

USO DE IMÁGENES SATELITALES PARA ESTIMAR EL ASENTAMIENTO PROVOCADO POR SISMO EN LA CIUDAD DE MÉXICO

ALBERTO JAIME P., GASPAR ALCOCER G.,
JUAN SANABRIA P. Y JOSEFINA BARRERA G.

Introducción

Imágenes satelitales se han empleado en las últimas décadas para fines diferentes. Las imágenes para algunos tipos de reconocimiento terrestre son captadas mediante satélites equipados con Radar de Apertura Sintética (SAR por sus siglas en inglés). Esta tecnología empezó con la puesta en órbita del satélite Seasat en 1978 (Moreira y otros, 2013). Los satélites empleados tienen como característica que pasan sobre el mismo sitio en ciclos determinados. Así, por ejemplo, el ENVISAT tenía un ciclo con un período de 35 días. Es decir, podía tomar imágenes del mismo sitio cada 35 días.

Un buen número de los satélites son lanzados con el patrocinio del gobierno de diversos países. Por ello, la información recabada es de acceso exclusivo. Sin embargo, las imágenes capturadas con los satélites Sentinel 1A y 1B son de acceso libre, hasta cierto ancho de banda. El período de repetición de estos satélites es de doce días, más corto que el del ENVISAT.

Una de las aplicaciones de estas imágenes de radar es el uso de Interferometría para medir los desplazamientos relativos del suelo en determinado lugar. Gracias a la captura de imágenes de los satélites de manera periódica en determinado sitio, se pueden obtener datos topográficos de cada una de las imágenes y procesarlas para obtener el desplazamiento relativo.

En este trabajo, se utilizan herramientas de libre acceso para describir las tasas de subsidencia relativa en algunas zonas de la Ciudad de México. Además, se busca determinar los asentamientos relativos del suelo asociados con los sismos que afectaron la Ciudad de México en septiembre de 2017.

Herramientas de libre acceso

Software e imágenes utilizadas.

Para la interpretación de imágenes, se utilizaron el *software* de libre acceso SNAP desarrollado por la agencia espacial europea

(ESA), un algoritmo de libre acceso llamado SNAPHU escrito por C. W. Chen y H. A. Zebker (2003) y el programa Google Earth para obtener gran parte de las imágenes de apoyo que se encuentran en este trabajo. Se descargaron imágenes de radar con banda C del sitio de la NASA. Los periodos analizados fueron de 24 días en los meses de agosto, septiembre, octubre y noviembre de 2017.

Procesamiento de las imágenes

Software SNAP

El proceso de interpretación de imágenes se basa en once etapas dentro del programa por cada período analizado. Al final de estos procesos, se obtiene un mapa de coherencia y uno de desplazamientos. El tamaño de los píxeles es de aproximadamente 14 metros y se descartaron los píxeles con una coherencia menor a 0.6. La coherencia es la calidad de la información debido al reflejo del radar. Una coherencia de 1 es alto reflejo y una coherencia de 0 es un reflejo nulo.

Resultados

Ciudad de México

Se realiza el estudio de una zona de 793 km² de la Ciudad de México (Subset), dentro de las cuales se encuentran sitios como el centro histórico, el Aeropuerto de la Ciudad de México, Xochimilco, entre otros. Se obtuvieron las imágenes que se muestran en la Figura 1 para cuatro períodos de análisis: agosto, septiembre, octubre y noviembre de 2017.

Centro histórico de la Ciudad de México

Se presenta el análisis realizado en la zona del centro histórico de la Ciudad de México donde se ubicaron dos perfiles de desplazamiento: un perfil Oeste Noroeste – Este Sureste y

uno casi Norte – Sur. Estos perfiles están delimitados según se muestran en la Figura 2.

Se presentan a continuación los perfiles de desplazamiento relativos en metros por mes obtenidos mediante el programa SNAP (Figuras 3 y 4).

En los perfiles se puede notar que el lado Oeste del centro histórico se desplaza menos que el lado Este. En la zona de la Alameda central encontramos desplazamientos repentinos asociados con poca coherencia debido a que es una zona

mayormente arbolada. El perfil Norte – Sur no muestra una tendencia clara.

Los sismos que afectaron a la Ciudad de México en septiembre de 2017 contribuyeron a que el desplazamiento relativo sea mayor en este mes comparado con un mes anterior (agosto) y dos posteriores (octubre y noviembre). Lo cual, confirma las observaciones de Zeevaert (1972) y Jaime (1987), de que ocurren asentamientos irrecuperables súbitos en el suelo, después de un sismo.

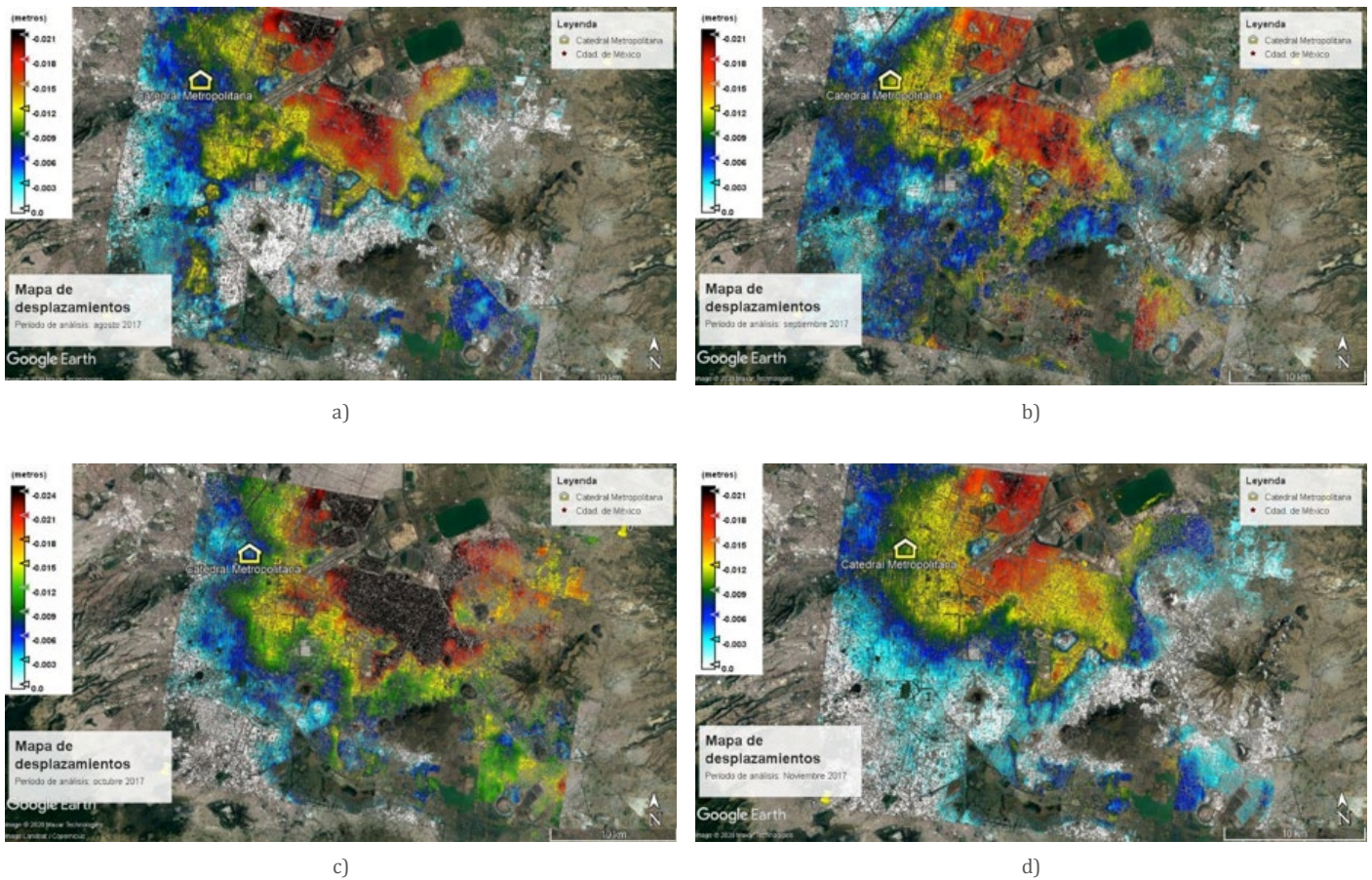


Figura 1. Desplazamientos relativos en metros/mes obtenidos para los periodos a) agosto b) septiembre c) octubre d) noviembre de 2017. Los colores más cálidos pertenecen a desplazamientos mayores a 2 cm y los blancos son desplazamientos relativos a cero. El periodo de análisis es de 24 días



Figura 2. Perfiles de desplazamiento

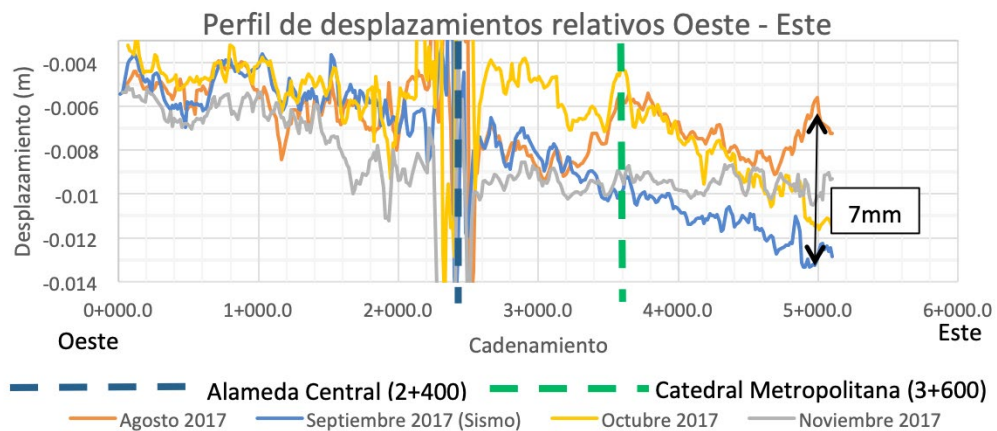


Figura 3. Perfil de desplazamientos relativos en metros/mes Oeste - Este

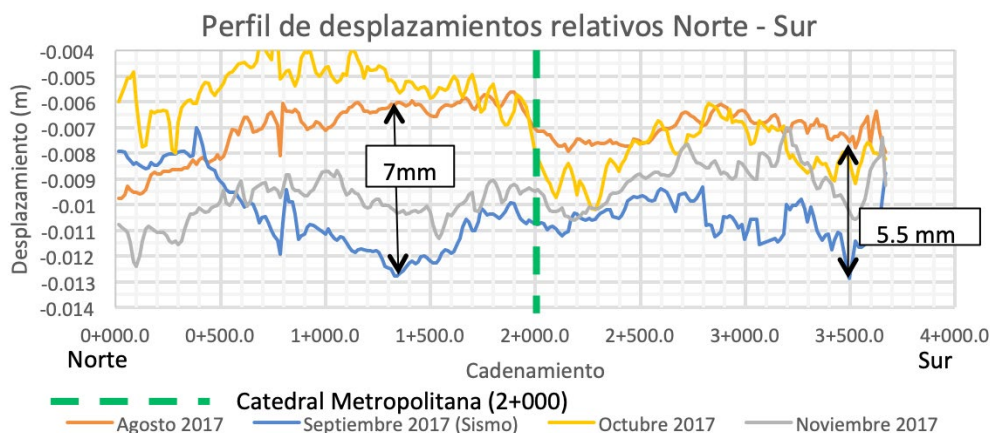


Figura 4. Perfil de desplazamientos relativos en metros/mes Norte – Sur

Conclusiones

La tecnología SAR, especialmente la Interferometría, es una excelente herramienta para visualizar zonas de asentamiento y agrietamiento en áreas urbanas, sobre todo en aquellas de difícil acceso. Esta herramienta proporciona información que puede ser analizada desde gabinete de manera más eficiente, económica y en menos tiempo, en comparación con técnicas topográficas convencionales de campo. Desde luego, es recomendable complementarla con un banco de nivel fijo para aumentar su nivel de precisión.

Los sismos que afectaron a la Ciudad de México en septiembre de 2017 contribuyeron a que el desplazamiento relativo sea mayor en este mes comparado con un mes anterior (agosto) y dos posteriores (octubre y noviembre). Lo anterior, concuerda con las observaciones de Zeevaert (1972) y Jaime (1987). También, se aprecian estos asentamientos súbitos provocados por sismo de los reportes topográficos de CONAGUA y SACMEX, citados por Auvinet *et al* (2017).

Referencias

Braun, A. y Veci, L. (2020). *Sentinel-1 Toolbox. TOPS Interferometry Tutorial*.
 Chen, C. W. y Zebker, H. A. (Noviembre de 2019). *SNAPHU: Statistical-Cost, Network-Flow Algorithm for Phase Unwrapping*. Obtenido de Stanford University: <https://web.stanford.edu/group/radar/softwareandlinks/sw/snaphu/>.

Cigna, F.; Osmanoglu, B.; Cabral-Cano, E.; Dixon, T. H.; Ávila-Olivera, J. A.; Garduño-Monroy, V. H. y Wdowinski, S. (2012). Monitoring land subsidence and its induced geological hazard with Synthetic Aperture Radar Interferometry: A case study in Morelia, Mexico. *Remote Sensing of Environment*, 146-161.
 Esa, Copernicus (2019). *Land Subsidence with Sentinel-1 using SNAP*.
 Hernández, I. (2014). *Análisis de Subsistencia del Terreno en el Valle de Toluca a partir del Método Dual Pair Interferometry (DPI)*. Toluca, México: UAEM.
 Hurtado, A. y Suárez, P. (mayo de 2018). Estimación de la subsistencia de la Ciudad de Bogotá mediante imágenes de radar y técnicas de Interferometría Diferencial DINSAR. Bogotá, Colombia: Facultad de Ingeniería.
 Moreira, A.; Pau, P. I.; Younis, M.; Krieger, G. H. y Papathanassiou, K. (2013). A Tutorial on Synthetic Aperture Radar. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Magazine*, 6-43.
 NASA, ESA (2020). *ASF Data Search*. Obtenido de Earth Data: <https://search.asf.alaska.edu/#/>.
 The European Space Agency (2020). *Sentinel Online*. Obtenido de The European Space Agency Web site: <https://sentinel.esa.int/>.
 The European Space Agency (2020). *The European Space Agency Web Site*. Obtenido de <http://www.esa.int/>.
 Jaime, A.; Romo, M. P. y Jasso, M. (1987). "Seismic induced settlement in a building"; Memorias del VIII Congreso Panamericano de Mecánica de Suelos e Ingeniería de Cimentaciones. Vol. 2, pp. 257, 275, Cartagena, Colombia, ago. 1987.
 Zeevaert L. (1983). *Foundation Engineering for difficult Soil Conditions*, Van Nostrand Reinhold Company.