

# USO DE GPS PARA LA MODELIZACIÓN 3D DEL CAMPO DE DEFORMACIONES EN ÁREAS SOMETIDAS A EXTRACCIÓN DE AGUA. APLICACIÓN A LA CUENTA DEL ALTO GUADALENTÍN (MURCIA, ESPAÑA)

Prieto, Juan F.<sup>1\*</sup>; Fernández, José<sup>2</sup>; Pérez, Enrique<sup>3</sup>; Abajo, Tamara<sup>2</sup>;  
Escayo, Joaquín<sup>2</sup>; Velasco, Jesús<sup>1</sup>; Herrero, Tomás<sup>3</sup>; Camacho, Antonio G.<sup>2</sup>;  
Bru, Guadalupe<sup>2</sup>; Molina, Íñigo<sup>1</sup>; López de Herrera, Juan Carlos<sup>3</sup>;  
Rodríguez-Velasco, Gema<sup>4</sup>; Gómez, Israel<sup>2</sup>; Palano, Mimmo<sup>5</sup>

1) Departamento de Ingeniería Topográfica y Cartografía, Universidad Politécnica de Madrid, Ctra Valencia km 7, 28031, Madrid.

2) Instituto de Geociencias (CSIC-UCM), Plaza de Ciencias 3, 28040, Madrid.

3) Departamento de Ingeniería Agroforestal, Universidad Politécnica de Madrid, Ciudad Universitaria s/n, 28040, Madrid.

4) Universidad Complutense de Madrid, Plaza de Ciencias 3, 28040, Madrid.

5) Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV), Osservatorio Etneo – Sezione di Catania, Catania, Italy.

\*[juanf.prieto@upm.es](mailto:juanf.prieto@upm.es)

## RESUMEN

Las subsidencias del terreno por sobre-explotación de acuíferos afectan áreas extensas de forma global. El Proyecto AQUARISK pretende, a partir de observaciones, modelar este tipo de deformaciones con diferentes técnicas. Estudios recientes utilizando datos radar y técnicas A-DInSAR, (desde 1992 a 2012), revelan que la cuenca del Alto Guadalentín está afectada por las tasas de subsidencia más elevadas en Europa (~10 cm/año) por explotación de acuíferos. Estos estudios no combinan imágenes ascendentes y descendentes, y sólo determinan el desplazamiento en la dirección del satélite (LOS). Se asume que este es básicamente vertical.

Sin embargo, es importante obtener el campo de desplazamiento 3D para realizar una correcta interpretación de las observaciones, así como un modelo de la evolución del acuífero y para considerar futuros planes de manejo sostenible de recursos de aguas subterráneas.

Con estos objetivos se ha definido una red de monitorización GNSS, observada en 2015 y 2016. A pesar del limitado intervalo de tiempo cubierto, los principales resultados han permitido obtener el campo de desplazamiento 3D. Estos resultados, aunque preliminares confirman interpretaciones anteriores, sugiriendo que el establecimiento de redes GNSS representan una valiosa técnica para monitorizar el campo de desplazamiento 3D de áreas sometidas a extracción de aguas subterráneas.

**PALABRAS CLAVE: Modelización 3D, GPS, Subsidiencias del terreno, Explotación de acuíferos.**

## **1. INTRODUCCIÓN**

Las subsidiencias del terreno asociadas a la sobre-explotación de acuíferos representan una amenaza que impacta en áreas extensivas por todo el globo terrestre, y suelen estar relacionadas con la creciente demanda de recursos hídricos debida a la expansión de la actividad humana en áreas metropolitanas y rurales en regiones áridas o semi-áridas. La literatura científica ha venido detectando este tipo de procesos en los cinco continentes. Recientemente se ha demostrado que la zona del Alto Guadalentín (Murcia) está afectada por las mayores tasas de subsidencia detectadas en Europa, como consecuencia de un gran periodo de explotación de su acuífero.

La monitorización de este tipo de subsidiencias se viene realizando con modernas técnicas de Interferometría Radar por Satélite. Estas técnicas ofrecen unas muy altas precisiones, en extensas zonas, de una forma masiva y a muy bajo coste si se comparan con otras técnicas clásicas. El principal problema que tienen estas técnicas radar es que solo ofrecen datos de deformación en la dirección al satélite. Esta deformación se asocia por entero a una subsidencia, despreciando la posible deformación en sentido horizontal que seguro que también existe.

El principal objetivo de esta línea de investigación que presentamos es la de poder utilizar otras técnicas de medida que, con una alta precisión, similar a las técnicas radar, nos proporcione también los desplazamientos horizontales que acompañan a las subsidiencias, a un coste razonable.

## **2. RESULTADOS DE LA LÍNEA DE INVESTIGACIÓN**

Para conseguir estos fines se ha estudiado la zona del Alto Guadalentín, donde ya se tenían resultados de subsidencias obtenidos con técnicas radar. En esta zona se ha definido una red de estaciones de monitorización GPS y se han realizado dos campañas de observación para obtener resultados de la deformación en sus tres componentes espaciales norte, este y elevación. Estas campañas se han realizado en noviembre de 2015 y julio de 2016. Las deformaciones en estas estaciones se han calculado utilizando procesadores científicos de datos GPS, a fin de obtener la máxima precisión posible.

### **2.1. PRODUCTOS**

Como principales productos se ha conseguido determinar las tres componentes de la deformación en 33 estaciones de la zona del Alto Guadalentín, reflejadas en la figura 1 adjunta. Se han estimado asimismo las incertidumbres correspondientes a estas deformaciones, a fin de estimar su grado de significación y fiabilidad. En la figura se han reflejado los resultados del campo espacio temporal de deformaciones, tanto de subsidencias (vertical) como sus correspondientes deformaciones horizontales asociadas.

Los resultados que hemos obtenido, aunque de una forma muy preliminar, confirman las subsidencias estimadas en anteriores estudios radar de la zona, y muestran que el establecimiento de este tipo de redes GPS representan una muy buena técnica para la monitorización del campo de desplazamientos 3D de áreas sujetas a la extracción extensiva de agua.

Para el periodo observado, noviembre 2015 – julio 2016, la subsidencia anual máxima detectada es de 10,8 cm/año ( $\pm 0,9$ ), del mismo orden de magnitud que las observadas mediante radar. Además, se han detectado desplazamientos horizontales anuales para el mismo periodo, con un máximo horizontal de 2,4 cm/año ( $\pm 0,5$ ). Estos modelos de desplazamientos medios anuales se han representado en la figura 1.

Como ya se ha comentado, si bien estos resultados son muy preliminares, muestran que el establecimiento de este tipo de redes GPS representan una muy buena técnica para la monitorización del campo de desplazamientos 3D de áreas sujetas a la extracción extensiva de agua. Tenemos previstas nuevas campañas de recogida de datos GPS en las estaciones de monitorización a lo largo de los próximos meses, que confirmen los resultados obtenidos hasta ahora y puedan validar definitivamente esta línea de investigación.

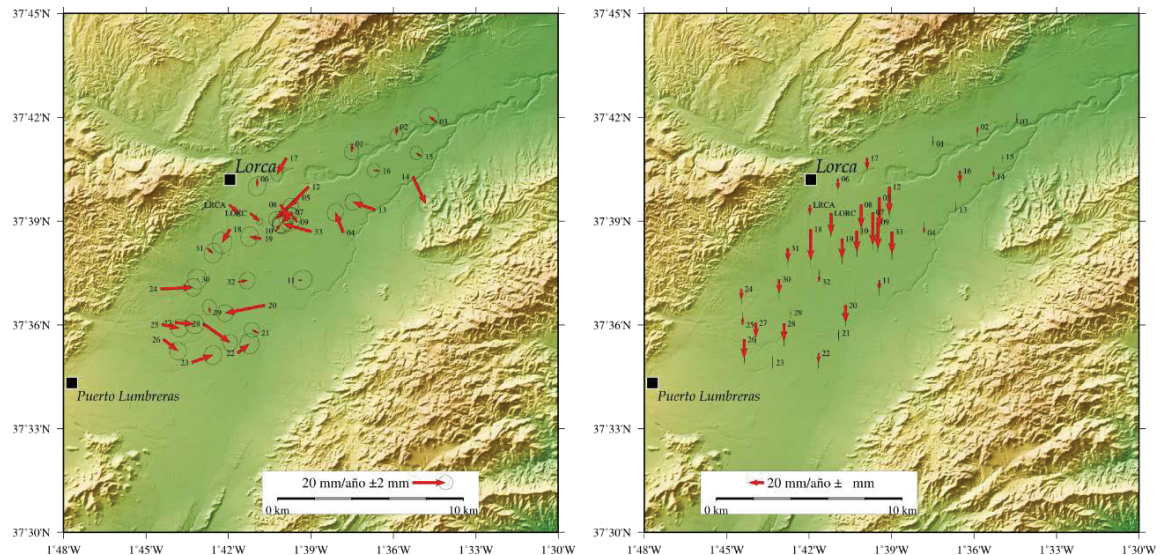


Figura 1. Deformaciones horizontales y subsidencias medias anuales obtenidas con GPS en el valle del Alto Guadalentín, para el periodo noviembre 2015-julio 2016. La figura izquierda muestra el modelo espacio temporal de deformación horizontal. Las flechas rojas indican la magnitud y la dirección de la deformación, con representación de la elipse de incertidumbre en la medición. La figura derecha representa el modelo de subsidencias encontrado. Igualmente, las flechas rojas representan la magnitud de la deformación con inclusión también de la incertidumbre de la medida.

## 2.2. ARTÍCULOS Y PONENCIAS

Algunos resultados preliminares de esta línea de investigación ya han sido presentados en algunos eventos. En concreto se han presentado las siguientes ponencias:

J.F. Prieto, J. Fernández, J.A. Fernández-Merodo, A.G. Camacho, G. Herrera, M. Palano (2015) *Analysis of geological-geotechnical risks due to groundwater exploitation using space and terrestrial techniques: Lorca area (Spain) test case*. Joint Assembly AGU-GAC-MAC- CGU, Montreal, Canada, 3-7 May 2015.

Juan F. Prieto, Jose Fernandez, Mimmo Palano, Tamara Abajo, Enrique Perez, Joaquin Escayo, Jesus Velasco, Tomas Herrero, Antonio G. Camacho, Guadalupe Bru, Inigo Molina, Juan Carlos Lopez de Herrera, Gema RodríguezVelasco, Israel Gomez (2016) *Proyecto AQUARISK: Uso de técnicas GNSS para el estudio de monitorización de acuíferos*. XI Congreso Internacional de Geomática y Ciencias de la Tierra – TOPCART-2016, Toledo, 26-30 octubre 2016.

Juan F. Prieto, Jose Fernandez, Mimmo Palano, Tamara Abajo, Enrique Perez, Joaquin Escayo, Jesus Velasco, Tomas Herrero, Antonio G. Camacho, Guadalupe Bru, Inigo Molina, Juan Carlos Lopez de Herrera, Gema RodríguezVelasco and Israel Gomez (2016) *GNSS 3D displacement field determination in Lorca (Murcia, Spain) subsidence area*. American Geophysical Union AGU Fall Meeting 2016, San Francisco, USA, 12-16 December, 2016.

### 3. EQUIPO INVESTIGADOR

Datos de los miembros del equipo de investigación.

**Juan F. Prieto Morín**

Universidad Politécnica de Madrid  
Dpto. de Ingeniería Topográfica y Cartografía  
Profesor Titular de Universidad

**José Fernández Torres**

Instituto de Geociencias – CSIC-UCM  
Dinámica Terrestre y Observación de la Tierra  
Investigador Científico

**Enrique Pérez Martín**

Universidad Politécnica de Madrid  
Departamento de Ingeniería Agroforestal  
Profesor Asociado

**Tamara Abajo Muñoz**

Instituto de Geociencias – CSIC-UCM  
Dinámica Terrestre y Observación de la Tierra  
Becaria de Investigación

**Joaquín Escayo**

Instituto de Geociencias – CSIC-UCM  
Dinámica Terrestre y Observación de la Tierra  
Becario de Investigación

**Jesús Velasco Gómez**

Universidad Politécnica de Madrid  
Dpto. de Ingeniería Topográfica y Cartografía  
Profesor Titular de Universidad

**Tomás Herrero Tejedor**

Universidad Politécnica de Madrid  
Departamento de Ingeniería Agroforestal  
Profesor Titular de Universidad

**Antonio González Camacho**

Instituto de Geociencias – CSIC-UCM  
Dinámica Terrestre y Observación de la Tierra  
Científico Titular

**Guadalupe Brú**

Instituto de Geociencias – CSIC-UCM  
Dinámica Terrestre y Observación de la Tierra  
Becaria de Investigación

**Íñigo Molina Sánchez**

Universidad Politécnica de Madrid  
Dpto. de Ingeniería Topográfica y Cartografía  
Profesor Titular de Universidad

**Juan Carlos López de Herrera**

Universidad Politécnica de Madrid  
Departamento de Ingeniería Agroforestal  
Profesor Ayudante Doctor

**Gema Rodríguez Velasco**

Universidad Complutense de Madrid  
Departamento de Física de la Tierra,  
Astronomía y Astrofísica I  
Profesora Contratada Doctora

**Israel Gómez Nieto**

Instituto de Geociencias – CSIC-UCM  
Dinámica Terrestre y Observación de la Tierra  
Técnico de Laboratorio

**Mimmo Palano**

Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia  
(Italia)  
Osservatorio Etneo  
Investigador Científico





**Uso de GPS para la modelización 3D del campo de deformaciones en áreas sometidas a extracción de agua. Aplicación a la cuenta del Alto Guadalentín (Murcia, España)**



**Grupo de Investigación GESyP**

Prieto, J. F.; Fernández, J.; Pérez, E.; Abajo, T.; Escayo, J.; Velasco, J.; Herrero, T.; Camacho, A. G.; Bru, G.; Molina, I.; López de Herrera, J. C.; Rodríguez-Velasco, G.; Gómez, I.; Palano, M.

**Resumen**

Las subsidencias del terreno por sobre-explotación de acuíferos afectan áreas extensas de forma global. El Proyecto AQUARISK pretende, a partir de observaciones, modelar este tipo de deformaciones con diferentes técnicas. Estudios recientes utilizando datos radar y técnicas A-DInSAR, (desde 1992 a 2012), revelan que la cuenta del Alto Guadalentín está afectada por las tasas de subsidencia más elevadas en Europa (~10 cm/año) por explotación de acuíferos. Estos estudios no combinan imágenes ascendentes y descendentes, y sólo determinan el desplazamiento en la dirección del satélite (LOS). Se asume que este es básicamente vertical.

Sin embargo, es importante obtener el campo de desplazamiento 3D para realizar una correcta interpretación de las observaciones, así como un modelo de la evolución del acuífero y para considerar futuros planes de manejo sostenible de recursos de aguas subterráneas.

Con estos objetivos se ha definido una red de monitorización GNSS, observada en 2015 y 2016. A pesar del limitado intervalo de tiempo cubierto, los principales resultados han permitido obtener el campo de desplazamiento 3D. Estos resultados, aunque preliminares confirman interpretaciones anteriores, sugiriendo que el establecimiento de redes GNSS representan una valiosa técnica para monitorizar el campo de desplazamiento 3D de áreas sometidas a extracción de aguas subterráneas.

**PALABRAS CLAVE:** Modelización 3D, GPS, Subsidencias del terreno, Explotación de acuíferos.

**1.- Introducción**

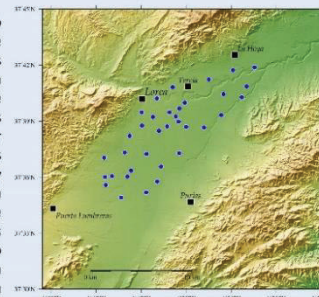
Las subsidencias del terreno asociadas a la sobre-explotación de acuíferos representan una amenaza que impacta en áreas extensas por todo el globo terrestre, y suelen estar relacionadas con la creciente demanda de recursos hídricos. Recientemente se ha demostrado que la zona del Alto Guadalentín (Murcia) está afectada por las mayores tasas de subsidencia detectadas en Europa, como consecuencia de un gran periodo de explotación de su acuífero.

La monitorización de este tipo de subsidencias se viene realizando con modernas técnicas de **Interferometría Radar por Satélite**. Estas técnicas ofrecen unas muy altas precisiones, en extensas zonas, de una forma masiva y a muy bajo coste si se comparan con otras técnicas clásicas. El principal problema que tienen estas técnicas radar es que solo ofrecen datos de deformación en la dirección al satélite. Esta deformación se asocia por entero a una subsidencia, despreciando la posible deformación en sentido horizontal que seguro que también existe.

El principal objetivo de esta línea de investigación ntamos es la de poder utilizar otras técnicas de medida que con una alta precisión, similar a las técnicas radar, nos proporcione también los desplazamientos horizontales que acompañan a las subsidencias, a un coste razonable.

**2.- Metodología**

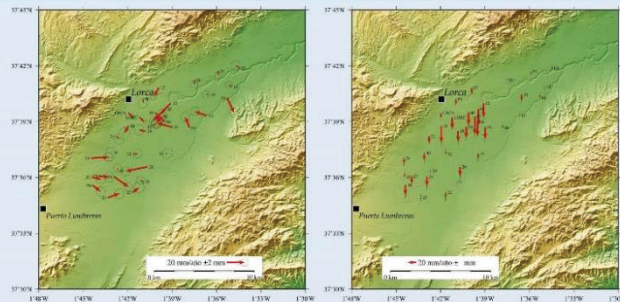
Para conseguir estos fines se ha estudiado la zona del Alto Guadalentín, donde ya se tenían resultados de subsidencias obtenidos con técnicas radar. En esta zona se ha definido una red de estaciones de monitorización GPS y se han realizado dos campañas de observación para obtener resultados de la deformación en sus tres componentes espaciales norte, este y elevación. Estas campañas se han realizado en noviembre de 2015 y julio de 2016. Las deformaciones en estas estaciones se han calculado utilizando procesadores científicos de datos GPS, a fin de obtener la máxima precisión posible.



**3.- Resultados de la línea de investigación**

En la figura se han reflejado los resultados del campo espacio temporal de deformaciones, tanto de subsidencias (vertical) como sus correspondientes deformaciones horizontales asociadas.

Para el periodo observado, noviembre 2015 – julio 2016, la subsidencia anual máxima detectada es de 10,8 cm/año ( $\pm 0,9$ ), del mismo orden de magnitud que las observadas mediante radar. Además, se han detectado desplazamiento horizontales anuales para el mismo periodo, con un máximo horizontal de 2,4 cm/año ( $\pm 0,5$ ). Estos modelos de desplazamientos medios anuales se han representado en la figura adjunta.



**4.- Conclusiones**

- Los resultados, aunque muy preliminares, que hemos obtenido confirman las subsidencias estimadas en anteriores estudios radar de la zona.
- También muestran que el establecimiento de este tipo de redes GPS representan una muy buena técnica para la monitorización del campo de desplazamientos 3D de áreas sujetas a la extracción extensiva de agua.
- Es la primera ocasión que se obtiene un campo de deformaciones en 3D para esta zona tan importante como es la cuenta del Alto Guadalentín

✓Este trabajo ha sido soportado por el proyecto del Plan Nacional I+D+i AQUARISK – (ESP2013-47780-C2-1-R), con financiación del MINECO

