

## **Actividad 4.2: E4.2.3. Informe sobre los resultados obtenidos en los sitios de estudio – GBSAR**

**Informe del GT4: Herramientas de apoyo a los sistemas de alerta temprana para  
diferentes tipos de riesgo y modelos de costa.**

**Due date of deliverable:** 30/06/2022

**Actual submission date:** 10/08/2022

**Lead contractor for this deliverable:** CTTC

### **Autores**

Anna Barra, Cristina Reyes, Oriol Monserrat, Rosa María Mateos, Jorge Pedro Galve, Marta Bejar, Roberto Sarro, Qi Gao, Michele Crosetto



## ***Table of Content***

<b>1</b>	<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>SENSORES UTILIZADOS .....</b>	<b>5</b>
2.1	GB-SAR.....	5
2.2	Laser escáner terrestre (TLS).....	6
<b>3</b>	<b>LA HERRADURA – URB. LOS CARMENES .....</b>	<b>7</b>
3.1	Contextualización de la zona de estudio .....	7
3.2	Descripción de la campaña de medidas .....	8
3.3	Procesado de los datos .....	10
3.4	Resultados.....	12
3.5	Conclusiones .....	15
<b>4</b>	<b>EMBALSE DE RULES – EL ARRECIFE .....</b>	<b>16</b>
4.1	Contextualización de la zona de estudio .....	16
4.2	Descripción de la campaña de medidas .....	16
4.3	Procesado de los datos .....	18
4.4	Resultados.....	19
4.5	Conclusiones .....	21
<b>5</b>	<b>BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>21</b>

# 1 INTRODUCCIÓN

El GT 4 “herramientas de apoyo a los sistemas de alerta temprana para diferentes tipos de riesgo y modelos de costa” de RISKCOAST tiene como finalidad adaptar herramientas existentes o desarrollar nuevas en caso de necesidad basadas en datos de teledetección (satelital/drones/o terrestre) para apoyar a sistemas de alerta temprana frente a diferentes tipos de riesgo y modelos de costa. El objetivo es proporcionar una solución integrada capaz de absorber datos provenientes de diferentes sensores y generar mapas que puedan ser utilizados como soporte a la prevención y alerta frente a riesgos geológicos. En este GT se desarrollarán herramientas informáticas, cartográficas y matemáticas para el apoyo a sistemas de alerta temprana y a la gestión de catástrofes. Estas herramientas estarán basadas en diferentes técnicas innovadoras como la monitorización DInSAR satelital y terrestre, drones, o en simulaciones matemáticas basadas en análisis espectral.

La actividad 4.2 se centra en el uso de sensores terrestres durante la fase de emergencia en casos de deslizamientos del terreno. El objetivo es el desarrollo de herramientas de análisis y de protocolos de actuación para el uso integrado de SAR y laser escáner terrestres durante el seguimiento de un deslizamiento en las fases de prevención y emergencia

El presente informe se refiere a los resultados obtenidos en las zonas de estudio seleccionadas para esta actividad: La Urbanización Carmenes del Mar en Cerro Gordo, la Herradura (Granada) y el deslizamiento del Arrecife en Rules (Granada). Las campañas de medidas tenían dos objetivos diferentes: en el primer caso, el sensor GB-SAR fue instalado durante un mes y medio adquiriendo en continuo. El objetivo de esta campaña ha sido simular la adquisición durante una emergencia para seguir la evolución de un deslizamiento rápido. El tiempo de adquisición se ha escalado a la velocidad de deformación. El segundo caso ha servido para evaluar el seguimiento de un deslizamiento crítico, pero con un movimiento mucho menos rápido. En este caso el objetivo del GB-SAR era cubrir una zona sin respuesta al satélite con el fin de tener una mejor visión de todo el deslizamiento.

Como complemento a las campañas GB-SAR se han realizado sendas campañas con Laser Escáner Terrestre. El objetivo de estas campañas ha sido la generación de un modelo digital del terreno que permita una geolocalización precisa de la nube de puntos GB-SAR.

Los datos han sido procesados por la cadena de procesado GB-SAR desarrollada por el CTTC. La cadena esta descrita en Monserrat 2012. El producto 4.3 contiene una herramienta específica para la geocodificación de nubes de puntos GB-SAR sobre un DEM generado a partir de TLS. El manual de uso de esta herramienta se encuentra en el entregable 4.2.1.

La técnica GB-SAR permite hacer un seguimiento en tiempo casi real a distancias de hasta 4 Kms. Los mapas muestran la componente del movimiento en la dirección de vista entre el sensor y el deslizamiento. Por tanto, es fundamental encontrar un punto de vista en el que la línea de vista es lo más paralela a la dirección del deslizamiento. Valores negativos indican movimientos hacia el sensor, mientras valores positivos indican un movimiento que se aleja del sensor.

En los siguientes capítulos se enseñan los procesados y los principales resultados obtenidos en las zonas de estudio en España y Portugal.

## 2 SENSORES UTILIZADOS

### 2.1 GB-SAR

Un sistema GB-SAR es un interferómetro de microondas que permite la adquisición simultánea de un número elevado de puntos sobre áreas relativamente grandes (1 km<sup>2</sup>). La repetición en el tiempo de estas adquisiciones permite explotar la técnica interferométría SAR para hacer el seguimiento de los desplazamientos en la zona monitorizada.

Más concretamente, el sistema GB-SAR utilizado para el trabajo aquí descrito ha sido el sistema IBIS-L propiedad del CTTC y comercializado por la empresa IDS (Ingegneria dei Sistemi SpA). Este sistema proporciona una alta sensibilidad a pequeños desplazamientos, con un muestreo espacial relativamente alto y con la capacidad de medir hasta 4 km.

En la Figura 1 se muestra el sistema utilizado desde el punto de medida del deslizamiento de Rules. El sistema consta de tres módulos principales, el sensor radar (caja amarilla), el rail a través del cual se mueve el radar durante una adquisición y que dota al sistema de la capacidad para generar imágenes y, finalmente, la fuente de alimentación junto con el ordenador con el que se configura y controla la medida.



Figura 1: El sistema GB-SAR IBIS-L del CTTC.

## 2.2 Laser escáner terrestre (TLS)

Para la adquisición de datos topográficos de alta resolución se utilizó un escáner láser de largo alcance RIEGL VZ-6000 con las siguientes características técnicas ([www.riegl.com](http://www.riegl.com)):

- Alcance de medición superior a 6.000 m
- Campo de visión, 60° x 360°
- Adquisición de hasta 222.000 mediciones/seg.
- Medición basada en la digitalización del eco y el procesamiento de la forma de onda en línea.
- Capacidad para múltiples objetivos
- Procesamiento de tiempos múltiples
- Salida de datos de forma de onda opcional
- Cámara digital calibrada incorporada
- Sensores de inclinación integrados
- Receptor GNSS L1 integrado con antena
- Brújula integrada
- Unidad de almacenamiento SSD integrada



Figura 2: El sistema TLS utilizado durante las campañas de Cerro Gordo (arriba) y Rules (abajo)

### 3 LA HERRADURA – URB. LOS CARMENES

#### 3.1 Contextualización de la zona de estudio

El área de estudio abarca el Promontorio cerro Gordo (Fig. 2), una cresta formada por rocas metamórficas que sobresale hacia el mar. El desarrollo urbano en el lado este del promontorio de Cerro Gordo comenzó alrededor de 1977 en la zona de playa más cercana. La urbanización de la parte occidental de la ladera comenzó en 1997 continuando hasta 2006, año en que se completaron las últimas viviendas del complejo (Fig.2). El complejo está situado en una empinada ladera costera (35° de media) que está cubierta por vegetación de matorral y pinos. El área tuvo que ser aterrizada, y se llevaron a cabo numerosos trabajos de movimiento de tierras y relleno para nivelar el terreno. Las casas más altas se encuentran a una altitud de alrededor de 200 m y el desarrollo urbano se extendió cuesta abajo hasta una altitud de 50 m. La promoción consta de 416 casas de lujo de 2-3 plantas, muchas de ellas con piscinas privadas. Se utilizaron cimientos poco profundos en todas las casas, y especialmente cimientos de pie extendido. También se construyeron algunas instalaciones comunitarias (jardines, piscinas, pistas de pádel) y caminos de acceso. El 85% de las casas se utilizan como residencias de vacaciones y durante el verano, una población de alrededor de 1500 personas vive en el complejo, que apenas está ocupado durante la temporada de invierno. Esta urbanización es un claro ejemplo de la presión urbanística que sufre el litoral Mediterráneo y de los problemas derivados de esta.



Figura 3: Cerro Gordo visto desde el punto de vista del radar.

### 3.2 Descripción de la campaña de medidas

El objetivo en Cerro Gordo fue simular el uso del GB-SAR durante una emergencia. Para ello se instaló el sensor en un punto fijo adquiriendo cada 36 minutos durante 47 días. La campaña comenzó el 23 de octubre de 2020 y finalizó el 9 de diciembre de 2020. El GB-SAR fue instalado en el tejado de un edificio de la Herradura (Figura 3). El polígono delimitado por la línea roja muestra la zona de cobertura del radar.

La configuración del GB-SAR fue:

- Resolución en distancia: 0.5 m.
- Resolución en azimut: 0.0044 rad. Nótese que la resolución del GB-SAR en acimut es angular, i.e. varía con la distancia. En particular en la zona de interés la resolución oscila entre 6.6 y 8.8m.
- Máxima distancia de medida: 2000 m.

El 16 de octubre hubo un temporal y el viento movió el sensor. Hubo que volver a repositonar y comenzar las adquisiciones de nuevo. Además, se aprovechó la parada para reconfigurar la distancia máxima e intentar cubrir más área. El postproceso ha permitido ligar las dos campañas.

En total se adquirieron 1455 imágenes (535 previas a los días de temporal) y 920 posteriores. La figura 5 muestra la amplitud media y el modelo 3D TLS de sobre la zona.



Figura 4: Cerro Gordo visto desde el punto de vista del radar.

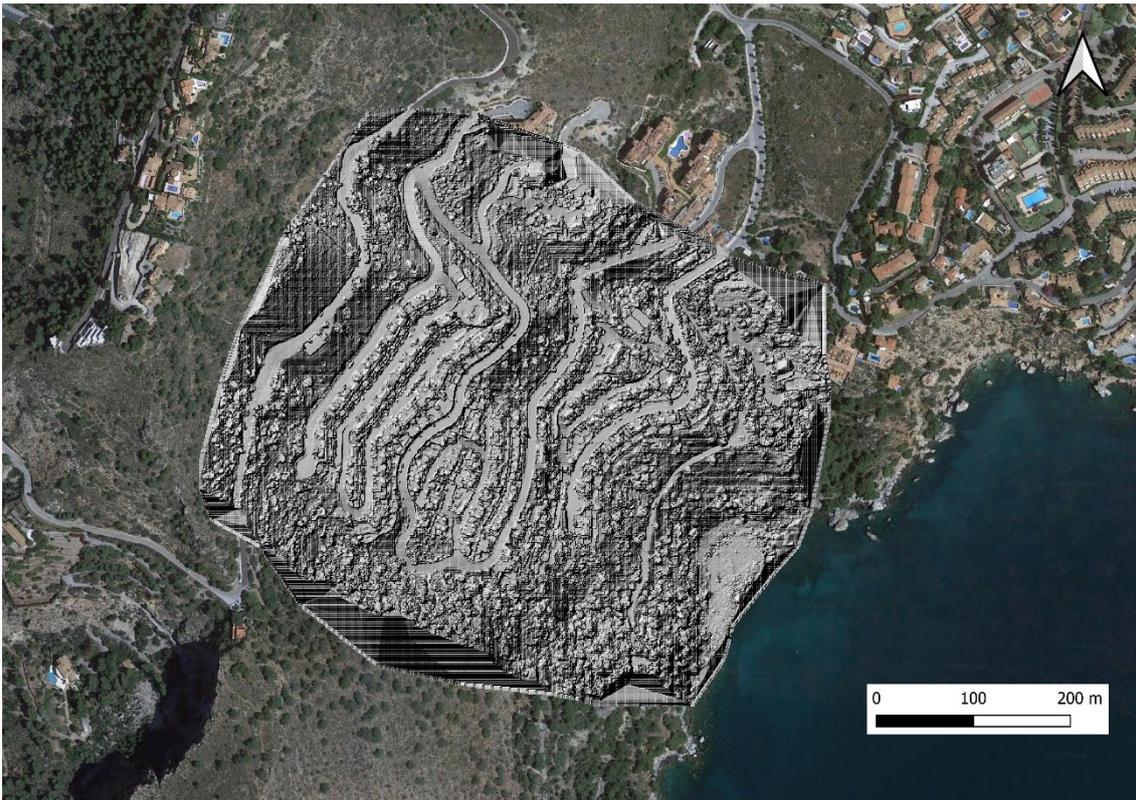
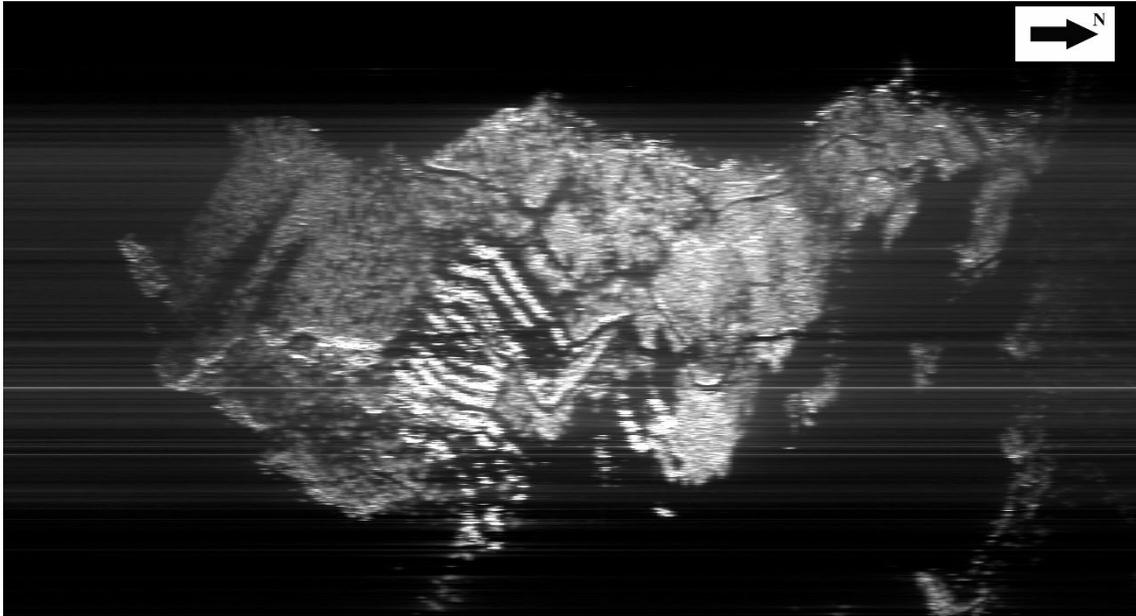


Figura 5: Imagen de amplitud media GB-SAR sobre Cerro Gordo (arriba) y Modelo Digital del Terreno obtenido a partir de las medidas Láser Escáner Terrestre.

### 3.3 Procesado de los datos

Esta sección proporciona una breve descripción del procedimiento utilizado para procesar los datos GB-SAR. Una descripción completa del procesado se describe en Monserrat et al. (2012). El objetivo final del procedimiento es obtener el movimiento acumulado en cada uno de los puntos medidos sobre cada nueva adquisición.

Todo el proceso de estimación de la deformación tiene como objetivo separar adecuadamente la componente de deformación de las otras en la siguiente ecuación:

$$\Delta\phi_{ij} = \phi_{Defo} + \phi_{Atmo_j} - \phi_{Atmo_i} + \phi_{Noise} + 2k\pi$$

donde  $\Delta\phi_{ij}$  es la fase interferométrica calculada a partir de dos imágenes,  $\phi_{Atmo_j}$  i  $\phi_{Atmo_i}$  son las componentes relacionadas con las condiciones atmosféricas en cada uno de los instantes de adquisición,  $\phi_{Noise}$  es el ruido de la señal y finalmente  $2k\pi$  es debida a la ambigüedad de fase de cualquier sistema basado en interferometría SAR.

La figura 6 muestra el procesado completo de datos GB-SAR. Para el caso particular de Cerro Gordo, el procesado incluye:

- *Generación de interferogramas y coherencia:* para cada nueva imagen se calcula el interferograma y la coherencia con respecto a la imagen anterior,
- *Selección de puntos:* para el caso de Cerro Gordo se ha utilizado la dispersión de la amplitud (DA) como criterio. El umbral utilizado es 0.3 (i.e. aquellos puntos con  $DA > 0.35$  han sido descartados),
- *Desenrollado de fase 2D:* en este paso se realiza el desarrollo de la fase sobre los puntos seleccionados,
- *Integración temporal de la fase interferométrica:* estimación de la fase acumulada entre la última adquisición y la nueva,
- *Estimación de la componente atmosférica:* en este paso se estima la componente atmosférica y se elimina del interferograma para dejar solamente la componente de fase debida al movimiento entre las dos adquisiciones,
- *Estimación del desplazamiento acumulado y geolocalización de los puntos:* Una vez tenemos el interferograma limpio, se calcula la deformación acumulada. El mapa de deformación se va actualizando cada 36 minutos permitiendo un seguimiento de todos los puntos medidos y alertar en caso de un cambio significativo. Finalmente, geocodificamos los resultados obtenidos (Geocoding). Para este Geocoding se ha utilizado un modelo 3D de alta resolución sobre la superficie iluminada obtenida a partir de una nube de puntos TLS. Esto ha permitido una geocodificación precisa de los datos GB-SAR. La precisión estimada es de aproximadamente 1.5 m

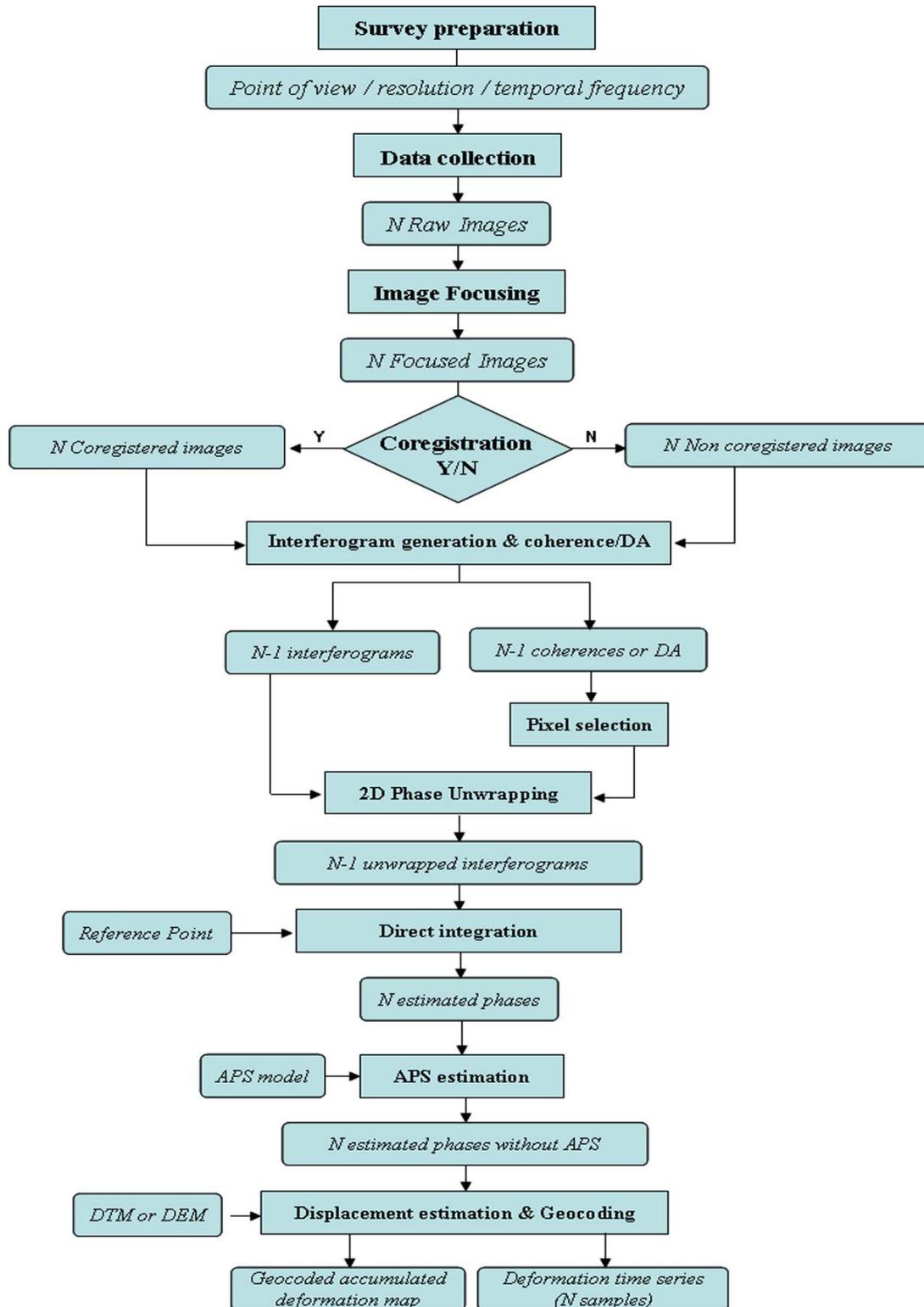


Figure 6: Flujo general de procesado GB-SAR

### 3.4 Resultados

La Figura 7 muestra el mapa de movimientos acumulados superpuesto a una imagen óptica de Google-Satellite y la Figura 8 muestra el mismo resultado sobre un modelo 3D de la zona. Se han medido 4493 puntos sobre la zona de interés. El desplazamiento medio acumulado es -0.1 mm y la desviación estándar es de 1.1 mm. Esta última medida se puede considerar como una estimación de la precisión de la medida.

Desde un punto de vista general la zona no ha sufrido movimientos significativos. En principio la campaña muestra que la mayor parte de los puntos están por debajo de 2.2 mm que sería el doble de la desviación estándar. Con el fin de analizar la zona con más detalle se han seleccionado diferentes áreas distribuidas a lo largo del área de interés y se ha analizado la evolución temporal de cada una de ellas. La Figura 9 muestra la distribución de las zonas con números [1-8]. Las Figuras 10, 11 y 12 muestran las series temporales de la zona clasificadas en base a su comportamiento. Nótese que para los puntos 6, 7, 8 solo se midió durante el periodo posterior al 16 de noviembre. El motivo que se reconfiguró el sistema para que midiese hasta los 2 km.

La Figura 10 muestra las series temporales para las áreas 4 y 5. Se observa un cambio de tendencia a partir del segundo periodo (post-temporal). Los movimientos acumulados llegan a 1.5 mm en el caso de 5 y 1.2 mm en el caso de 4. A pesar de que estas magnitudes son del orden de magnitud de la precisión estimada, se consideran significativas dada su consistencia en el tiempo. Un aspecto importante es que el movimiento medido indica alejamiento con respecto al sensor. En este contexto la medida se interpreta como que esta respondiendo la parte alta de los edificios y que estos sufren un movimiento rotacional: empuje ladera abajo en su base es inclinación hacia la ladera de su parte alta.

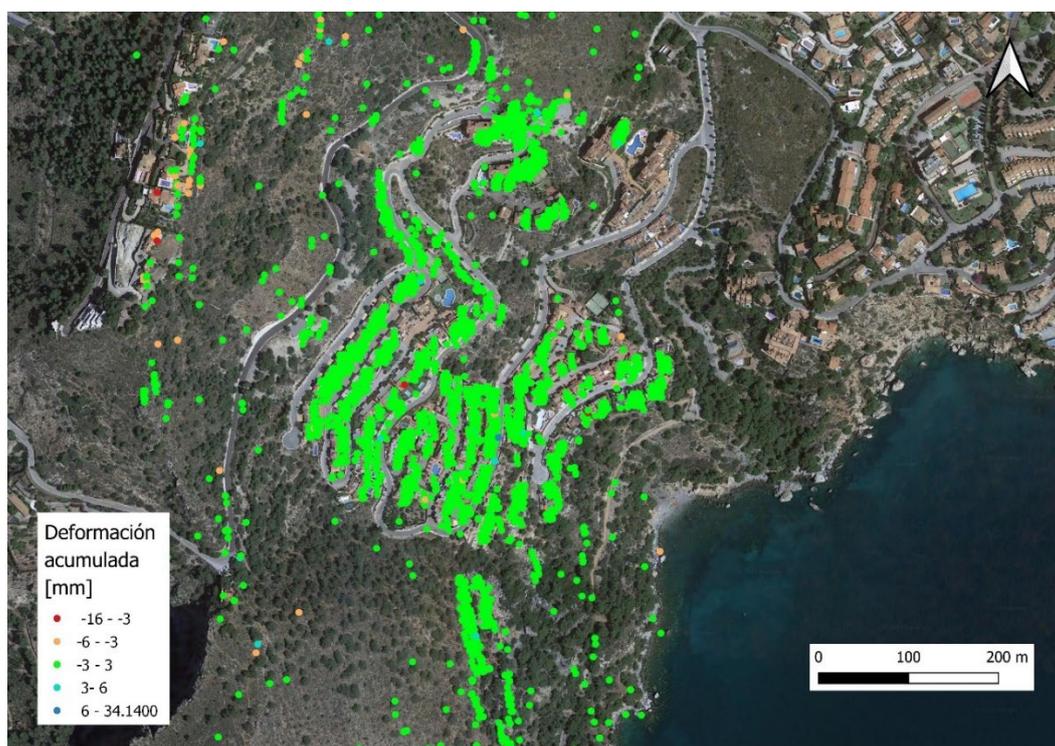


Figure 7: Movimiento acumulado en la zona de interés superpuesta a una imagen de Google satellite.

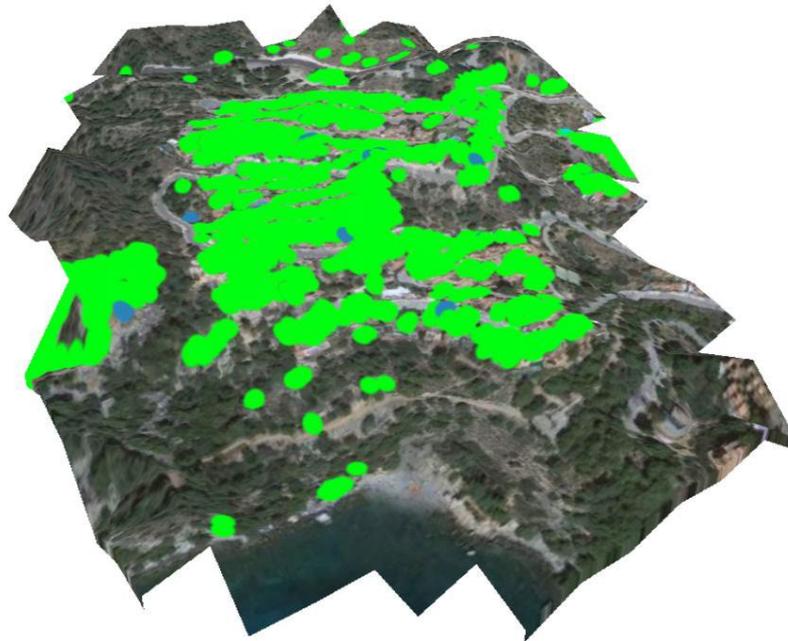


Figure 8: Vista 3D de la deformación acumulada. El modelo 3D utilizado ha sido obtenido mediante la campaña TLS.

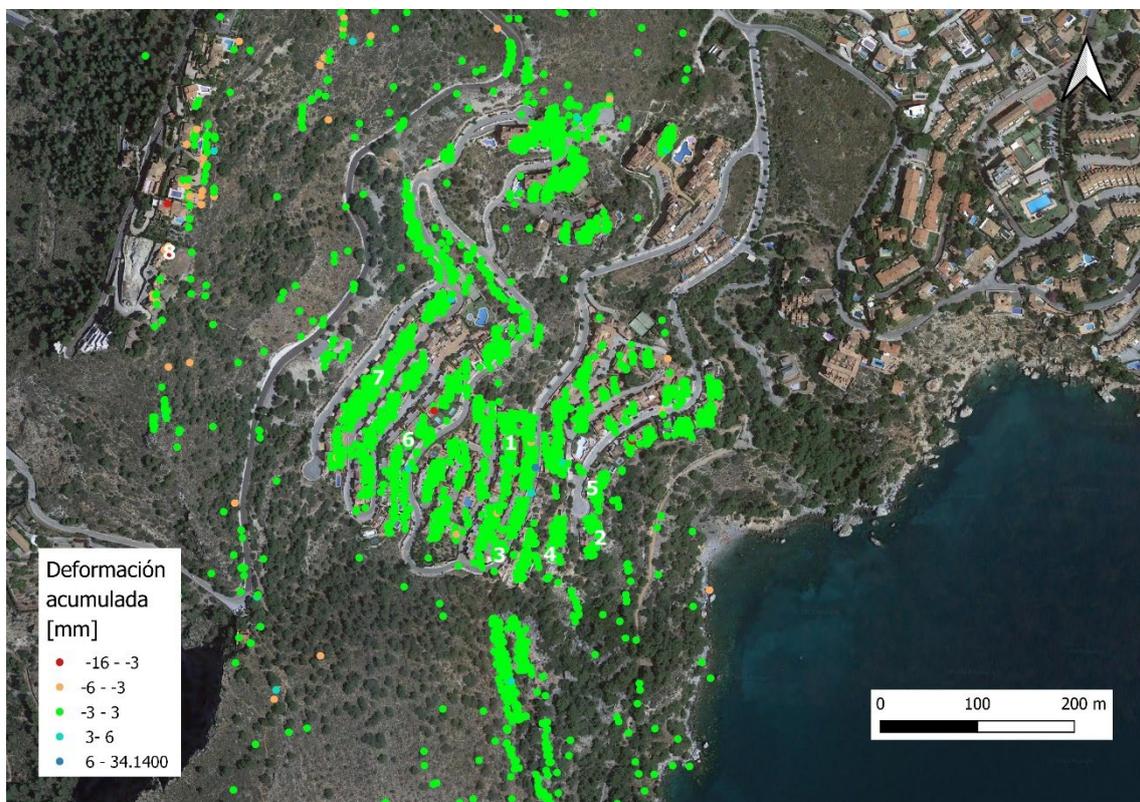


Figure 9: Zonas analizadas marcadas con números del 1 al 8.

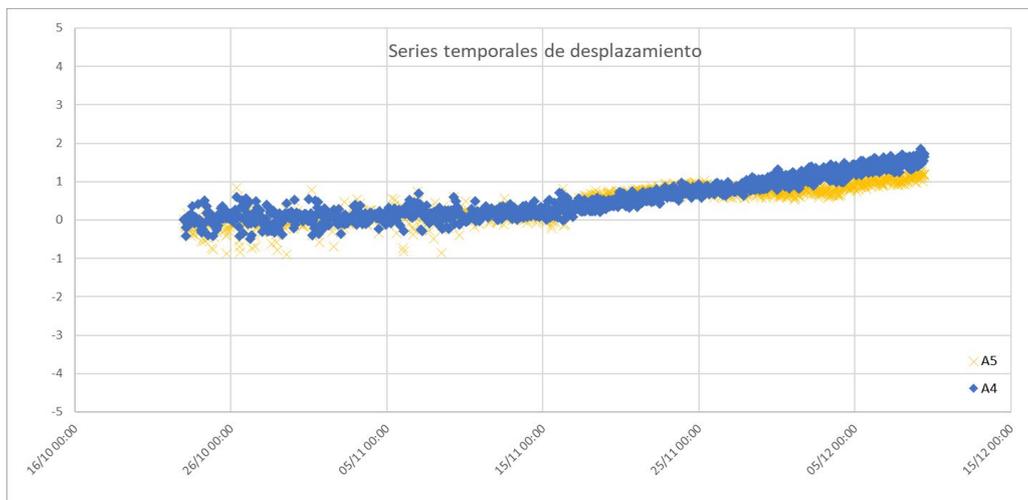


Figure 10: Series temporales de las zonas 4 y 5. Valores en [mm].

La Figura 11 muestra la evolución del resto de áreas excepto la 8. En este caso no se observa ningún tipo de tendencia significativa en el tiempo. La estabilidad de estas áreas sirve también para dar consistencia a las medidas sobre las áreas 4 y 5. Por último, la Figura 12 muestra la zona (8) en la que se han detectado los máximos movimientos. En este caso, la interpretación es que el fenómeno medido está totalmente desvinculado al deslizamiento de Cerro Gordo y probablemente sea debido a asentamientos de rellenos ya que es una zona en la que se están realizando trabajos.

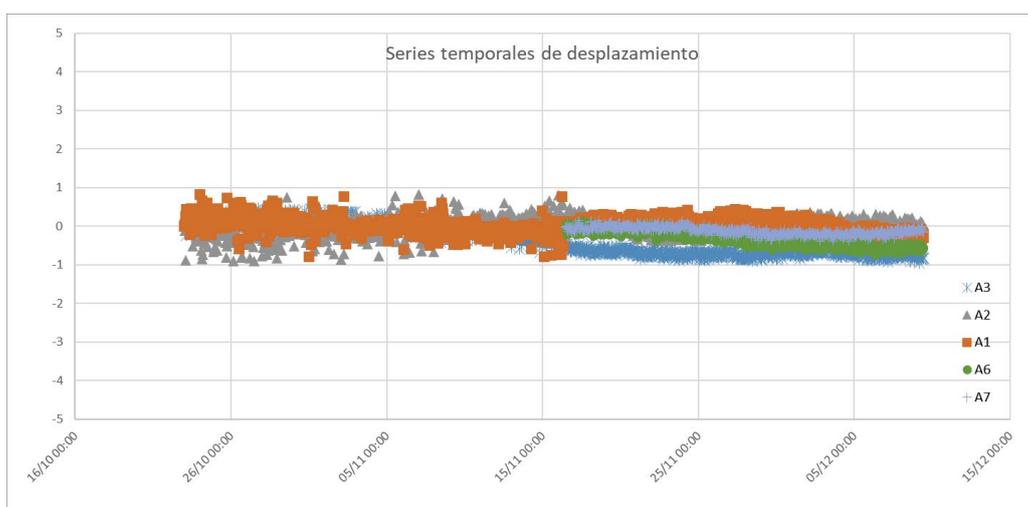


Figure 11: Series temporales de las zonas 1, 2, 3, 6 y 7. Valores en [mm].

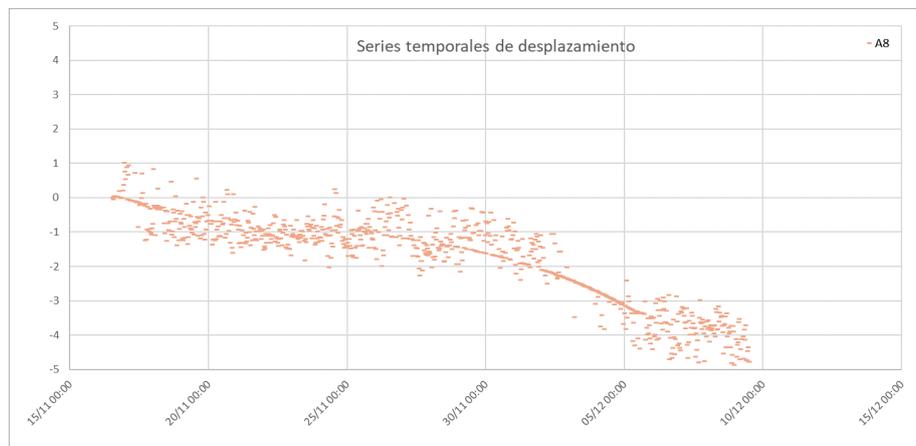


Figure 12: Series temporales de la zona 8. Valores en [mm].

### 3.5 Conclusiones

La campaña GB-SAR – TLS de Cerro Gordo es un claro ejemplo de como este tipo de sensores se puede utilizar para realizar el seguimiento de laderas inestables en tiempo casi real. Por una parte, los resultados del GB-SAR han permitido obtener una gran cantidad de puntos a lo largo de toda la ladera llegando a detectar un par de zonas con movimientos acumulados de hasta 1.5 mm. Por otra parte, el TLS ha permitido posicionar estos puntos en el terreno con precisión submétrica, localizando con gran precisión cada una de las medidas del GB-SAR, facilitando la rápida interpretación y por tanto agilizando la toma de decisiones.

En particular, comparado con otro tipo de técnicas, las ventajas que se pueden extraer de este ejercicio son:

- Visión sinóptica de la zona de interés sin necesidad de instalación de instrumentación in-situ.
- Capacidad de detección de movimientos mm en tiempo casi real.
- Mejor interpretación del fenómeno estudiado.
- No implica acceso a la zona inestable.

## 4 EMBALSE DE RULES – EL ARRECIFE

### 4.1 Contextualización de la zona de estudio

El deslizamiento de El Arrecife es un deslizamiento traslacional activo situado en la vertiente occidental del embalse de Rules, Granada. La zona del embalse de Rules se ha visto afectada por varios deslizamientos en las últimas décadas. Reyes-Carmona et al. 2020 proporciona un inventario actualizado en el que por primera vez se delimita el deslizamiento de El Arrecife. La característica más destacable del deslizamiento de El Arrecife es la ausencia de cualquier rasgo morfológico evidente de deslizamiento. El área del deslizamiento cubre unos 0,5 km<sup>2</sup>. El movimiento medido en la zona es de hasta -25 mm/año y se ha observado un desplazamiento acumulado de 10 cm en 3,5 años.

La actividad del deslizamiento de El Arrecife también se ha evidenciado en la carretera nacional N-323, que cruza el cuerpo del deslizamiento. Esta carretera ha necesitado constantes obras de reparación debido a la existencia de baches, grietas y derrumbes parciales del pavimento de la carretera. En 2013, el Ministerio de Fomento y Transportes invirtió un total de 3,8 millones de euros en la reparación de 8 km de la Carretera Nacional N-323, lo que supuso la repavimentación y restauración estructural del estribo norte del Viaducto de El Arrecife, situado en el límite sur del derrumbe de El Arrecife.

El objetivo de las campañas GB-SAR en esta zona ha sido doble: (i) conseguir medidas en la zona del Vertedero ya que en esta zona no se dispone de medidas satelitales. (ii) Evaluar la posibilidad de utilizar el GB-SAR para el monitoreo a largo plazo de laderas inestables sin necesidad de mantener el instrumento fijo.

### 4.2 Descripción de la campaña de medidas

Se realizaron 5 campañas en Cerro Gordo. 20 de octubre y 10 de diciembre de 2020 y 21 de octubre, 25 de noviembre y 15 de diciembre de 2021. Las dos primeras se realizaron antes y justo después de la instalación en Cerro Gordo. El resultado de estas campañas fue negativo ya que la pérdida de coherencia en los dos meses entre campañas fue drástica. El número de puntos medibles en la zona no era suficiente para extraer conclusiones. Para intentar mejorar este aspecto se realizaron 3 campañas más al año siguiente con un periodo de revisita de un mes. Además, se realizó una campaña TLS con el fin de geolocalizar la nube de puntos GB-SA de forma precisa. La Figura 13 muestra el punto de vista del GB-SAR y el TLS.

La configuración del GB-SAR fue:

- Resolución en distancia: 0.5 m.
- Resolución en azimut: 0.0044 rad. Nótese que la resolución del GB-SAR en azimut es angular, i.e. varía con la distancia. En particular en la zona de interés la resolución oscila entre 6.6 y 8.8m.
- Máxima distancia de medida: 1500 m.

En total se adquirieron 10 imágenes por campaña. La figura 14 muestra la amplitud media y el modelo 3D del terreno obtenido a partir del TLS.



Figure 13: Punto de vista del GB-SAR para las medidas del deslizamiento del Arrecife.

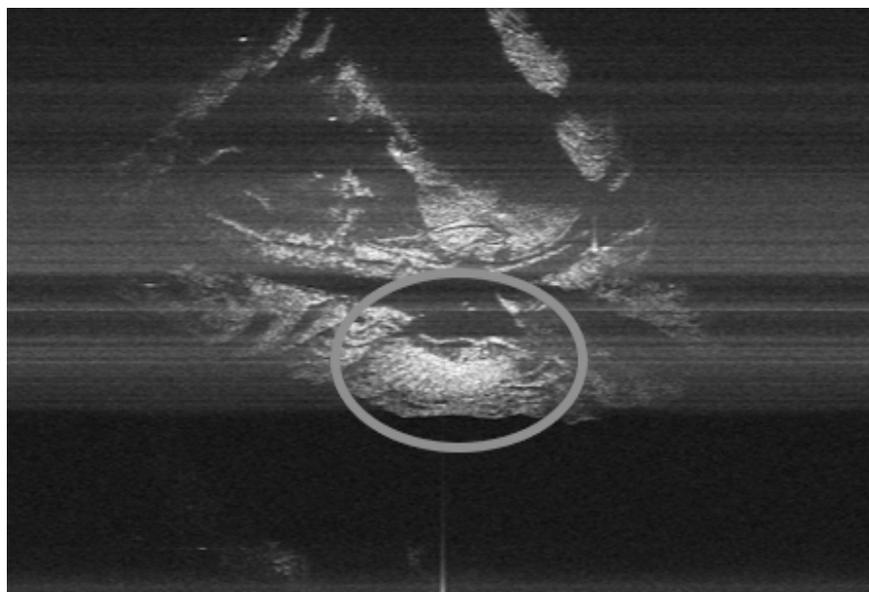


Figure 14: Imagen de amplitud de la campaña realizada el 20 de octubre de 2020



Figure 15: Modelo digital obtenido a partir de una nube de puntos TLS sobre la zona de Rules.

### 4.3 Procesado de los datos

Los datos han sido procesados con la cadena de procesamiento GB-SAR desarrollada en el CTTC. Para el caso de Rules, el procedimiento seguido es sensiblemente diferente al utilizado en Cerro Gordo. La necesidad de cambiar el procedimiento viene dada por el reposicionamiento del instrumento. La Figura 16 muestra un esquema del procedimiento utilizado. A continuación, se describe brevemente cada uno de los pasos, asumiendo 4 campañas.

1. *Procesado campaña (i)*: Para cada campaña, se calcula una media de todas las adquisiciones dando como resultado una sola imagen SAR por campaña con una componente de ruido reducida.
2. *Coregistración* respecto a la máster: las imágenes de las campañas 2, 3 y 4 se coregistran en la imagen de la campaña 1 con el fin de corregir los efectos del reposicionamiento del instrumento. El resultado de este paso son cuatro imágenes SAR con la misma geometría.
3. *Cálculo de los interferogramas*: en este paso se calculan todos los interferogramas posibles a partir de las 4 imágenes coregistradas.
4. *Selección de puntos*: para el caso de Rules se ha utilizado la dispersión de la amplitud (DA) como criterio. El umbral utilizado es 0.3 (puntos con  $DA > 0.3$  han sido descartados).
5. *Phase unwrapping*: en este paso se realiza el desenrollado de la fase sobre los puntos seleccionados.
6. *Control de consistencia*: este paso consiste en un control del desenrollado de fase. El resultado es un conjunto de 3 interferogramas desenrollados combinación de cada una de las imágenes con respecto a la primera.

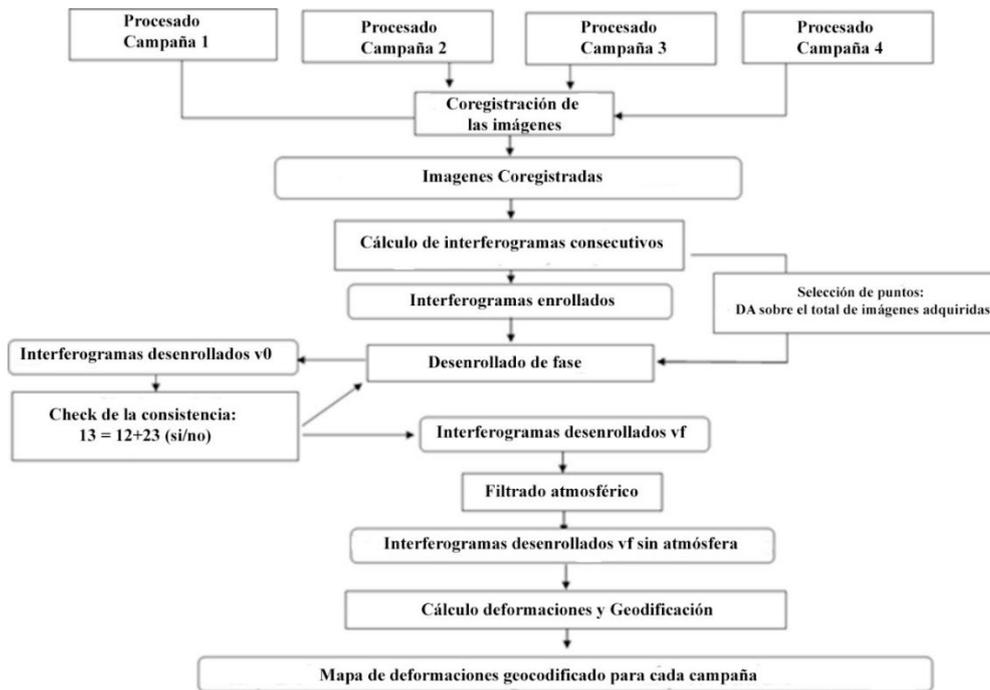


Figure 16: Flujo general de procesado GB-SAR

7. *Filtrado atmósfera*: En este paso se elimina la estimación de la troposfera en las fases acumuladas. Una vez estimada, esta se elimina de los interferogramas.
8. *Cálculo deformación y geocodificación*: Una vez tenemos la fase acumulada sin atmósfera, se calcula el equivalente en movimiento de esta. Finalmente, geolocalizamos los resultados obtenidos. Para realizar la geolocalización de los puntos se ha utilizado un modelo 3D de alta resolución sobre la superficie iluminada obtenida a partir de una nube de puntos Láser Escáner. Esto ha permitido una geolocalización precisa de los datos GB-SAR. La precisión estimada es de aproximadamente 1.5 m

#### 4.4 Resultados

Los resultados obtenidos en Rules no ha sido satisfactorios. Las 2 primeras campañas no dieron resultados satisfactorios ya que la coherencia de los puntos se perdía. Probablemente esto sea debido a que el periodo entre adquisiciones fue demasiado largo considerando el tipo de superficie monitorizado. En la Figura 17 se muestran 2 coherencias, la correspondiente al interferograma octubre-diciembre 2020 (izquierda) y la correspondiente al interferograma noviembre-diciembre 2021 (derecha). Se observa que la coherencia del segundo es significativamente más alta que la del primero. En este caso el principal motivo es la combinación entre tipo de superficie monitoreada y base temporal entre las dos adquisiciones. El resultado de 2020 determinó que el tiempo entre adquisiciones debería ser bastante menor que los 60 días que hay entre las dos adquisiciones. Por ello en 2021 se realizaron 3 campañas con una base temporal mensual.

La Figura 19 muestra el mapa de movimientos acumulados entre el 20 de octubre y el 15 de diciembre de 2021. En este caso, la densidad de puntos medible ha sido suficiente. Sin embargo, comparado con el caso de Cerro Gordo, el nivel de ruido es sensiblemente mayor. La precisión se ha estimado en 5 mm.

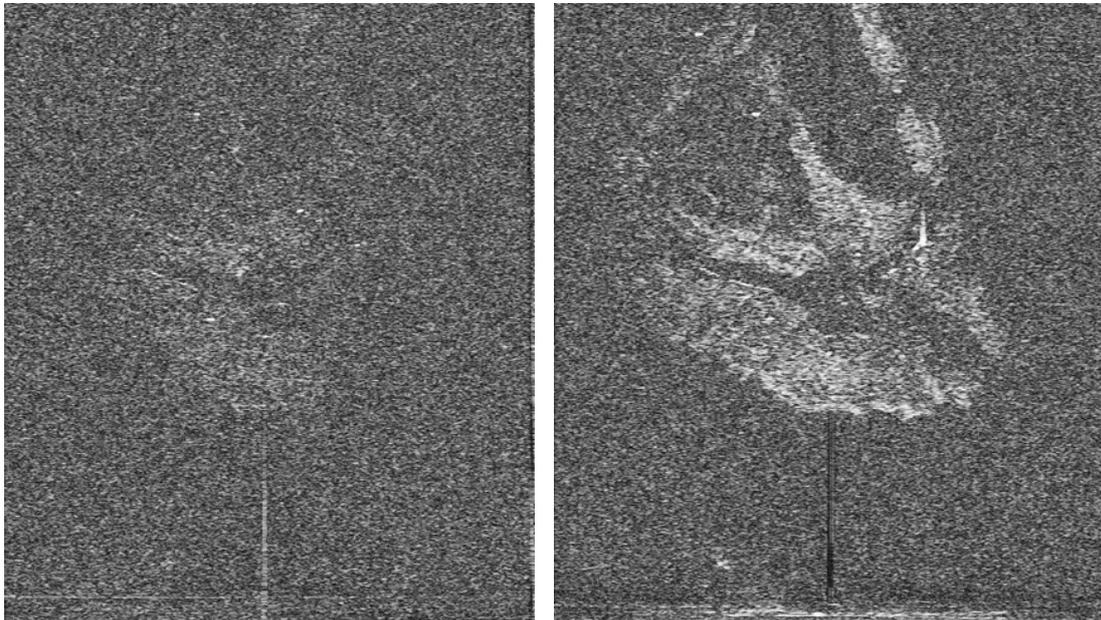


Figure 18: coherencia interferograma octubre-diciembre 2020 (izquierda) e interferograma.

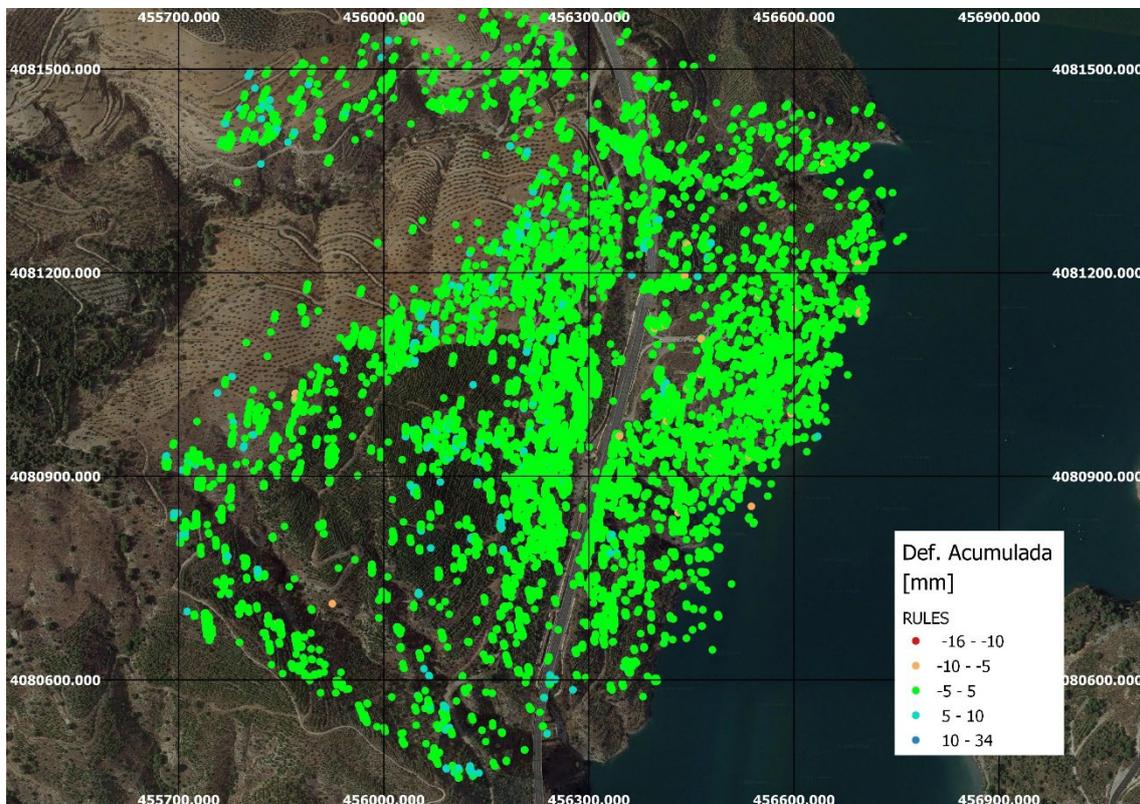


Figure 19: coherencia interferograma octubre-diciembre 2020 (izquierda) e interferograma.

#### 4.5 Conclusiones

El caso de Rules ilustra las potencialidades y las limitaciones del uso del GB-SAR como instrumento para el monitoreo de movimientos a largo plazo. El ejercicio ha evidenciado la necesidad de realizar una calibración sobre el periodo de revisita para garantizar una cantidad de medidas suficientes para sacar el máximo partido a este tipo de técnica.

Durante el periodo octubre – diciembre de 2020 no se detectaron movimientos menores a 5 mm.

## 5 BIBLIOGRAFIA

Montero, J. C., del Pozo, J. H., & del Castillo, T. F. (1992). Movimientos de ladera en la costa granadina al W de Salobreña. In Simposios: III Congreso geológico de España y VIII Congreso Latinoamericano de Geología (pp. 610-619). Universidad de Salamanca.

Chacón, J., Irigaray, C., del Castillo, T. F., El Hamdouni, R., Jiménez-Perálvarez, J., Alameda, P., ... & Palenzuela, J. A. (2014). Urban landslides at the south of Sierra Nevada and coastal areas of the Granada Province (Spain). In *Landslide science for a safer geoenvironment* (pp. 425-430). Springer, Cham.

Chacón, J., Hamdouni, R. E. L., Irigaray, C., Jiménez-Perálvarez, J., Fernández, P., Fernández, T., ... & Moya, J. (2016). Movimientos de ladera en la Costa de Almuñécar y su entorno. *Geogaceta*, 59, 87-90.

Devanthery, N.; Crosetto, M.; Monserrat, O.; Cuevas-González, M.; Crippa, B. An approach to Persistent Scatterer Interferometry. *Remote Sensing*, 2014, 6, 6662-6679.

Mateos, R. M., Azañón, J. M., Roldán, F. J., Notti, D., Pérez-Peña, V., Galve, J. P., ... & Devantery, N. (2017). The combined use of PSInSAR and UAV photogrammetry techniques for the analysis of the kinematics of a coastal landslide affecting an urban area (SE Spain). *Landslides*, 14(2), 743-754.

Monserrat, O., 2012. Deformation measurement and monitoring with Ground-Based SAR. PhD thesis, Technical University of Catalonia.

Monserrat, O., Crosetto, M., & Luzi, G. (2014). A review of ground-based SAR interferometry for deformation measurement. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 93, 40-48.

Notti, D., Galve, J. P., Mateos, R. M., Monserrat, O., Lamas-Fernández, F., Fernández-Chacón, F., ... & Azañón, J. M. (2015). Human-induced coastal landslide reactivation. Monitoring by PSInSAR techniques and urban damage survey (SE Spain). *Landslides*, 12(5), 1007-1014.

Reyes-Carmona, C., Barra, A., Galve, J. P., Monserrat, O., Pérez-Peña, J. V., Mateos, R. M., ... & Azañón, J. M. (2020). Sentinel-1 DInSAR for Monitoring Active Landslides in Critical Infrastructures: The Case of the Rules Reservoir (Southern Spain). *Remote Sensing*, 12(5), 809.