

# Análisis de movimientos del terreno en Guayaquil (Ecuador) mediante G-POD (A-DInSAR)

*Analysis of ground movements in Guayaquil (Ecuador) by means of G-POD service (A-DInSAR technique)*

José Cuervas-Mons<sup>1</sup>, María José Domínguez-Cuesta<sup>1</sup> y Jerymy Antonio Carrillo<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Facultad de Geología. Universidad de Oviedo, C/ Jesús Arias de Velasco s/n, 33005 Oviedo (España). [jcuervas@geol.uniovi.es](mailto:jcuervas@geol.uniovi.es), [dominguezmaria@uniovi.es](mailto:dominguezmaria@uniovi.es), [uo259533@uniovi.es](mailto:uo259533@uniovi.es)

## RESUMEN

En este trabajo ha sido realizado un análisis preliminar de movimientos del terreno en el área metropolitana de Guayaquil (Ecuador), mediante la aplicación de la técnica A-DInSAR. Para ello se procesaron imágenes SAR de Envisat ASAR entre febrero 2003 y agosto 2005 por medio del servicio gratuito G-POD. Los resultados permitieron identificar tres importantes zonas de deformación, con velocidades medias en la dirección suelo-satélite (LOS) que van desde -19,2 hasta 10,1 mm/año. Además, las deformaciones acumuladas se sitúan entre los 24 y 52 mm. Estos movimientos del terreno se relacionan con diferentes procesos geológicos: I) subsidencia urbana, II) inundaciones y III) inestabilidades de ladera. Este estudio ilustra la utilidad del servicio G-POD para realizar procesados A-DInSAR como análisis preliminares de riesgos geológicos asociados a movimientos del terreno.

**Palabras clave:** Movimientos del terreno, A-DInSAR, G-POD, Ecuador, Guayaquil.

Geogaceta, 69 (2021), 47-50  
ISSN (versión impresa): 0213-683X  
ISSN (Internet): 2173-6545

## Introducción y Objetivo

La aplicación de las técnicas A-DInSAR (Interferometría SAR Diferencial Avanzadas) en estudios sobre deformaciones del terreno asociadas a inestabilidades de ladera y subsidencia se lleva realizando desde el comienzo del siglo XXI (Ferreti *et al.*, 2001; Bernardino *et al.*, 2002; Mora *et al.*, 2003). Constituyen poderosas herramientas para la detección, modelización y monitorización de inestabilidades del terreno, ya que presentan una alta resolución espacial y temporal (Herrera *et al.*, 2013; Barra *et al.*, 2017). En los últimos años se han desarrollado diversos servicios gratuitos para el procesamiento y análisis de datos A-DInSAR (De Luca *et al.*, 2015; Galve *et al.*, 2017). Así, la plataforma G-POD (Grid Processing On Demand) permite realizar procesados A-DInSAR sobre un área predefinida a partir de imágenes SAR proporcionadas por los satélites ERS-1/2 (1991-2011) y Envisat ASAR (2002-2012).

El área de estudio, con una extensión de 920,14 km<sup>2</sup>, se ubica en el área me-

tropolitana de Guayaquil (Ecuador) (Fig. 1), conformada por la propia ciudad de Guayaquil y las poblaciones de Samborondón y Durán. Esta zona se caracteriza por presentar una problemática relacionada con inundaciones, inestabilidad de laderas y subsidencia (Delgado, 2013; Morante *et al.*, 2019).

De acuerdo a Núñez del Arco (2003), los materiales geológicos del área de estudio abarcan edades del Cretácico Superior (Fms. Piñón, Cayo y Guayaquil), conformado por rocas volcánicas y volcano-sedimentarias, del Terciario (Fm. San Eduardo y Grupo Ancón), formado por rocas sedimentarias siliciclásticas y carbonatadas y del Cuaternario, integrado por depósitos aluviales, estuarinos y coluviales.

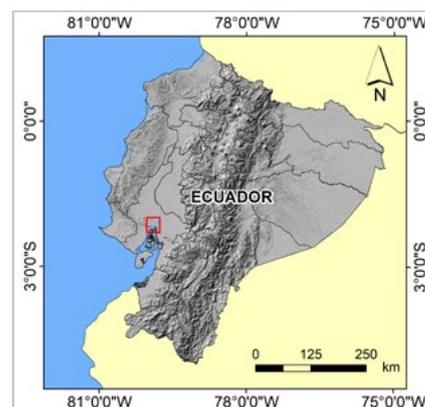
El objetivo de este trabajo es analizar los movimientos del terreno asociados a inestabilidades de ladera y subsidencia en el área metropolitana de Guayaquil, mediante la obtención de las series temporales de deformación (mm), así como un mapa de velocidades medias de deformación LOS (mm/año).

## ABSTRACT

In this work a ground movement preliminary analysis in the metropolitan area of Guayaquil (Ecuador) has been realised by means of the A-DInSAR technique. For this purpose, SAR images of Envisat ASAR were processed between February 2003 and August 2005 through the free G-POD service. The results allowed to identify three important deformation zones, with average line-of-sight (LOS) velocities ranging from -19.2 to 10.1 mm/year. In addition, the accumulated deformations are between 24 and 52 mm. These ground movements are related to different geological processes: I) urban subsidence, II) floods and III) slope instabilities. This study illustrates the usefulness of G-POD service for realise A-DInSAR processing like preliminary analysis of geohazards associated to ground movements.

**Key-words:** Ground movements, A-DInSAR, G-POD, Ecuador, Guayaquil.

Fecha de recepción: 29/06/2020  
Fecha de revisión: 23/10/2020  
Fecha de aceptación: 27/11/2020



**Fig. 1.- Ubicación del área de estudio, Ecuador.**

*Fig. 1.- Location of the study area, Ecuador.*

## Metodología

El procedimiento metodológico seguido en este trabajo incluye dos etapas principales: a) procesado de los datos A-DInSAR y exportación a un Sistema de Información Geográfica (SIG) y b) combinación de los resultados A-DInSAR con información geoespacial (Fig. 2A).

En este análisis se utilizaron un conjunto de 8 imágenes SAR (imágenes tipo Level 0 ASA\_IM\_OP, track 297, órbita descendente) proporcionadas por el satélite Envisat ASAR, abarcando las fechas desde febrero de 2003 hasta agosto de 2005. El rango de tiempo escogido está condicionado por la limitada disponibilidad de imágenes para esta área. Para llevar a cabo el procesado A-DInSAR, se utilizó la técnica de análisis multitemporal P-SBAS (Casu et al., 2014; De Luca et al., 2015), que tiene implementada la plataforma G-POD. Este procesado sigue una serie de fases que, en resumen, son las siguientes (Fig. 2B): 1) Corregistro de las imágenes SAR y posterior generación de 14 interferogramas diferenciales enrollados; 2) desenrollado de las fases temporales y espaciales para cada interferograma y estimación del error topográfico, de la deformación y filtrado atmosférico; 3) cálculo y estimación de las series temporales de deformación (cm) y velocidades medias de deformación LOS (cm/año). Los parámetros de procesado escogidos son los que proporciona la plataforma G-POD por defecto. Como producto final se obtiene un archivo de texto (.txt) que contiene las siguientes características de cada punto: ID, coordenadas geográficas en WGS 84, velo-

cidad media de deformación LOS (cm/año), cota topográfica (m), valores de coherencia y desplazamientos acumulados (cm). En este trabajo los resultados son presentados en mm/año y mm. Este archivo puede ser importado desde un SIG y cruzado con diferentes capas geoespaciales.

### Resultados y Discusión

Referente al mapa de velocidades medias de deformación LOS, se obtuvieron un total de 19261 puntos, con desplazamientos anuales que varían entre -19,2 y 10,1 mm/año (Fig. 3); los valores de velocidad LOS negativos y positivos indican, respectivamente, un alejamiento y un acercamiento del suelo con respecto al satélite. La densidad de puntos obtenida fue de 20,9 puntos/km<sup>2</sup>. Se identificaron tres áreas principales con importantes deformaciones del terreno (Fig. 3): a) Sector Vía a la Costa – Oeste de Guayaquil, b) Suroeste Guayaquil, c) Durán, sector noreste.

A continuación, se realiza un análisis e interpretación de cada sector por separado, teniendo en cuenta las series temporales de deformación obtenidas para cada área-sector identificado.

#### Vía a la Costa

Este sector ocupa 2,56 km<sup>2</sup> y se sitúa en el extremo más occidental del área de estudio (Fig. 3A). Presenta unas velocidades medias de deformación LOS de -11,0 a 5,6 mm/año, con un total de 127 puntos detectados (49,6 puntos/km<sup>2</sup>). De acuerdo a sus series temporales de deformación (Fig. 4), el desplazamiento máximo acumulado se sitúa sobre los 25,2 mm. En esta área los materiales corresponden a antiguos manglares y coluviones, actualmente ocupados por terrenos urbanos.

#### Suroeste de Guayaquil

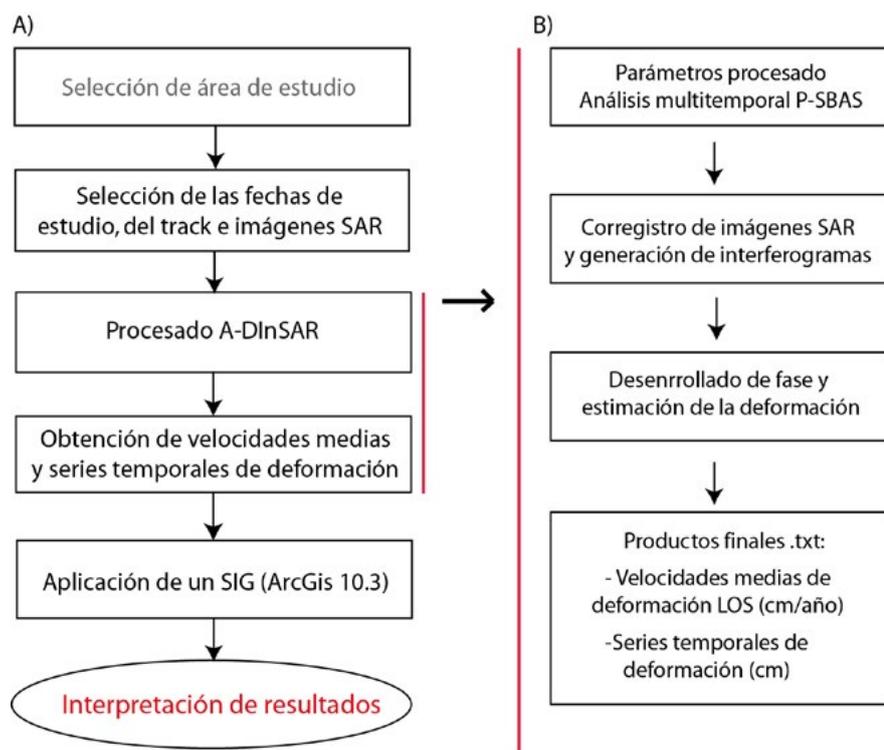
Esta área, de 37,45 km<sup>2</sup>, es la que presenta la deformación más importante (Figs. 3B y 4). Las velocidades de deformación LOS encontradas en este sector se encuentran entre los -19,2 y 8,3 mm/año, habiéndose detectado un total de 3272 puntos (87,3 puntos/km<sup>2</sup>). En cuanto a la deformación acumulada se observa un desplazamiento total máximo de 52,4 mm. Al igual que en el sector anterior, esta área totalmente urbana se asienta sobre antiguos terrenos ocupados por manglares y arcillas estuarinas cuaternarias.

Los puntos detectados en la parte más septentrional de esta área (con velocidades de entre -14,3 y 3,0 mm/año, Fig. 3 B) se sitúan sobre limolitas, areniscas y grauvacas de la Fm. Cayo (Cretácico Sup.), con pendientes naturales y antropizadas que pueden alcanzar los 30-45°, favoreciendo los procesos de gravedad. Las deformaciones acumuladas toman valores en torno a 24,6 mm (Fig. 4).

#### Durán Noreste

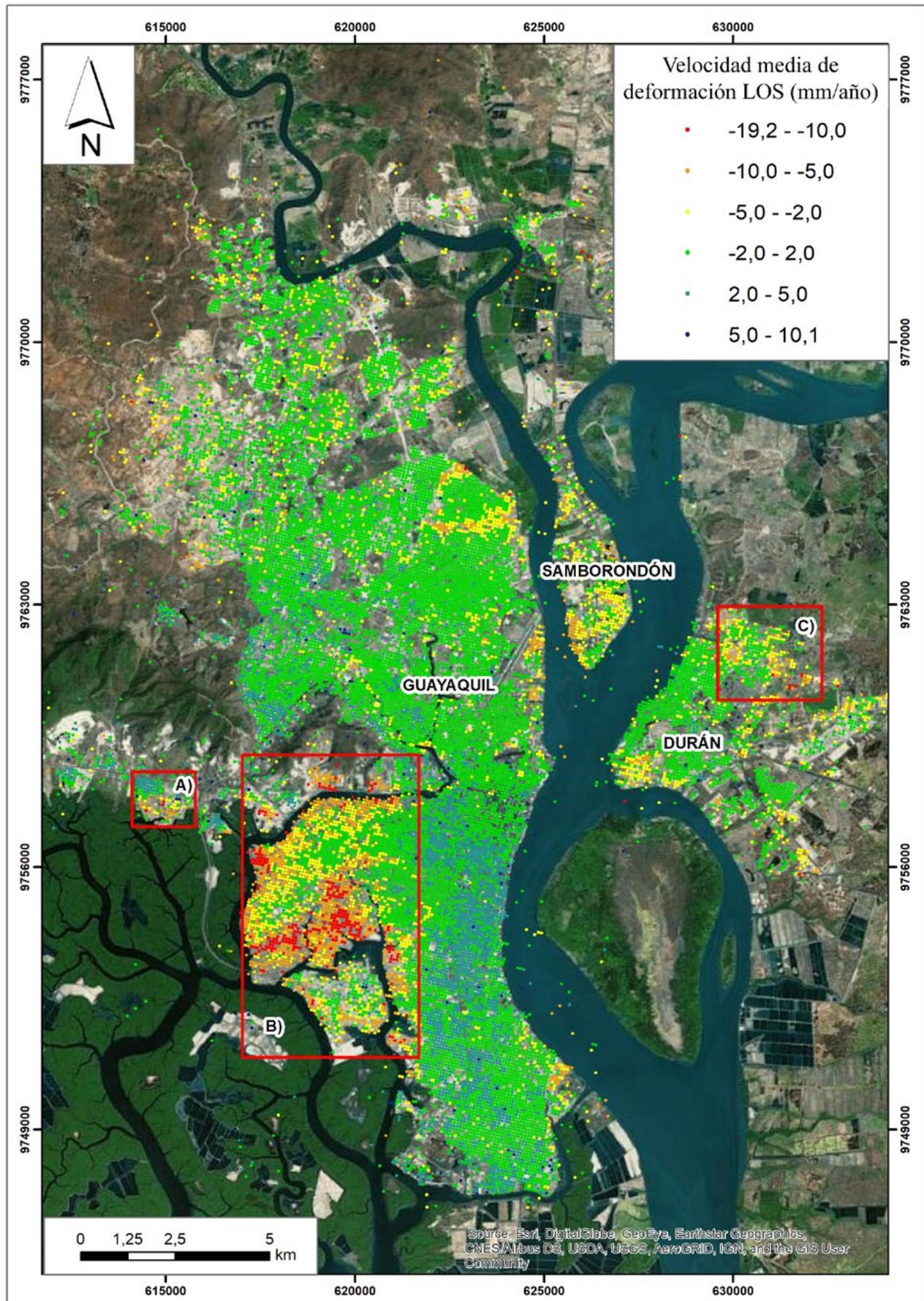
Este sector, situado en el extremo más oriental del área de estudio, ocupa 6,99 km<sup>2</sup> y presenta un total de 461 puntos (66 puntos/km<sup>2</sup>), con unas velocidades medias de deformación LOS de -11,2 y 5,1 mm/año (Fig. 3C). Las series de deformación observadas muestran unos desplazamientos acumulados totales de 30,2 mm (Fig. 4). En esta área los materiales corresponden a depósitos aluviales conformados por limos y arcillas.

Estos resultados permiten distinguir tres etapas en la evolución de la deformación que se pueden reconocer en las tres áreas estudiadas (Fig. 4): 1) entre febrero 2003 – octubre 2003, no se detectan desplazamientos, excepto en el caso de Vía



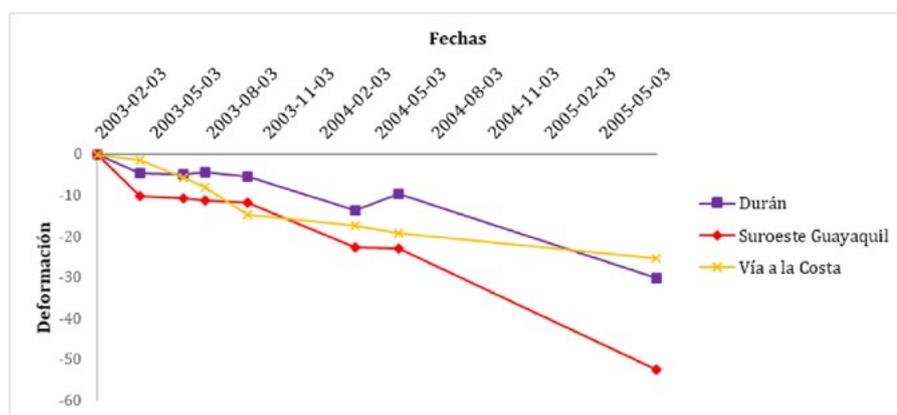
**Fig. 2.- A) Secuencia metodológica general. B) Procesamiento A-DInSAR implementado en la plataforma G-POD y obtención de los productos finales A-DInSAR.**

*Fig. 2.- A) General methodological sequence. B) A-DInSAR processing implemented on G-POD platform and obtaining of A-DInSAR final products.*



**Fig. 3.- Mapa de velocidades de deformación LOS (mm/año) para el área metropolitana de Guayaquil (Ecuador). A) Sector Vía a la Costa; B) Sector Suroeste de Guayaquil; C) Noreste de Durán.**

*Fig. 3.- LOS deformation velocity map (mm/year) of Guayaquil metropolitan area (Equator). A) Via a la Costa Sector; B) Guayaquil Southwest sector; C) Duran Northeast.*



**Fig. 4. Series temporales de deformación para cada uno de los sectores identificados.**

*Fig. 4.- Deformation time series for each sector identified.*

a la Costa; II) octubre 2003 – marzo 2004 y III) junio 2004 – agosto 2005; Las deformaciones observadas pueden deberse a cuestiones diversas, como: a) asentamiento de rellenos urbanos y subsidencia producida por las arcillas estuarinas altamente compactibles; b) efecto de las mareas producidas en el área del río Guayas o inundaciones que sufren estas áreas urbanas durante época de lluvias estacionarias y extraordinarias (fenómeno de El Niño); c) inestabilidades de ladera o d) errores en el procesado A-DInSAR; en concreto, ruido atmosférico no corregido u otros artefactos (errores orbitales, topográficos, etc.). En el caso de la última etapa de deformación observada, es probable que se produjeran errores durante el desenrollado de fase de los interferogramas, ya que la última imagen (03-08-2005) se encuentra aislada con respecto a las demás, habiendo un salto temporal grande (de 1 año y 2 meses).

Si bien es cierto que las áreas comentadas aparentemente presentan deformación, también es destacable que hay algunas otras zonas cuya interpretación como origen de posibles movimientos del terreno es más difícil, lo cual es una limitación de la herramienta G-POD, al tratarse de un servicio no supervisado.

En general, la utilización de este servicio gratuito ha permitido realizar un análisis preliminar de deformaciones del terreno. Por otro lado, el haber utilizado por defecto los parámetros de procesado que predispone G-POD, deja en el aire un posible mejoramiento de los resultados, evitando componente atmosférico o cualquier otro artefacto.

## Conclusiones

En este trabajo se ha realizado un estudio de movimientos del terreno en el área metropolitana de Guayaquil (Ecuador) a partir de la técnica A-DInSAR, desde febrero de 2003 hasta agosto de 2005. Para ello se utilizó el servicio gratuito G-POD, el cual lleva implementado la técnica de análisis multitemporal P-SBAS.

Los resultados A-DInSAR obtenidos muestran tres importantes áreas de deformación debidas, probablemente, a la subsidencia producida por asentamientos de los terrenos urbanos y a la naturaleza compresible y compactible de las arcillas estuarinas. Además, se detectaron deformaciones compatibles con movimientos de ladera. Los desplazamientos máximos observados se situaron en el suroeste de Guayaquil, alcanzando los 52,4 mm entre febrero 2003 y agosto 2005, con una velocidad LOS media de -19,2 mm/año.

La plataforma G-POD demuestra ser una herramienta útil para medir desplazamientos del terreno de manera gratuita y rápida, permitiendo hacer análisis preliminares de movimientos del terreno asociados a deslizamientos y procesos de subsidencia.

## Agradecimientos

Los autores desean agradecer a Oriol Monserrat y a Marta Béjar Pizarro, así como al Editor de la revista, Aitor Cambeses, por sus útiles sugerencias y co-

mentarios para mejorar este manuscrito. Este trabajo ha sido desarrollado en el marco de los proyectos de investigación "COSINES" (CGL2017-83909-R, MINECO/AEI/FEDER, UE) y "GEOCANCOSTA" (GRUPIN-IDI-2018-184, Principado de Asturias).

## Referencias

- Barra, A., Solari, L., Béjar-Pizarro, M., Monserrat, O., Bianchini, S., Herrera, G., Crosetto, M., Sarro, R., González-Alonso, E., Mateos, R. M., Ligüerzana, S., López, C. y Moretti, S. (2017). *Remote Sensing* 9(10), Art. 1002.
- Berardino, P., Fornaro, G., Lanari, R. y Sansosti, E. (2002). *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* 40(11), 2375-2383.
- Casu, F., Elefante, S., Imperatore, P., Zinno, I., Manunta, M., De Luca, C. y Lanari, R. (2014). *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing* 7(8), 3285-3296.
- Delgado, A. (2013). *Cities* 31, 515-532.
- De Luca, C., Cuccu, R., Elefante, S., Zinno, I., Manunta, M., Casola, V., Rivolta, G., Lanari, R. y Casu, F. (2015). *Remote Sensing* 7, 15630-15650.
- Ferreti, A., Prati, C. y Rocca, F. (2001). *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* 39(1), 8-20.
- Galve, J. P., Pérez-Peña, J. V., Azañón, J. M., Closson, D., Caló, F., Reyes-Carmona, C., Jabaloy, A., Ruano, P., Mateos, R. M., Notti, D., Herrera, G., Béjar-Pizarro, M., Monserrat, O. y Bally, P. (2017). *Remote Sensing* 9(12), Art. 1291.
- Herrera, G., Gutiérrez, F., García-Davalillo, J.C., Guerrero, J., Notti, D., Galve, J. P., Fernández-Merodo, J. A. y Cooksley, G. (2013). *Remote Sensing of Environment* 128, 31-43.
- Mora, O., Mallorquí, J.J. y Broquetas, A. (2003). *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* 41(10), 2243-2253.
- Morante, M. F., Aguilar, M., Ramírez, G., Blanco, R., Carrión, P., Briones, J. y Berrezueta, E. (2019). *Geosciences* 9(3), Art. 103.
- Núñez del Arco, E. (2003). *Geología del Ecuador*. ESPOL, 253 p.