PEÑA<sup>3</sup>, JOSE ANTONIO FERNÁNDEZ-MERODO<sup>2</sup> Y JORGE JIMÉNEZ<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Instituto Geológico y Minero de España. Granada

<sup>2</sup> Instituto Geológico y Minero de España. Madrid

<sup>3</sup> Departamento de Geodinámica. Universidad de Granada

<sup>4</sup> Instituto Tecnológico de Telecomunicaciones de Cataluña. Barcelona

Los satélites, que orbitan la tierra a cientos de kilómetros, llevan años vigilando el planeta y suministrando información sobre procesos geológicos lo suficientemente rápidos como para ser abarcados por la escala temporal humana. Muchos de estos procesos inducen pequeños cambios en el relieve que parecían indetectables hasta la llegada de las técnicas de interferometría radar de alta resolución (DInSAR). Estas técnicas permiten detectar deformaciones milimétricas del terreno siempre y cuando el satélite mantenga constante su trayectoria y los puntos de control tengan una situación y orientación adecuada. La técnica se basa en el análisis y comparación de los tiempos de rebote de una onda electromagnética emitida desde el satélite y que impacta en un punto del terreno, que actúa como reflector, cada vez que el satélite visita la misma zona. Un potencial desfase de esta onda, cuya longitud de onda es centimétrica, permite detectar acercamientos y/o alejamientos del terreno al satélite.

Además de su extremada resolución, otra de las grandes ventajas de esta técnica es que permite brindar

un amplio seguimiento a lo largo del tiempo sobre vastas extensiones de terreno.

La técnica DInSAR (abreviatura en inglés de Interferometría Radar Satélite), ha sido ampliamente utilizada para controlar procesos de subsidencia o hundimiento en muchas zonas del mundo. En especial, se ha utilizado en zonas agrícolas con una intensa y prolongada explotación de las aguas subterráneas, que genera riesgos asociados por subsidencia del terreno. Entre los casos más conocidos y también más extremos de estas deformaciones

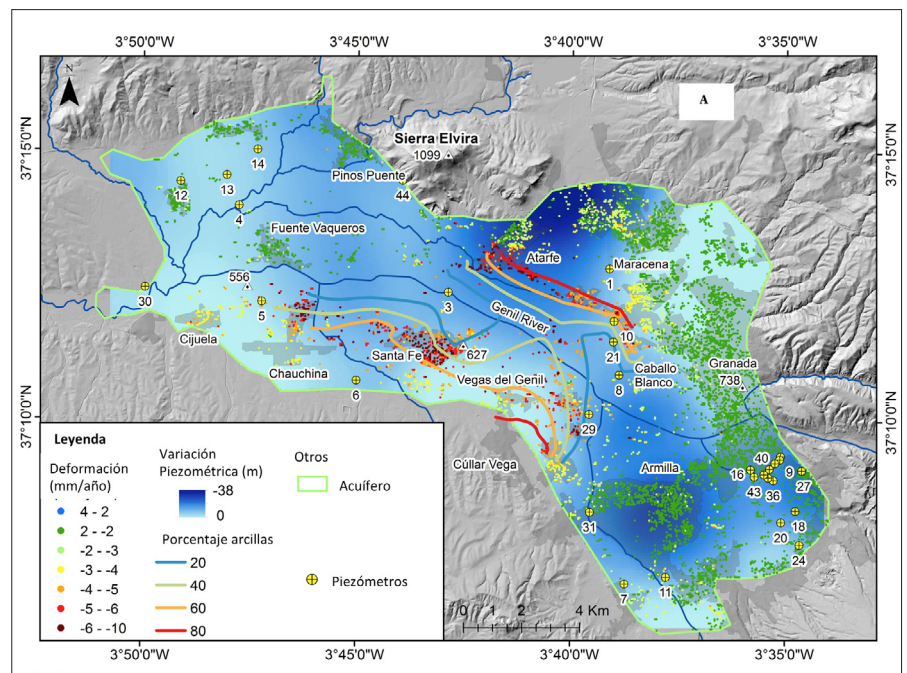


Fig. 1. Mapa de la Vega de Granada durante el periodo 2003-2009. Se representan en azul las zonas con mayor explotación del acuífero, los puntos obtenidos con el satélite ENVISAT con los valores de la deformación del terreno, y las líneas donde se localizan las zonas con mayor contenido en arcillas. Se observan focos de subsidencia al norte de Chauchina, Santa Fe, Vegas del Genil, Atarfe y sur de Maracena. Se recomienda consultar la versión digital.

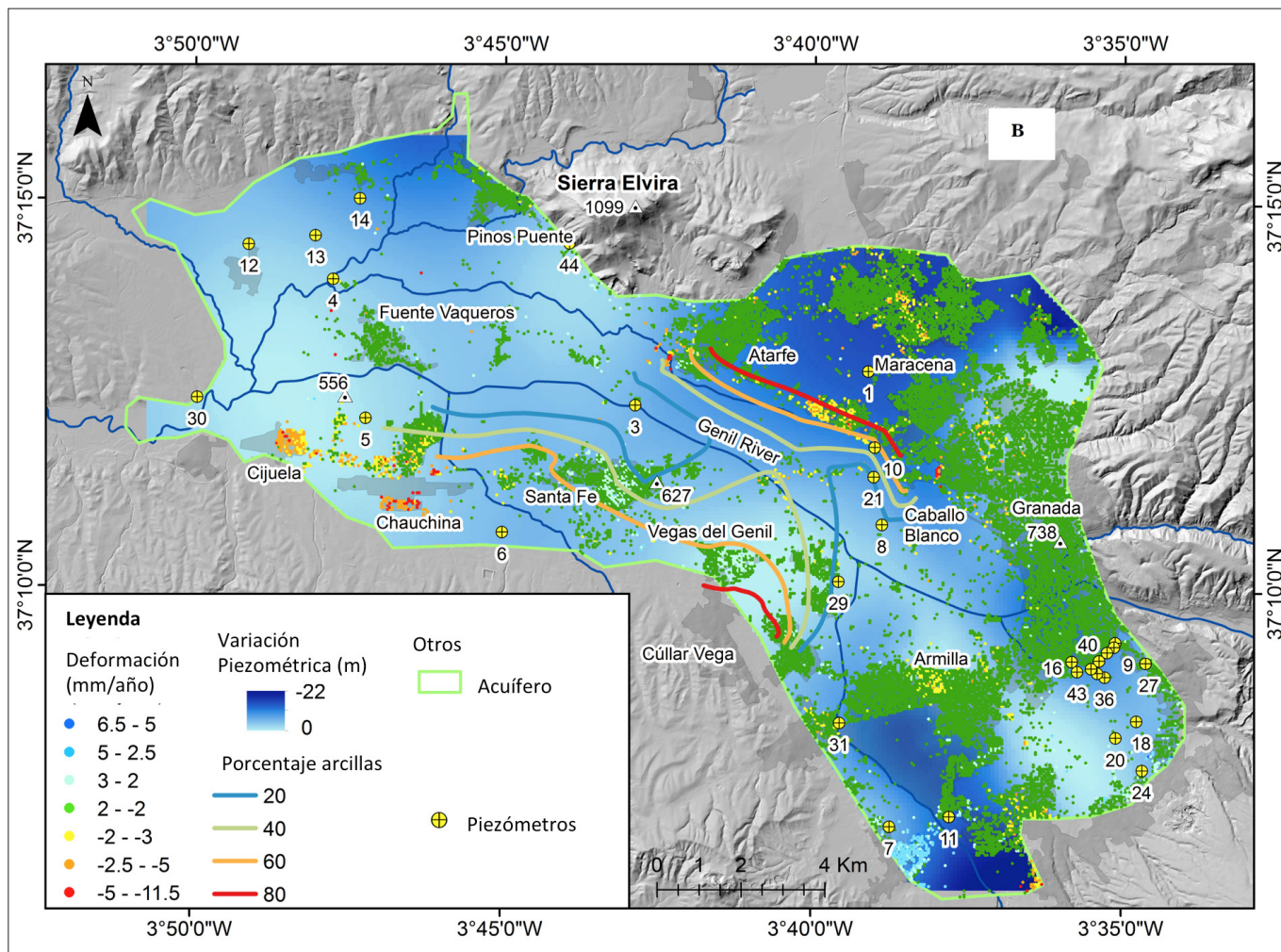


Fig. 2. Mapa de la Vega de Granada durante el periodo lluvioso 2011-2014. Se representan en azul las zonas con mayor explotación del acuífero, así como los puntos obtenidos con el satélite COSMO Sky-Med con los valores de la deformación del terreno, y las líneas donde se localizan las zonas con mayor contenido en arcillas. Se observan focos de subsidencia en el entorno de aeropuerto y en Cijuela, relacionados con obras de movimientos de tierras. Se recomienda consultar la versión digital.

frente a la disminución de la presión de agua en el poro. La litología controla pues los principales focos de hundimiento.

El estudio ha permitido monitorizar las variaciones del terreno (elevaciones y hundimientos) en la Vega de Granada desde el año 2003 hasta la actualidad. Para ello se han procesado imágenes rádar de tres satélites diferentes:

- ENVISAT, de la Agencia Espacial Europea. Periodo 2003-2009
- COSMO-SkyMed, de la Agencia Espacial Italiana. Periodo 2011-2014
- SENTINEL, de la Agencia Espacial Europea. Periodo 2015-2016

Un novedoso tratamiento de alta resolución de estas imágenes ha permitido cuantificar los movimientos que ha sufrido el terreno de la Vega de Granada a escala milimétrica y conocer cómo evolucionan las deformaciones a lo largo del tiempo.

están los de la Depresión de la Ciudad de Méjico, que se ha hundido hasta 8 metros entre 1925 y 1977. Otro ejemplo significativo es la Hoya de Bogotá, que se hunde en la actualidad con tasas de entre 6,6 y 7,5 cm/año. Aunque la causa de este hundimiento es bien conocida y está íntimamente relacionada con la extracción de agua y la consecuente compactación del terreno, son muchos los interrogantes que aún persisten sobre los detalles del proceso. El terreno se compacta como consecuencia de la disminución de la presión de agua en los poros del suelo pero no todos los suelos responden por igual. Cabe destacar que las deformaciones que se inducen son significativas y pueden resultar críticas cuando tie-

nen un carácter diferencial, ya que pueden provocar patologías severas en edificaciones e infraestructuras viales.

El satélite suministra los datos sobre las áreas con mayores hundimientos que, en principio, deberían corresponder con las zonas donde se produce una explotación más intensiva del acuífero. Sin embargo, según refleja un estudio conjunto entre el Instituto Geológico y Minero de España (IGME) y la Universidad de Granada (UGR), las áreas de mayor subsidencia no siempre coinciden con las de mayor extracción de agua. En esta investigación se demuestra que las características físico-mecánicas del suelo, su espesor y su distribución en profundidad condicionan su comportamiento

En paralelo, se ha analizado la explotación del acuífero de la Vega de Granada durante los últimos 13 años, conociendo dónde se han producido los mayores focos de explotación, a partir de los descensos o subidas del nivel freático en el acuífero. Adicionalmente, el estudio incluye un reconocimiento geológico del terreno mediante la interpretación de sondeos realizados en la Vega de Granada desde la década de los 70.

Los resultados ponen de manifiesto que durante el periodo seco 2003-2009, el acuífero fue explotado con mayor intensidad en la zona de Armilla, Atarfe, Chauchina y Santa Fe, lo que generó hundimientos del terreno de hasta 1 cm/año en zonas localizadas al norte de Chauchina, núcleo urbano de Santa Fe, al este de Vegas del Genil, así como en Atarfe y sur de Maracena. Curiosamente estas zonas coinciden con una mayor presencia de suelos de grano fino (arcillas y arcillas limosas) en el subsuelo, que se compactan durante las bajadas del nivel freático (Mateos et al., 2017).

Durante el periodo más lluvioso 2011-2014, los focos de subsidencia anteriores desaparecen, aunque se detectan hundimientos importantes (casi 13 mm/año) en el entorno del aeropuerto y en el núcleo urbano de Cijuela, debido a obras que conllevaron movimientos de tierras en ambas zonas. Durante los años más recientes (2015-2016), tan solo se detectan pequeños núcleos de subsidencia al noreste de Maracena, de origen desconocido. Una conclusión importante del estudio es que las deformaciones no se recuperan durante los años lluviosos; el comportamiento del terreno es inelástico, y los hundimientos se van acumulando.

Se han detectado pequeñas grietas y patologías en vías públicas, asociadas a la subsidencia diferencial, en las proximidades de la localidad de Otura, al S de la Vega de Granada. En esta localidad, que posee un campo de golf y varios pozos para su riego, se llegan a detectar hundimientos medios de 1,5 cm/año, durante los años más secos (Notti et al., 2016).

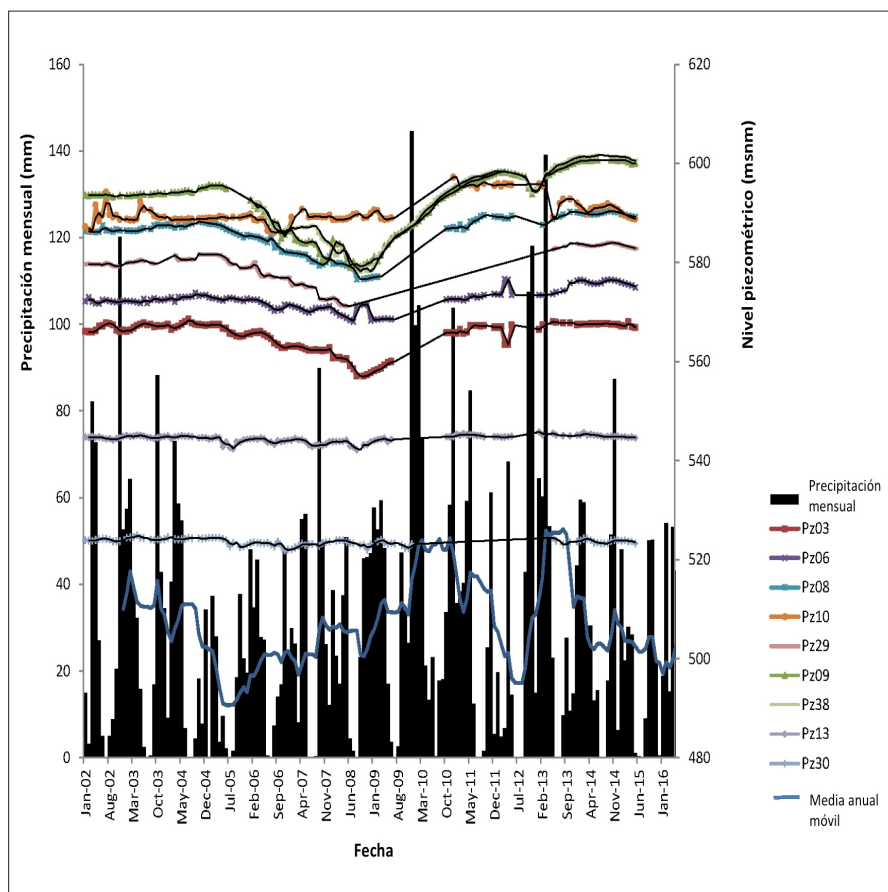


Fig. 3. Lluvias acontecidas durante los últimos 13 años en la Vega de Granada. Se representan las variaciones del nivel freático del acuífero en algunos pozos seleccionados. Se observa una bajada considerable entre los años 2005-2009 que coinciden con las mayores extensiones de la subsidencia detectada. Los niveles se recuperan con las lluvias que comienzan a finales de 2009.

Aunque los datos de subsidencia obtenidos no son alarmantes, y no implican riesgo alguno por el momento, sí son de enorme interés para una gestión adecuada del acuífero, especialmente durante los periodos de sequía, como el que nos encontramos en la actualidad. En zonas muy vulnerables, con elevados contenidos en arcillas, bajadas de tan solo un par de metros del ni-

vel freático pueden generar hundimientos del terreno que, de acumularse, pueden suponer subsidencias de varios centímetros a la década y representar un peligro a largo plazo para los núcleos urbanos asentados en la Vega de Granada. ●

#### Bibliografía

Mateos, R.M., Ezquerro, P., Luque-Espinar, J.A., Béjar-Pizarro, M., Notti, D., Azañón, J.M., Montserrat, O., Herrera, G., Fernández-Chacón, F., Peinado, T., Galve, J.P., Pérez-Peña, V., Fernández-Merodo, J.A. y Jiménez, J. (2017). Multiband PSInSAR and long-period monitoring of land subsidence in a strategic detrital aquifer (Vega de Granada, SE Spain): An approach to support management decisions. *Journal of Hydrology*, 553, 71-87.

Notti, D., Mateos, R.M., Montserrat, O., Devanthery, N., Peinado, T., Roldán, F.J., Fernández-Chacón, F., Galve, J.P., Lamas, F. y Azañón, J.M. (2016). Lithological control of land subsidence induced by groundwater withdrawal in new urban AREAS (Granada Basin, SE Spain). *Multiband DInSAR monitoring. Hydrological Processes*, 30 (13), 2317-2331.