



UNIVERSIDAD DE GRANADA
DEPARTAMENTO DE GEODINÁMICA



INSTITUTO ANDALUZ DE
CIENCIAS DE LA TIERRA

Informe técnico: Resultados medida deformaciones con DInSAR satelital

Granada, Diciembre 2020



Indice

1. Introducción	3
2. Actividades realizadas	3
3. Descripción de los resultados.....	5
3.1 Análisis Global.....	5
3.2 Análisis local.....	6
4. Conclusiones	8



1. Introducción

Este documento contiene el informe técnico referente al estudio de las deformaciones ocurridos en las balsas de Fosfoyesos de Huelva durante el periodo marzo 2015 – septiembre 2020. El principal contenido de este informe es la descripción de la metodología y el análisis de los resultados obtenidos a partir del procesado de los datos SAR adquiridos por el satélite Sentinel-1(A y B) de la Agencia Espacial Europea.

Para acompañar la lectura de este informe, se puede consultar el documento [Tutorial para la correcta interpretación de mapas generados con Interferometría SAR satelital](#). Dicho documento proporciona un resumen de los principios básicos de funcionamiento de la técnica DInSAR, las características a tener en cuenta y una serie de indicaciones y consejos prácticos para interpretar correctamente los resultados.

2. Actividades realizadas

Las actividades realizadas han sido:

- Descarga de 247 imágenes Sentinel-1 cubriendo el periodo temporal 09/03/2015-08/10/2020. Las imágenes utilizadas para este estudio son imágenes SAR tipo “*Single Look Complex*” adquiridas en trayectoria descendente. La resolución es de unos 4 metros en la dirección perpendicular a la órbita del satélite (principalmente E-O) y de unos 14 metros en la dirección paralela (principalmente N-S). La Figura 1 muestra una comparación entre una imagen Sentinel-1 y una imagen óptica. En la Tabla 1 se muestra la lista de imágenes utilizadas.
- Elaboración y análisis interferométrico de las 247 imágenes. En total se han generado un total de 3311 interferogramas. Es decir, 3311 comparaciones entre pares de imágenes a partir de las cuales se realiza la estimación de las deformaciones.
- Generación de los mapas de velocidad de deformación y series temporales de deformación. El procesado de los datos se ha realizado mediante la técnica PSIG descrita en Crosetto et al. (2011)¹ y Devanthery et al. (2014)². Se han realizado dos tipos de análisis:
 - Análisis global: Se ha calculado la velocidad de deformación sobre toda el área mostrada en la Figura1. El objetivo de este análisis ha sido obtener las magnitudes de velocidad de deformación con respecto a zonas a priori estable. Este estudio ha permitido cuantificar los desplazamientos absolutos en el área de interés con respecto a un área a priori sin movimiento.
 - Análisis local: estudio detallado de la zona donde se localizan las balsas. Este estudio se ha realizado con el fin de comprender el desplazamiento temporal y detectar las áreas de mayor movimiento. Para ello se han analizado las series temporales de deformación y las velocidades de deformación para cada una de las áreas delimitadas.
 - Interpretación i documentación de los resultados.

¹ Crosetto, M., Monserrat, O., Cuevas, M., & Crippa, B. (2011). Spaceborne differential SAR interferometry: Data analysis tools for deformation measurement. *Remote Sensing*, 3(2), 305-318.

² Devanthery, N., Crosetto, M., Monserrat, O., Cuevas-González, M., & Crippa, B. (2014). An approach to persistent scatterer interferometry. *Remote Sensing*, 6(7), 6662-6679.

3. Descripción de los resultados

A continuación, se discuten los resultados obtenidos.

3.1 Análisis Global

La Figura 2 muestra el mapa de velocidad de deformación en línea de vista³ obtenida sobre la zona procesada. Como se explica en el documento [de soporte](#), la interferometría proporciona medidas relativas a un punto o zona que se utiliza como referencia. En concreto, para este mapa se ha utilizado como punto de referencia un punto localizado en la zona centro de la ciudad de Huelva. Se asume que el área en la que se localiza este punto es estable. Calculando algunas estadísticas sobre la velocidad de deformación en la zona de referencia obtenemos una desviación estándar de 1.4 mm/año. Esto nos da una estimación de las precisiones esperadas. Los valores negativos (tonos amarillos-rojos) son puntos que se alejan del satélite. Teniendo en cuenta que el tipo de deformaciones detectadas son principalmente verticales, podemos asumir que las deformaciones verticales máximas llegan a 21.5 cm/año (18 cm año en línea de vista).

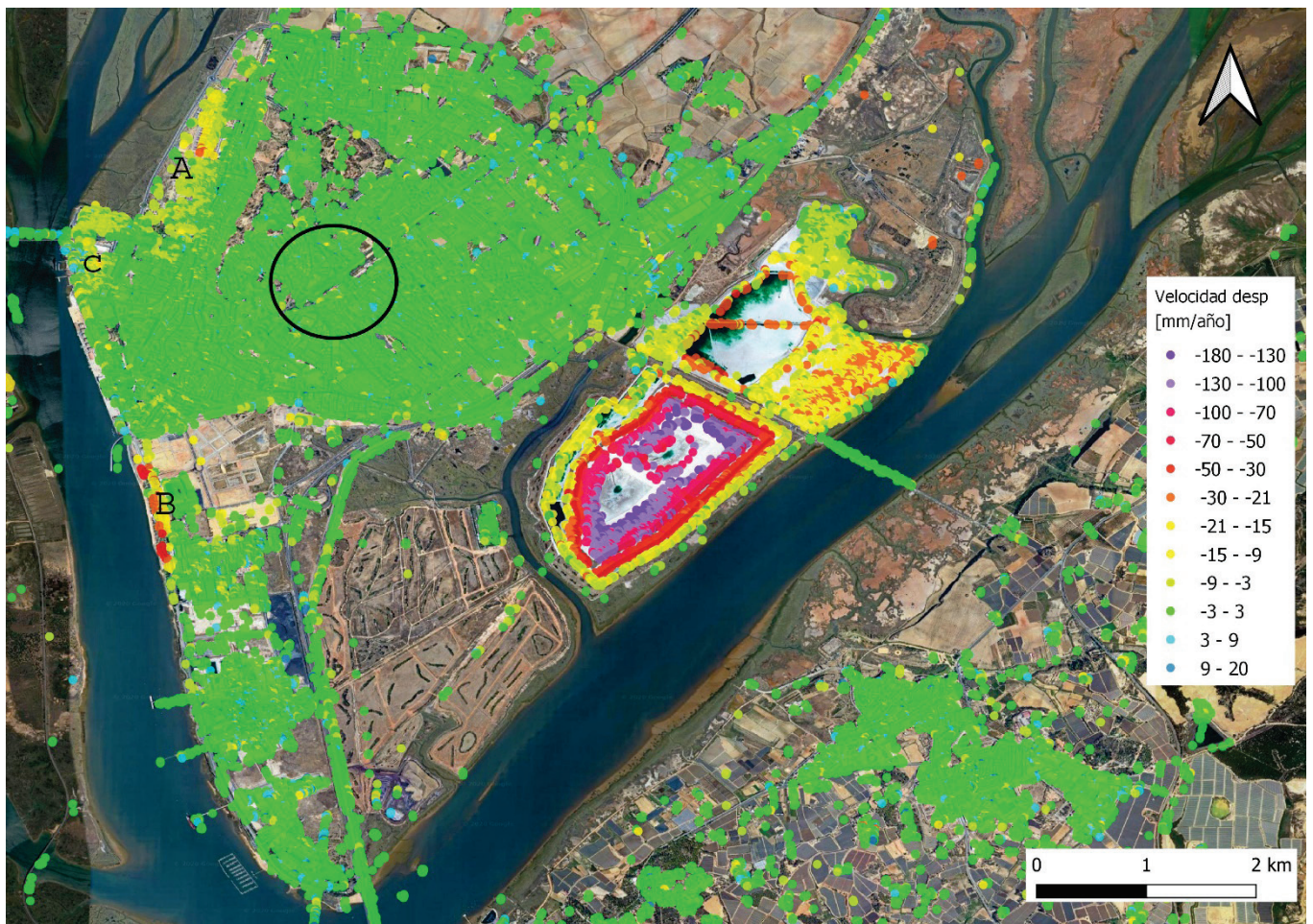


Figura 2. Velocidad de deformación en mm/año sobre la imagen procesada. El círculo marcado representa un área alrededor de la zona seleccionada como referencia sobre la que se ha estimado la precisión obtenida.

³ Todas las medidas realizadas con SAR son en la línea de vista satélite-objeto. Esto es que se mide la proyección del movimiento real en dicha línea. Cabe destacar que no se pueden observar deformaciones en la dirección perpendicular a la línea de vista.

Se han detectado algunas zonas con movimiento en el área. A parte de las dos balsas principales, se observa también una deformación las zonas indicadas por (A, B y C) en la Figura 2. En este caso la mayoría son fenómenos de subsidencia, posiblemente por asentamientos o extracción de agua. La magnitud máxima en estas tres zonas es de -12 mm/año. La zona de las balsas (Figura 3) cubre unos 7 km².

3.2 Análisis local

La Figura 3 muestra el mapa de velocidades de deformación sobre la zona de las Balsas. El objetivo de este análisis ha sido caracterizar mejor las deformaciones que las afectan. Se ha dividido el área en 4 zonas correspondientes a las 4 balsas. Los sectores 0 y 1 tienen un patrón de deformación muy similar. Como ejemplo se ha descompuesto el área 0 en tres subsectores: A, B C. A comprende la parte central de la balsa, B el anillo con pendiente alrededor del centro y C el anillo superior más plano. Los resultados indican que los movimientos son principalmente verticales. C tiene una velocidad media aproximada de -5.4 cm/año, B de -12.7 cm/año y A de -8.9 cm/año, todas en línea de vista. El anillo con pendiente presenta tasas de movimiento mayores. El hecho de que el sentido del movimiento no cambie en ambos lados de B (cara noroeste, cara sureste) indica que la principal componente de deformación en esta área también es vertical.

La Figura 4 muestra las series de deformación promedio en las áreas A, B y C. En ella se puede observar: (i) que los tres sectores tenían un comportamiento muy similar hasta diciembre 2015. (ii) una aceleración de los sectores B y C hasta Febrero de 2017 y (iii) una ligera desaceleración el sector A con una velocidad menor al sector B hasta octubre 2020.

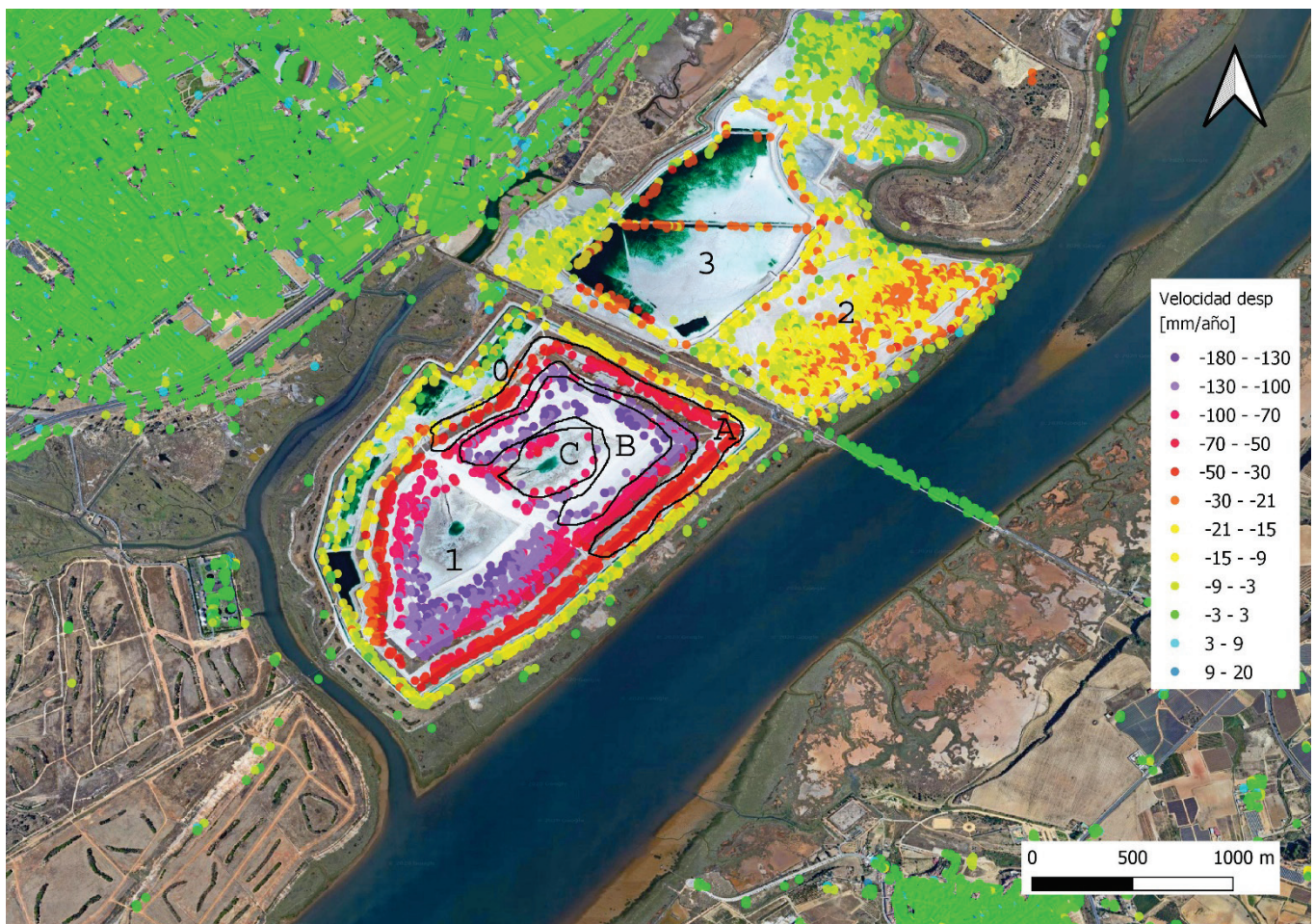


Figura 3: Velocidad de deformación en mm/año sobre la zona de las Balsas

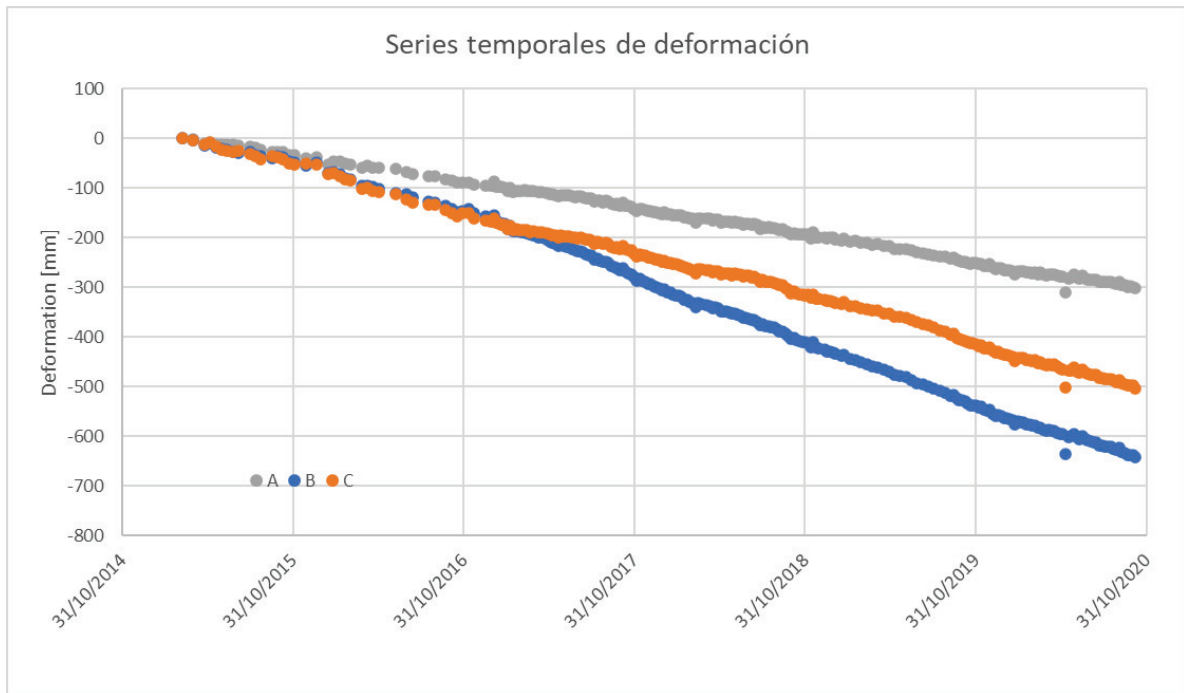


Figura 4: Series temporales de deformación promedio de las zonas A B C delimitadas en la Figura 3.

En el sector 1 el comportamiento es bastante similar al sector 0. En la parte central no se ha podido medir ningún punto. La Figura 5 muestra las series temporales promedio a zonas equivalentes a las zonas A y B del sector 1. Se observa la misma aceleración en la zona B alrededor de diciembre 2015.

El sector 2 presenta un comportamiento bastante más homogéneo que los anteriores. Sin embargo, también se pueden observar dos áreas con diferentes tendencias de deformación (zonas D y F). En la Figura 6 se pueden ver estas diferencias. La velocidad media para D es de -1.3 cm/año y para F de -2.3 cm/año en línea de vista. Mucho menores que en los sectores 0 y 1.

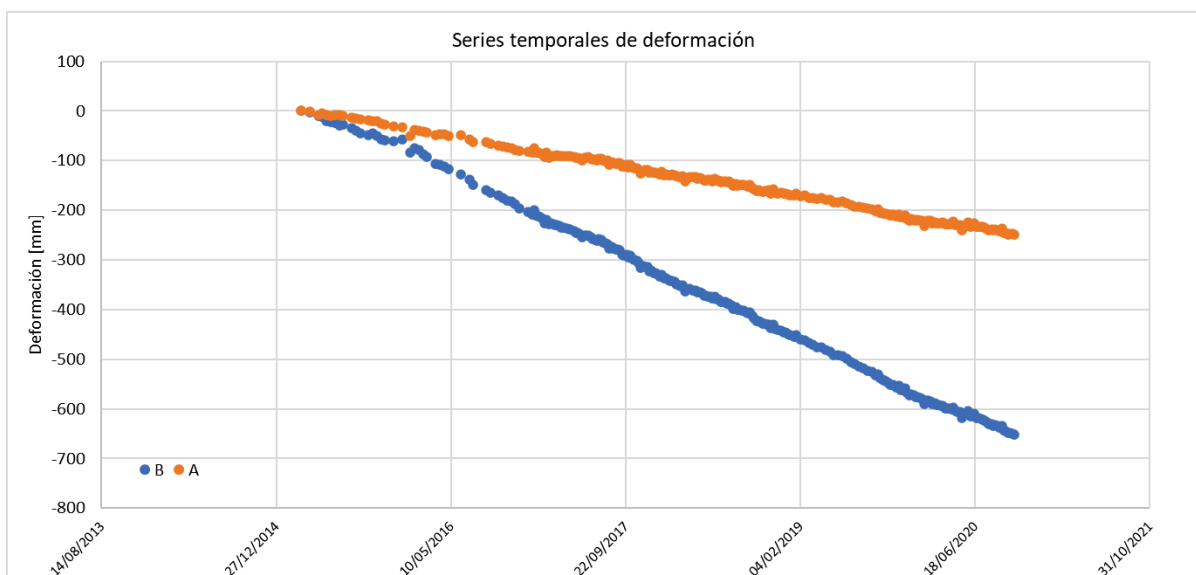


Figura 5: Series temporales de deformación promedio de zonas equivalentes a A y B pero en el área 1.

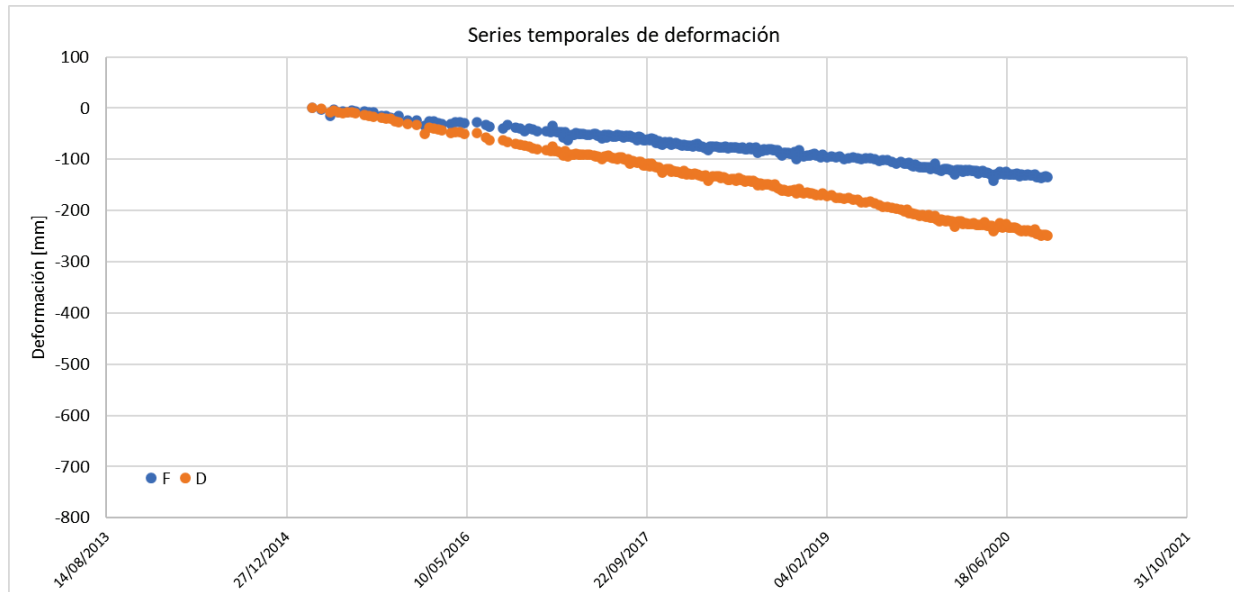


Figura 6: Series temporales de deformación promedio de zonas D y F.

Finalmente, en el sector 3 no se han podido medir muchos puntos. El motivo es que la capa superficial de la balsa en gran parte del periodo monitorizado sea bastante variable. En cualquier caso, los movimientos en la pasarela presentan una velocidad promedio de aproximadamente -2.3 cm/año. Magnitudes mucho menores que las observadas en el sector 1 y en el sector 0.

4. Conclusiones

En base a los resultados obtenidos, se puede concluir que las balsas presentan movimientos de subsidencia con magnitudes significantes. En particular:

- Las **mayores tasas de deformación se observan en el sector 1 llegando a ser de -21.5 cm al año** y acumulando movimientos de **hasta 80 cm en el periodo monitorizado**.
- En general el comportamiento es bastante lineal excepto en las zonas A y B en las que se observa un incremento de la velocidad en diciembre 2015.
- **El resto de las áreas presentan movimientos mucho menos significativos.**

Es importante destacar que, proyectando las tasas observadas hacia el pasado, podríamos llegar a acumular movimientos de **hasta 2 metros desde 2011**.