

Monitorización de la subsidencia del terreno en la Vega Media del río Segura mediante Interferometría SAR diferencial (DInSAR)

Monitoring ground subsidence in the Vega Media of the river Segura through Differential SAR Interferometry (DInSAR)

R. Tomás ⁽¹⁾, Y. Márquez ⁽²⁾, J.M. Lopez-Sanchez ⁽²⁾, J. Delgado ⁽³⁾, P. Blanco ⁽⁴⁾, J.J. Mallorquí ⁽⁴⁾, M. Martínez ⁽⁵⁾, G. Herrera ⁽⁵⁾ y J. Mulas ⁽⁵⁾

⁽¹⁾ Departamento de Expresión Gráfica y Cartografía, Escuela Politécnica Superior, Universidad de Alicante, Ap. Correos 99, 03080 Alicante, España, roberto.tomas@ua.es

⁽²⁾ Departamento de Física, Ingeniería de Sistemas y Teoría de la Señal, Escuela Politécnica Superior, Universidad de Alicante, Ap. Correos 99, 03080 Alicante, España, yolanda@dfists.ua.es, juanma.lopez@ua.es

⁽³⁾ Departamento de Ciencias de la Tierra, Facultad de Ciencias, Universidad de Alicante, Ap. Correos 99, 03080 Alicante, España, jose.delgado@ua.es

⁽⁴⁾ Departament de Teoria del Senyal i Comunicacions, Universitat Politècnica de Catalunya, c/Jordi Girona, 1-3, Ed. D-3, 08034 Barcelona, España, mallorqui@tsc.upc.edu; pblanco@tsc.upc.edu

⁽⁵⁾ Riesgos Geológicos. Subdirección de Recursos Minerales y Geoambiente. Instituto Geológico y Minero de España, Ministerio de Ciencia y Tecnología, c/ Ríos Rosas 23, 28003 Madrid, mo.martinez@igme.es, g.herrera@igme.es, j.mulas@igme.es

ABSTRACT

Ground subsidence caused by aquifer exploitation is a geotechnical hazard that affects wide areas, causing important economic damages. This phenomenon is due to soil consolidation produced by the increase of effective stress caused by piezometric depletion. In this work a Remote Sensing Technique called Coherent Pixel (CPT) is applied to monitor subsidence in the Vega Media of the Segura River during a period of eleven years.

Key words: Ground subsidence, DInSAR, piezometric level, remote sensing, geotechnical hazard

Geogaceta, 39 (2006), 107-110

ISSN: 0213683X

Introducción

La subsidencia implica el asentamiento de la superficie terrestre en un área extensa debido a causas tanto naturales como antrópicas (Corapcioglu, 1984). Aunque este fenómeno no ocasiona víctimas mortales, los daños económicos que conlleva pueden ser cuantiosos, sobre todo en áreas urbanas, construidas, donde constituye un importante riesgo para cualquier tipo de estructura asentada sobre el terreno que se deforma (edificaciones, conducciones, vías de comunicación, etc.). Desafortunadamente, estos daños aparecen con un desfase temporal con respecto al comienzo del proceso de subsidencia del terreno. Esta situación se produjo en la Vega Media del río Segura, donde la explotación del acuífero detrítico del río durante la sequía de los años 1992 a 1995 dio lugar a descensos medios del nivel piezométrico que variaron entre 5 y 8 m (Aragón *et al.*, 2004). Como consecuencia de ello se produjo una consolidación de los niveles arcillosos superficiales, que se estima que fue entre 1 y 8 cm (Martínez *et al.*, 2004), y produjo daños en más de un centenar de viviendas del área metropolitana de Murcia (Mulas *et al.*, 2003).

El estudio de este fenómeno hace necesario su monitorización con el fin de

determinar la extensión de la zona afectada, las velocidades de asiento o elevación, los mecanismos que lo rigen, los instantes críticos de aceleración del proceso de consolidación del terreno, así como evaluar la efectividad de las medidas de corrección y/o mitigación adoptadas. La mayor parte de las veces el problema se aborda desde la superficie del terreno, midiendo las deformaciones que se producen, típicamente mediante técnicas topográficas convencionales, geodésicas, fotogramétricas, instrumentales o bien mediante teledetección (Tomás *et al.*, 2005a). Recientemente, la interferometría radar diferencial ha sido aplicada al control del movimiento del terreno en problemas de índole geológica y/o geotécnica cuando éste afecta a amplios territorios. En el presente trabajo se aplica una de las técnicas disponibles de interferometría diferencial al estudio de la subsidencia producida en el acuífero de la Vega Media del río Segura en el periodo 1993-2004.

Fundamentos de la interferometría SAR diferencial. La Técnica de los Píxeles Coherentes

Las imágenes SAR expresan la distribución espacial de la amplitud y la fase

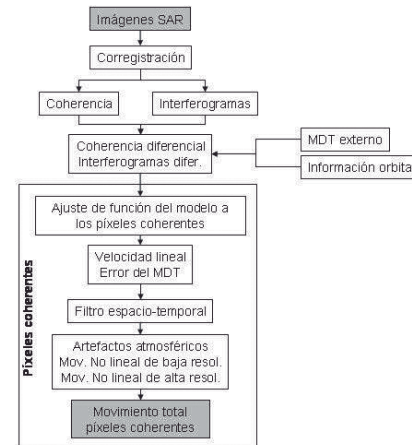


Fig. 1.- Esquema simplificado de la técnica CPT.

Fig. 1.- Simplified scheme of the CPT technique.

de los ecos radar registrados por el sistema (reflectividad) correspondiente a los objetos presentes en la escena o área barrida por el satélite. Las imágenes utilizadas, procedentes de los satélites ERS1 y ERS2 presentan una resolución de 4 x 20 metros (azimut x range). La combinación de dos imágenes SAR de la misma escena, tomadas en instantes diferentes, da como resultado una nueva imagen conocida como interferograma. El

Deformación total acumulada (cm)

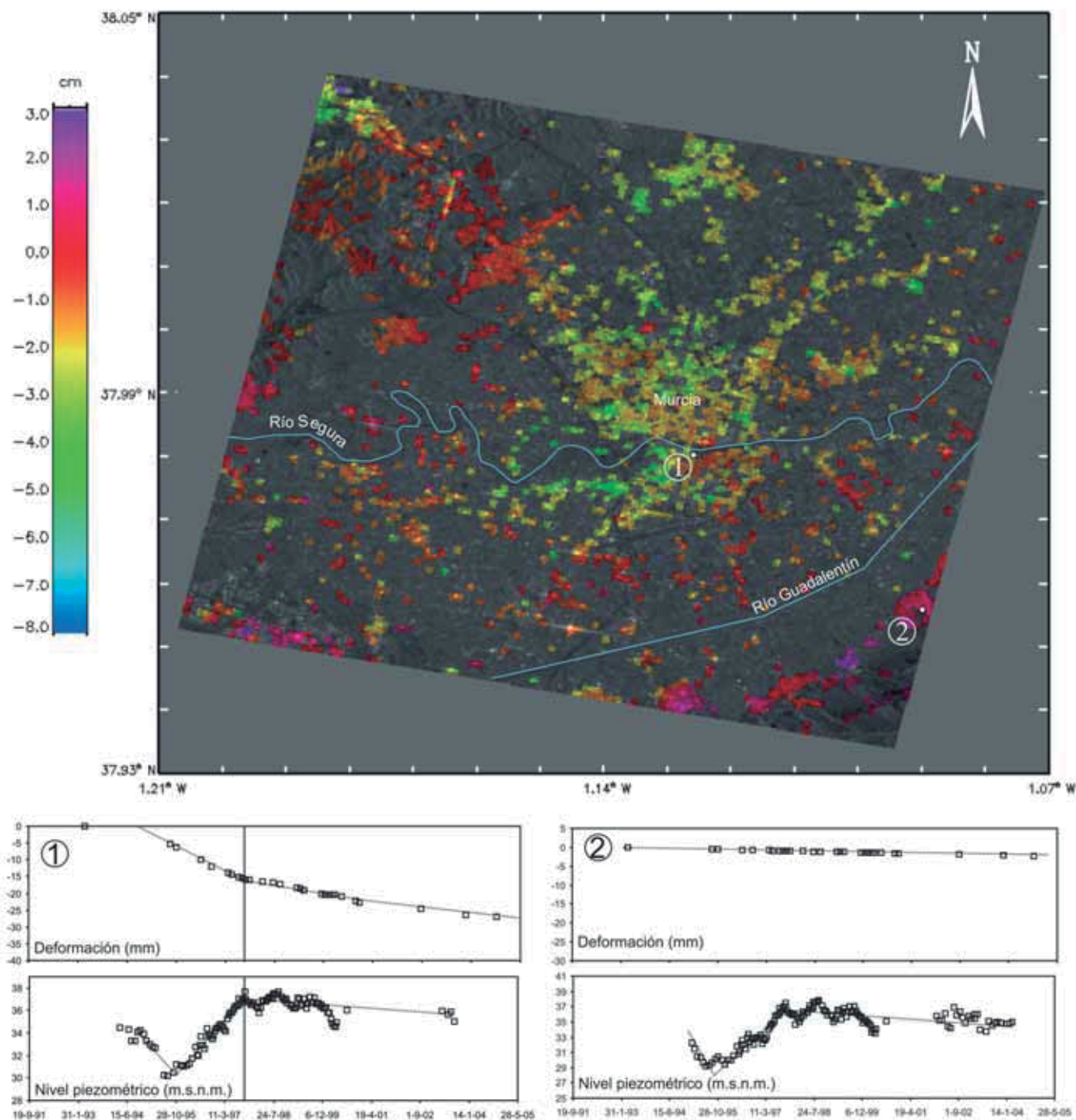


Fig. 2.- Deformación total (cm) observada en el periodo Abril/1993-Octubre/2004. Evolución temporal de la deformación (cm) y de la piezometría (m) en áreas de alta (izda) y baja deformación (dcha).

Fig. 2.- Total deformation (cm) observed in the period April/2003-October/2004. Temporal evolution of deformation (cm) and piezometric level (m) in areas of high (left) and low (right) deformation.

interferograma representa la variación de la fase ($\Delta\psi_{int}$) entre las dos imágenes y la fiabilidad en su estimación depende de la coherencia, parámetro que sirve para caracterizar y medir todas las fuentes de decorrelación. Esta fase puede expresarse como (Hanssen, 2001; Mora, 2004):

$$\Delta\psi_{int} = \Delta\psi_{flat} + \Delta\psi_{topo} + \Delta\psi_{mov} + \Delta\psi_{atmos} + \Delta\psi_{noise} \quad (1)$$

donde: ($\Delta\psi_{flat}$) es la componente de tierra plana relacionada con la distancia en range, ($\Delta\psi_{topo}$) es la fase topográfica, ($\Delta\psi_{mov}$) es la componente de la fase interferométrica debi-

da al desplazamiento del terreno entre dos imágenes SAR medida en la dirección de range (o Line Of Sight, LOS), ($\Delta\psi_{atmos}$) es la componente de la fase relacionada con los fenómenos atmosféricos y ($\Delta\psi_{noise}$) constituye el factor de degradación de la componente de la fase interferométrica.

Las técnicas interferométricas pueden dividirse en convencionales y avanzadas. Las primeras permiten la combinación de dos imágenes SAR para obtener el movimiento del terreno, al cual se le añade un término de error debido a la componente de fase ruidosa y atmosférica. Las técnicas avanzadas van más allá, pues permiten aislar completamente el término de la fase debido al movimiento. En éste último grupo queda englobada la denominada Técnica de los Píxeles Coherentes (Coherent Pixel Technique, CPT). En ella el procesado de la señal se divide en dos fases, la correspondiente a la extracción de la componente de una deformación lineal y la correspondiente al cálculo de otra no lineal. El cálculo de la componente lineal incluye la estimación de la velocidad media de deformación y el error del modelo digital del terreno (MDT). El término no lineal se determina aplicando un filtrado espacio-temporal para la extracción de los artefactos atmosféricos y los componentes de baja y alta resolución de la deformación no lineal. Ésta es precisamente una de las principales ventajas de esta técnica avanzada frente a la Interferometría SAR convencional, el hecho de que la componente atmosférica puede ser aislada debido al comportamiento variable en el tiempo y en el espacio de los artefactos atmosféricos frente al comportamiento estático del término de movimiento no lineal. La figura 1 muestra un diagrama de flujo simplificado del procesado. Una descripción detallada de la técnica CPT puede encontrarse en Mora *et al.*, (2003) y Mora (2004).

Para analizar la subsidencia del área de estudio se han empleado 28 imágenes SLC SAR de los satélites ERS-1 y ERS-2 obtenidas entre abril de 1993 y octubre de 2004. El área de estudio se ha limitado a una porción de 10 x 10 km centrada en la ciudad de Murcia. Se hizo uso de aquellos interferogramas cuya baseline espacial era menor de 50 metros y la diferencia de centroide Doppler relativo menor de 0.15. La resolución espacial final es de 100 x 100 metros debido al factor de multilook empleado que fue de 25 x 5 píxeles. La cancelación de la componente topográfica se llevó a cabo haciendo uso de un MDT externo de libre distribución por la NASA perteneciente a la misión SRTM.

Resultados

Los resultados obtenidos son presentados en la figura 2, que muestra la deformación total obtenida mediante DInSAR

para la zona de estudio correspondiente al periodo entre Abril de 1993 y Octubre de 2004. Las deformaciones máximas detectadas llegan a valores extremos de 8 cm, si bien la media está comprendida entre 2 y 6 cm, concentrándose en las zonas del centro del valle, allí donde el espesor de materiales deformables es máximo. Por el contrario, las deformaciones son pequeñas o incluso nulas en las márgenes del valle, donde afloran rocas y no hay sedimentos deformables.

En la figura 2 se ha incluido además la evolución temporal de la deformación en dos píxeles, así como la evolución piezométrica en pozos situados dentro del píxel. Se comprueba que existe una estrecha relación entre ambas curvas, si bien se observa que la consolidación continúa en el tiempo mientras el suelo no alcanza el estado de esfuerzos inicial, es decir, hasta que el nivel piezométrico no vuelve a su situación inicial. Si dicha situación no se alcanza nunca, la consolidación puede variar su velocidad de deformación pero no se detiene. Tomás *et al.*, (2005b) han diferenciado tres tipos de comportamientos del suelo frente a los descensos piezométricos: (a) áreas no deformables (márgenes del valle), (b) áreas deformables (interior valle) y (c) áreas con suelos expansivos (sector SW).

A la vista de las medidas mediante extensómetros de las deformaciones producidas en la ciudad de Murcia entre febrero de 2001 y diciembre de 2003 (Peral *et al.*, 2004), se comprueba que la correspondencia entre resultados obtenidos por técnicas tan diferentes es buena (Fig. 3).

Conclusiones

La técnica CPT es una técnica que puede emplearse para la medida de deformaciones de amplias zonas de la superficie terrestre con gran efectividad. Esta técnica puede además complementarse con otro tipo de medidas (extensómetros, GPS, topografía convencional, etc.) con el fin de validar los resultados obtenidos con las primeras así como obtener información de aquellos puntos de la escena en la que se espera una menor reflectividad y por lo tanto los resultados interferométricos son de menor calidad. En la Vega Media del río Segura, los resultados obtenidos son acordes con los proporcionados por las técnicas instrumentales empleadas (extensómetros) y además muestran una estrecha relación con la piezometría y la geología local.

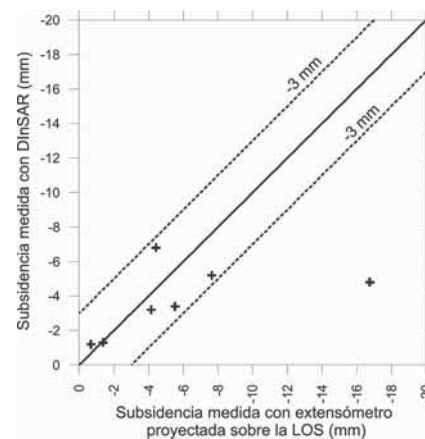


Fig. 3.- Comparación de la subsidencia medida mediante extensómetros (Peral *et al.*, 2004) y la técnica CPT.

*Fig. 3.- Comparison between ground subsidence measured with extensometers (Peral *et al.*, 2004) and CPT technique.*

Esta técnica ha permitido evaluar la magnitud de la subsidencia en la Vega Media del río Segura una vez que ésta ya se había producido. Hay que tener en cuenta que los primeros daños en la zona de estudio se detectaron en el año 1995, y no se instrumentó el fenómeno hasta 2001. Esto supone una aportación muy valiosa al conocimiento del proceso que tuvo lugar con anterioridad a la instalación de la red instrumental y, del cual no se disponía de información cuantitativa.

Entre las ventajas de esta técnica y, por extensión, de la interferometría diferencial radar, podemos señalar el hecho de que permite estudiar la evolución de un fenómeno que afecta a una gran extensión de territorio y a bajo coste (en comparación con otras técnicas más comúnmente utilizadas). Además, permite llevar a cabo un seguimiento progresivo del proceso de deformación (subsidencia) a lo largo del tiempo, lo que facilita la toma de decisiones.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por los proyectos TIC2002-04451-C02 y BTE2002-12456-E (MCyT - FEDER), GV04B/556 y GRUPOS03/085 (Generalitat Valenciana) y Cat. 1-2494 (ESA). Se agradece también a EMUASA y al IGME la cesión de algunos de los datos piezométricos.

Referencias

Aragón, R., García-Aróstegui, J.L., Lam-bán, J., Hornero, J. y Fernández-Grillo, A.I. (2004). *Proceedings of the XXXIII*

- Congress of IAH-ALHSUD, Conference on Groundwater Flow Understanding from local to regional scales.* Zacatecas, México, CD ROM.
- Corapcioglu, M.Y. (1984). *Fundamentals of Transport Phenomena in Porous Media.* Nijhoff, Dordrecht, 369-444.
- Hanssen, R.F. (2001). *Radar interferometry. Data interpretation and error analysis.* Kluwer Academic Publisher, 308 p.
- Martínez, M., Mulas, J., Herrera, G. y Aragón, R. (2004). *Proceedings of the XXXIII Congress of IAH-ALHSUD, Zacatecas, Mexico. Conference on Groundwater Flow Understanding from local to regional scale,* 249-252. Zacatecas, México, CD ROM.
- Mora, O. (2004). *Advanced differential SAR techniques for detection of terrain and building displacements.* Tesis Doctoral, Univ. Politécnica de Cataluña, 182 p.
- Mora, O., Mallorquí, J.J. y Broquetas, A. (2003). *IEEE on Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 41, 2243-2253.
- Mulas, J., Aragón, R., Martínez, M., Lambán, J., García-Arostegui, J.L., Fernández-Grillo, A.I., Hornero, J., Rodríguez, J. y Rodríguez, J.M. (2003). *Proceedings fo the 1st International Conference on Groundwater in Geological Engineering, RMZ-M&G, Materials and Geoenvironment*, 50, 249-252.
- Peral, F., Rodríguez, A. y Mulas, J. (2004). *Proceedings of the ISC-2 on Geotechnical and Geophysical Site Characterization*, Balkema, 1171-1176.
- Tomás, R., Lopez-Sanchez, J.M. y Delgado, J. (2005a). *Proceedings of the XVII Ingegraf-XV ADM internacional Congress.* Sevilla, CD-Rom.
- Tomás, R., Márquez, Y., Lopez-Sanchez, J.M., Delgado, J., Blanco, P., Mallorquí, J.J., Martínez, M., Herrera, G. y Mulas, J. (2005b). *Remote Sensing of Environment*, 98, 269-283.