

## **Actividad 1.3: E4.1.3. Informe sobre los resultados obtenidos en los sitios de estudio**

**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:** 30/06/2020

**Actual submission date:** 30/06/2020

**Lead contractor for this deliverable:** CTTC

### **Autores**

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



## ***Table of Content***

<b>1</b>	<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>ESPAÑA: ISLAS BALEARES .....</b>	<b>5</b>
2.1	Resultados GEP en Ibiza.....	5
2.2	Resultados GEP en Mallorca.....	8
<b>3</b>	<b>ESPAÑA: GRANADA.....</b>	<b>10</b>
3.1	Resultados GEP Granada .....	10
3.2	Resultados PSIG Granada .....	15
3.3	Embalse de Rules .....	17
3.4	Zona costera.....	17
<b>4</b>	<b>ESPAÑA: DELTA DEL EBRO (TARRAGONA, CATALUÑA) .....</b>	<b>21</b>
<b>5</b>	<b>PORTUGAL .....</b>	<b>23</b>
5.1	Resultados GEP en Lisboa.....	23
<b>6</b>	<b>CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS .....</b>	<b>28</b>
<b>7</b>	<b>REFERENCIAS.....</b>	<b>29</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 1.3 se centra en la técnica de interferometría satelital con el objetivo de generar mapas para detectar, caracterizar y monitorizar movimientos superficiales asociados con riesgos.

El presente informe se refiere a los resultados obtenidos hasta ahora en los sitios de estudio con técnicas de interferometría satelital. Los resultados que se presentan se han desarrollado utilizando imágenes adquiridas por la pareja de satélites Sentinel-1 (A y B), procesadas en parte a través de la plataforma Geohazard Exploitation Platform (GEP) en parte con la cadena de procesado del CTTC (PSIG) , dependiendo de la zona de estudio.

Los datos Sentinel-1 cubren áreas de 250x250 km<sup>2</sup>, permitiendo cubrir áreas a escala regional, adquieren una imagen cada 6 días, tienen una resolución nominal de 4x14 m<sup>2</sup>, y son completamente gratuitos.

Geohazard Exploitation Platform (GEP) es una plataforma web desarrollada por la Agencia Espacial Europea (ESA) que permite la explotación de datos satelitales de Observación de la Tierra (EO) para el análisis de peligros geológicos. GEP proporciona varias herramientas y servicios de procesado, incluida la interferometría de radar (InSAR), que es una técnica efectiva para monitorear procesos geológicos como el vulcanismo, subsidencia o deslizamientos de tierra. En particular se ha

utilizado el servicio Sentinel-1 CNR-IREA SBAS, una de las aplicaciones temáticas GEP InSAR que consiste en una cadena de procesado para la generación de series temporales y velocidad media de desplazamiento. Los resultados tienen una resolución de  $90 \times 90 \text{ m}^2$ .

La cadena de procesado PSOG del CTTC permite más flexibilidad y control de todos los pasos del procesado. En los procesados que se presentan se ha utilizado la máxima resolución del dato ( $4 \times 14 \text{ m}^2$ ) y se han generados mapas con series temporales y velocidades anuales de desplazamiento. Para más detalles sobre la cadena PSIG se refiere a Devanthéry et al., 2014.

La técnica InSAR permite medir los movimientos en la línea de vista del satélite (LOS). Todos los mapas enseñan la componente del movimiento en la dirección de vista del satélite. Valores negativos indican un movimiento que se acerca al satélite, mientras valores positivos indican un movimiento que se aleja del satélite.

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

## 2 ESPAÑA: ISLAS BALEARES

### 2.1 Resultados GEP en Ibiza

Se han utilizado imágenes Sentinel-1 A que cubren el periodo febrero 2015 – octubre 2019 (véase la Tabla 1 para la lista de las imágenes utilizadas), en geometría ascendente y orbita relativa 30. En la Fig. 1 se enseña el mapa de desplazamiento global (mapa de velocidad) y en la Fig. 2 un ejemplo de movimientos detectados, incluido dos ejemplos de series temporales de desplazamiento.

N.	Fecha	N.	Fecha	N.	Fecha	N.	Fecha	N.	Fecha
1	28/02/2015	31	05/05/2016	61	12/05/2017	91	31/05/2018	121	19/06/2019
2	12/03/2015	32	17/05/2016	62	24/05/2017	92	12/06/2018	122	01/07/2019
3	24/03/2015	33	29/05/2016	63	05/06/2017	93	24/06/2018	123	13/07/2019
4	05/04/2015	34	10/06/2016	64	17/06/2017	94	06/07/2018	124	25/07/2019
5	17/04/2015	35	04/07/2016	65	29/06/2017	95	18/07/2018	125	06/08/2019
6	29/04/2015	36	16/07/2016	66	23/07/2017	96	30/07/2018	126	18/08/2019
7	11/05/2015	37	28/07/2016	67	04/08/2017	97	11/08/2018	127	30/08/2019
8	23/05/2015	38	09/08/2016	68	16/08/2017	98	23/08/2018	128	11/09/2019
9	04/06/2015	39	21/08/2016	69	28/08/2017	99	04/09/2018	129	23/09/2019
10	16/06/2015	40	02/09/2016	70	09/09/2017	100	16/09/2018	130	05/10/2019
11	28/06/2015	41	14/09/2016	71	21/09/2017	101	28/09/2018	131	17/10/2019
12	10/07/2015	42	26/09/2016	72	03/10/2017	102	10/10/2018		
13	22/07/2015	43	08/10/2016	73	15/10/2017	103	22/10/2018		
14	27/08/2015	44	20/10/2016	74	27/10/2017	104	03/11/2018		
15	08/09/2015	45	01/11/2016	75	08/11/2017	105	15/11/2018		
16	20/09/2015	46	13/11/2016	76	20/11/2017	106	27/11/2018		
17	02/10/2015	47	25/11/2016	77	02/12/2017	107	09/12/2018		
18	19/11/2015	48	07/12/2016	78	14/12/2017	108	02/01/2019		
19	01/12/2015	49	19/12/2016	79	26/12/2017	109	14/01/2019		
20	13/12/2015	50	31/12/2016	80	07/01/2018	110	26/01/2019		
21	25/12/2015	51	12/01/2017	81	19/01/2018	111	07/02/2019		
22	06/01/2016	52	24/01/2017	82	31/01/2018	112	19/02/2019		
23	18/01/2016	53	05/02/2017	83	12/02/2018	113	15/03/2019		
24	30/01/2016	54	17/02/2017	84	24/02/2018	114	27/03/2019		
25	23/02/2016	55	01/03/2017	85	08/03/2018	115	08/04/2019		
26	06/03/2016	56	13/03/2017	86	20/03/2018	116	20/04/2019		
27	18/03/2016	57	25/03/2017	87	13/04/2018	117	02/05/2019		
28	30/03/2016	58	06/04/2017	88	25/04/2018	118	14/05/2019		
29	11/04/2016	59	18/04/2017	89	07/05/2018	119	26/05/2019		
30	23/04/2016	60	30/04/2017	90	19/05/2018	120	07/06/2019		

Tabla 1. Lista de imágenes Sentinel-1 A utilizadas para el procesado GEP en la isla de Ibiza (Baleares, España).

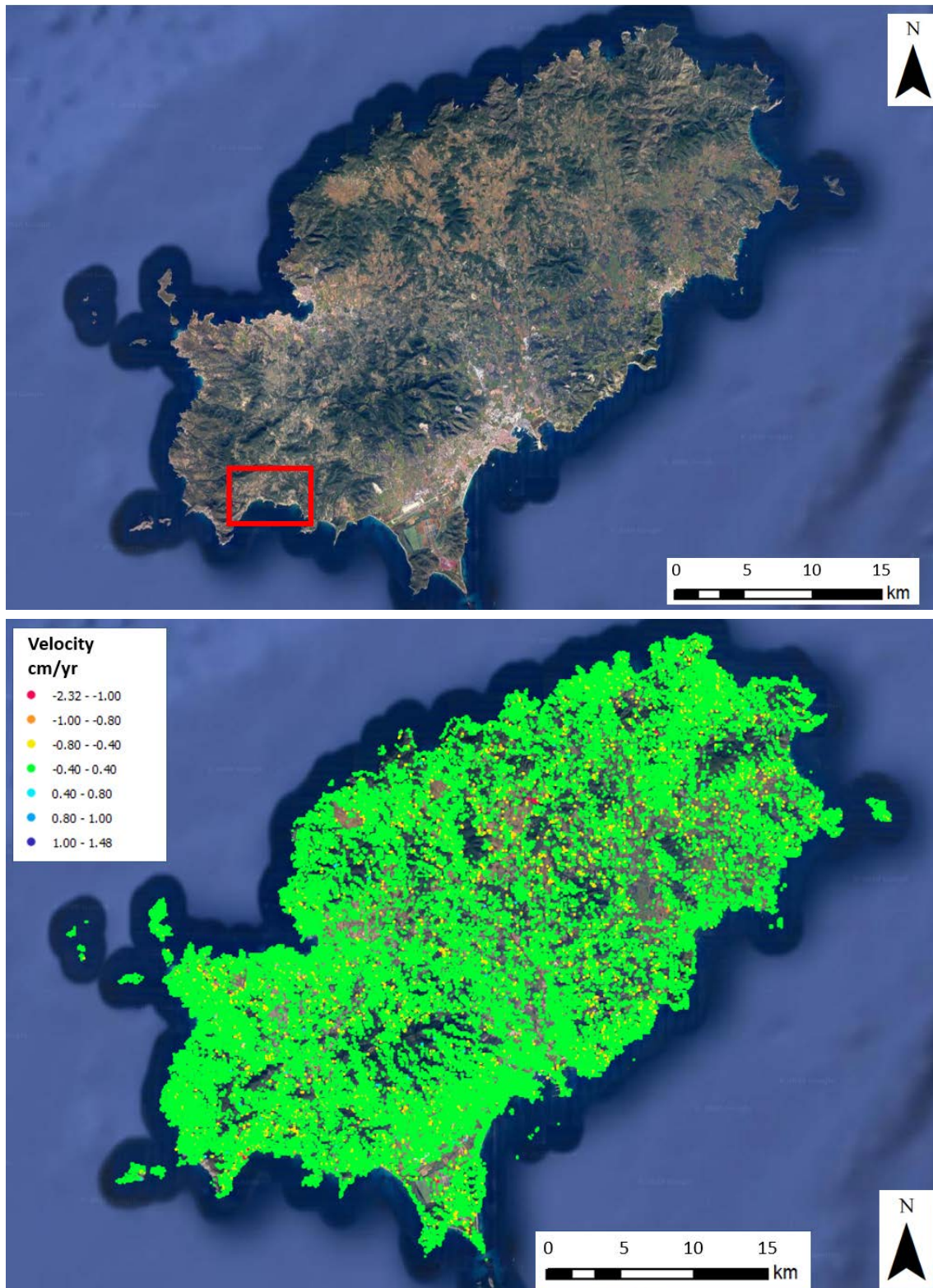


Fig. 1. Ibiza (Islas Baleares, España). Arriba: imagen óptica satelital Google, el cuadro rojo indica la zona representada en la Fig. 2. Abajo: el mapa de velocidades (cm/año) derivado por un procesado GEP ascendente. Cada punto representa un área de 90x90 m<sup>2</sup>.

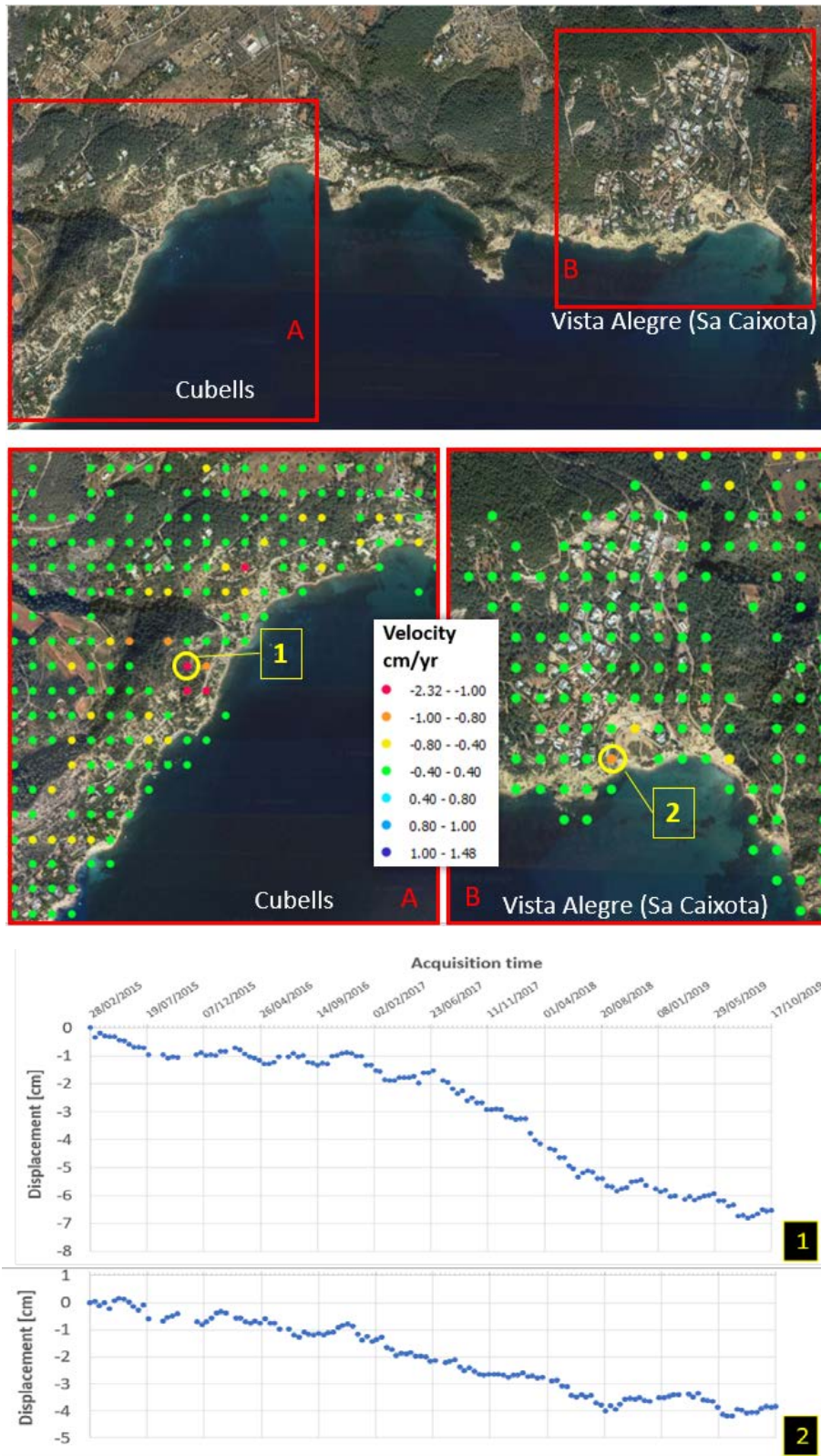


Fig. 2. Detalle de la zona marcada con el cuadro rojo en la Fig. 1. Desde arriba hacia abajo se en seña dos zonas de interés con sus respectivos mapas de velocidades y dos ejemplos de series temporales de desplazamiento de los puntos indicados por los números en amarillo.

## 2.2 Resultados GEP en Mallorca

Se han utilizado 99 imágenes Sentinel-1 A y B que cubren el periodo enero 2018 – marzo 2020 (véase la Tabla 2 para la lista de las imágenes utilizadas), en geometría descendente y órbita relativa 37. En la Fig. 1 se enseña el mapa de desplazamiento global (mapa de velocidad) y en la Fig. 2 un ejemplo de movimientos detectados, incluido dos ejemplos de series temporales de desplazamiento.

N	Fecha	N	Fecha	N	Fecha	N	Fecha
1	20/01/2018	27	28/12/2018	53	08/06/2019	79	11/11/2019
2	25/07/2018	28	03/01/2019	54	14/06/2019	80	17/11/2019
3	31/07/2018	29	09/01/2019	55	20/06/2019	81	23/11/2019
4	06/08/2018	30	15/01/2019	56	26/06/2019	82	29/11/2019
5	12/08/2018	31	21/01/2019	57	02/07/2019	83	05/12/2019
6	18/08/2018	32	27/01/2019	58	08/07/2019	84	11/12/2019
7	24/08/2018	33	02/02/2019	59	14/07/2019	85	17/12/2019
8	30/08/2018	34	08/02/2019	60	20/07/2019	86	23/12/2019
9	05/09/2018	35	14/02/2019	61	26/07/2019	87	29/12/2019
10	11/09/2018	36	20/02/2019	62	01/08/2019	88	04/01/2020
11	17/09/2018	37	04/03/2019	63	07/08/2019	89	10/01/2020
12	23/09/2018	38	10/03/2019	64	13/08/2019	90	16/01/2020
13	29/09/2018	39	16/03/2019	65	19/08/2019	91	22/01/2020
14	05/10/2018	40	22/03/2019	66	25/08/2019	92	28/01/2020
15	11/10/2018	41	28/03/2019	67	31/08/2019	93	03/02/2020
16	17/10/2018	42	03/04/2019	68	06/09/2019	94	09/02/2020
17	23/10/2018	43	09/04/2019	69	12/09/2019	95	15/02/2020
18	29/10/2018	44	15/04/2019	70	18/09/2019	96	21/02/2020
19	04/11/2018	45	21/04/2019	71	24/09/2019	97	27/02/2020
20	10/11/2018	46	27/04/2019	72	30/09/2019	98	04/03/2020
21	16/11/2018	47	03/05/2019	73	06/10/2019	99	10/03/2020
22	22/11/2018	48	09/05/2019	74	12/10/2019	100	
23	28/11/2018	49	15/05/2019	75	18/10/2019	101	
24	04/12/2018	50	21/05/2019	76	24/10/2019	102	
25	16/12/2018	51	27/05/2019	77	30/10/2019	103	
26	22/12/2018	52	02/06/2019	78	05/11/2019	104	

Tabla 2. Lista de imágenes Sentinel-1 A descendente utilizadas para el procesado GEP en la isla de Mallorca (Baleares, España).



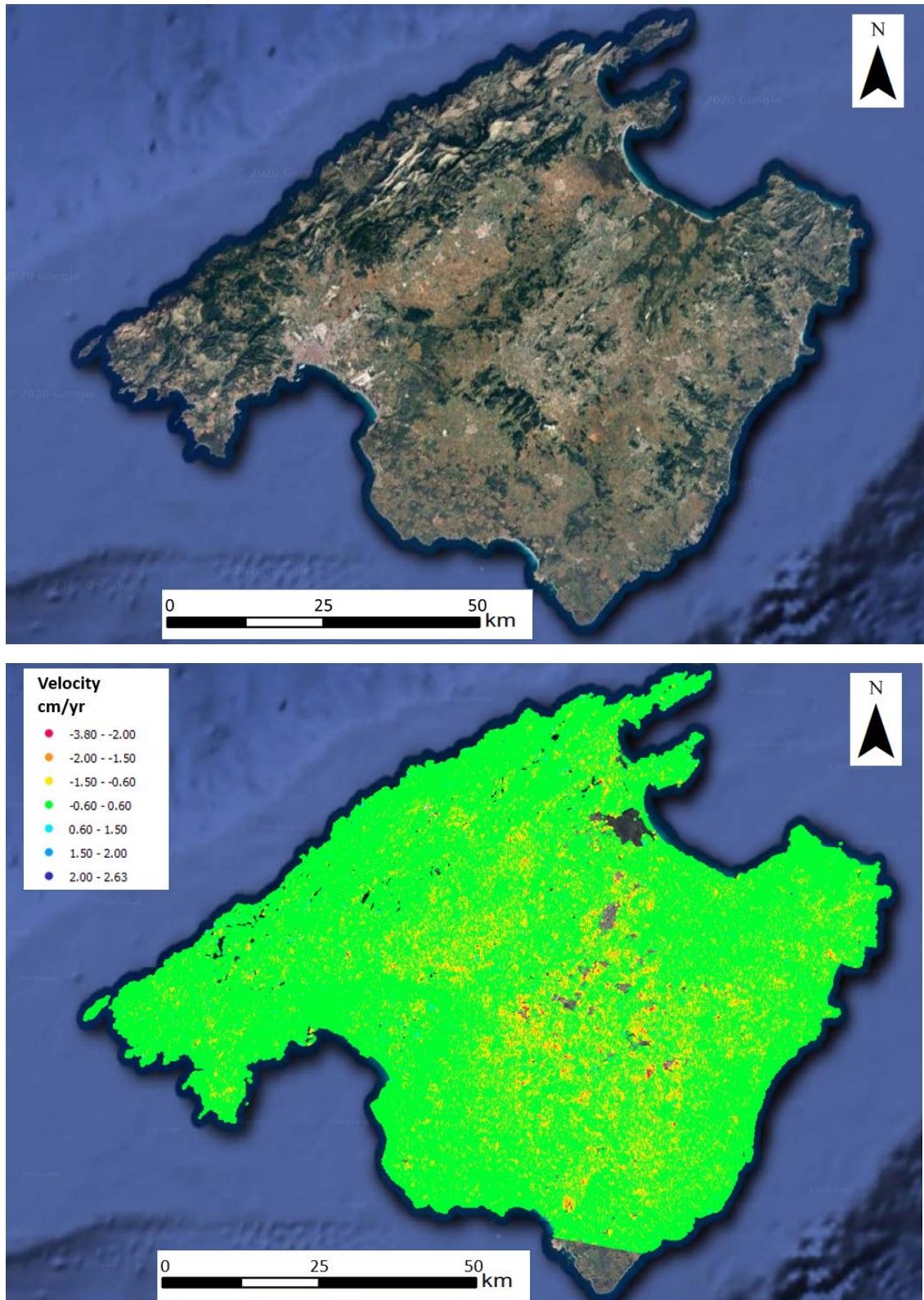


Fig. 3. Mallorca (Islas Baleares, España). Arriba: imagen óptica satelital Google, el cuadro rojo indica la zona representada en la Fig. 2. Abajo: el mapa de velocidades (cm/año) derivado por un procesado GEP descendente. Cada punto representa un área de 90x90 m<sup>2</sup>.

### 3 ESPAÑA: GRANADA

En la zona de la provincia de Granada se han hecho diferentes procesados:

1. Procesado GEP ascendente
2. Procesado GEP descendente
3. Procesado PSIG ascendente

La zona principal de interés (Fig. 4) Incluye el embalse de Rules, y toda la costa fuertemente afectadas por movimientos de laderas, en el específico: La Herradura, Almuñécar, Salobreña.

#### 3.1 Resultados GEP Granada

Para el procesado ascendente se han utilizado 101 imágenes Sentinel-1 B que cubren el periodo septiembre 2016 – marzo 2020 (véase la Tabla 3 para la lista de las imágenes utilizadas), con orbita relativa 1. En la Fig. 5 se enseña el mapa de desplazamiento global (mapa de velocidad) y el mapa sobre la zona principal de interés.

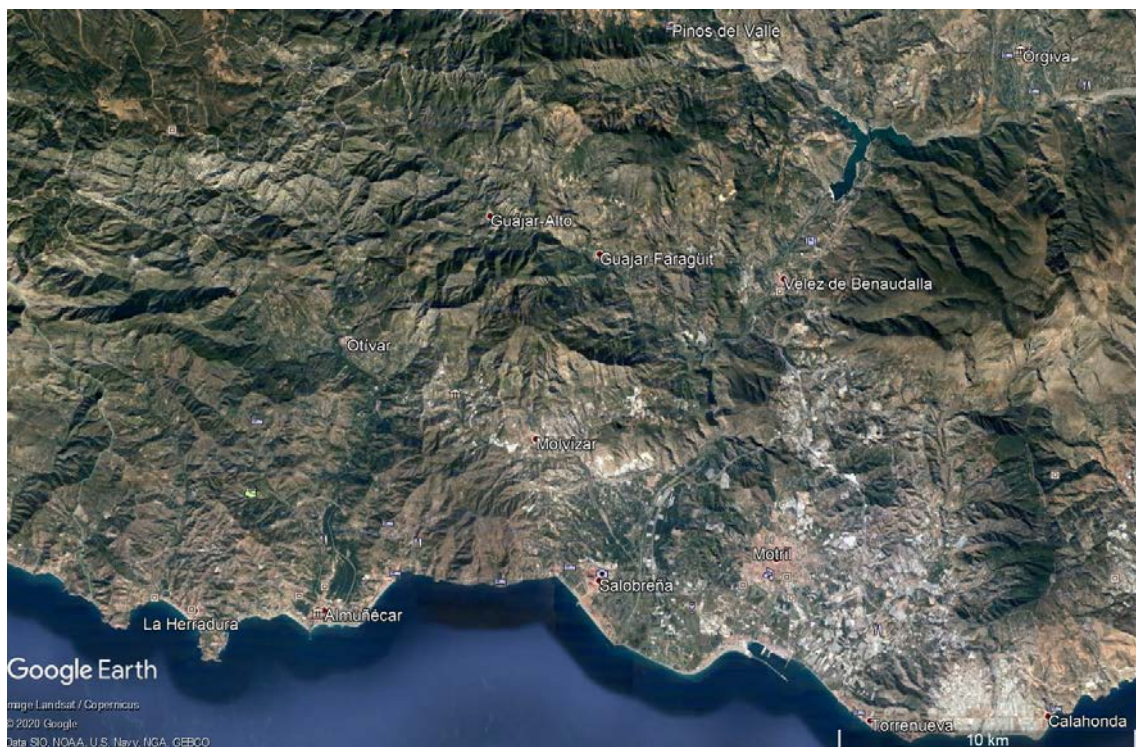


Fig. 4. Principal área de interés en la Provincia de Granada (Andalucía, España). Imagen óptica satelital Google Earth.

Para el procesado descendente se han utilizado 101 imágenes Sentinel-1 A y B que cubren el periodo diciembre 2014 – agosto 2020 (véase la Tabla 4 para la lista de las imágenes utilizadas), con orbita relativa 81. El resultado cubre la zona interior de la Provincia de Granada y no la costa. En la Fig. 6 se enseña el mapa de desplazamiento global (mapa de velocidad) y el mapa sobre la zona principal de interés.

En la sesión relativa al embalse de Rules y en la sesión de la costa se enseñan algunos ejemplos de resultados más en el detalle.

N	Fecha	N	Fecha	N	Fecha	N	Fecha
1	30/09/2016	31	19/10/2017	61	26/10/2018	91	02/11/2019
2	24/10/2016	32	31/10/2017	62	07/11/2018	92	14/11/2019
3	05/11/2016	33	12/11/2017	63	19/11/2018	93	26/11/2019
4	17/11/2016	34	24/11/2017	64	13/12/2018	94	08/12/2019
5	29/11/2016	35	06/12/2017	65	25/12/2018	95	20/12/2019
6	11/12/2016	36	18/12/2017	66	06/01/2019	96	13/01/2020
7	23/12/2016	37	30/12/2017	67	18/01/2019	97	25/01/2020
8	04/01/2017	38	11/01/2018	68	30/01/2019	98	06/02/2020
9	16/01/2017	39	23/01/2018	69	11/02/2019	99	18/02/2020
10	28/01/2017	40	04/02/2018	70	23/02/2019	100	01/03/2020
11	09/02/2017	41	16/02/2018	71	07/03/2019	101	13/03/2020
12	21/02/2017	42	28/02/2018	72	19/03/2019		
13	05/03/2017	43	12/03/2018	73	31/03/2019		
14	17/03/2017	44	24/03/2018	74	12/04/2019		
15	29/03/2017	45	05/04/2018	75	24/04/2019		
16	10/04/2017	46	29/04/2018	76	06/05/2019		
17	22/04/2017	47	11/05/2018	77	18/05/2019		
18	04/05/2017	48	23/05/2018	78	30/05/2019		
19	16/05/2017	49	04/06/2018	79	11/06/2019		
20	28/05/2017	50	16/06/2018	80	23/06/2019		
21	09/06/2017	51	28/06/2018	81	05/07/2019		
22	21/06/2017	52	10/07/2018	82	17/07/2019		
23	03/07/2017	53	22/07/2018	83	29/07/2019		
24	15/07/2017	54	03/08/2018	84	10/08/2019		
25	27/07/2017	55	15/08/2018	85	22/08/2019		
26	08/08/2017	56	27/08/2018	86	03/09/2019		
27	01/09/2017	57	08/09/2018	87	15/09/2019		
28	13/09/2017	58	20/09/2018	88	27/09/2019		
29	25/09/2017	59	02/10/2018	89	09/10/2019		
30	07/10/2017	60	14/10/2018	90	21/10/2019		

Tabla 3. Lista de imágenes Sentinel-1 B en geometría ascendente utilizadas para el procesado GEP para la zona de Granada (Andalucía, España).

N	Fecha	N	Fecha	N	Fecha	N	Fecha	N	Fecha
1	22/12/2014	51	23/12/2016	101	25/10/2017	151	21/08/2018	201	11/07/2019
2	04/03/2015	52	29/12/2016	102	31/10/2017	152	27/08/2018	202	17/07/2019
3	16/03/2015	53	04/01/2017	103	06/11/2017	153	02/09/2018	203	23/07/2019
4	28/03/2015	54	10/01/2017	104	12/11/2017	154	08/09/2018	204	29/07/2019
5	21/04/2015	55	16/01/2017	105	18/11/2017	155	14/09/2018	205	04/08/2019
6	15/05/2015	56	22/01/2017	106	24/11/2017	156	20/09/2018	206	16/08/2019
7	27/05/2015	57	28/01/2017	107	30/11/2017	157	26/09/2018	207	22/08/2019
8	20/06/2015	58	03/02/2017	108	06/12/2017	158	02/10/2018	208	28/08/2019
9	02/07/2015	59	09/02/2017	109	12/12/2017	159	08/10/2018	209	03/09/2019
10	14/07/2015	60	15/02/2017	110	18/12/2017	160	14/10/2018	210	09/09/2019
11	26/07/2015	61	21/02/2017	111	24/12/2017	161	20/10/2018	211	15/09/2019
12	07/08/2015	62	27/02/2017	112	30/12/2017	162	26/10/2018	212	27/09/2019
13	19/08/2015	63	05/03/2017	113	05/01/2018	163	01/11/2018	213	03/10/2019
14	31/08/2015	64	11/03/2017	114	11/01/2018	164	07/11/2018	214	09/10/2019
15	18/10/2015	65	17/03/2017	115	17/01/2018	165	13/11/2018	215	15/10/2019
16	30/10/2015	66	23/03/2017	116	23/01/2018	166	19/11/2018	216	21/10/2019
17	11/11/2015	67	29/03/2017	117	29/01/2018	167	25/11/2018	217	27/10/2019
18	23/11/2015	68	04/04/2017	118	04/02/2018	168	01/12/2018	218	02/11/2019
19	05/12/2015	69	10/04/2017	119	10/02/2018	169	07/12/2018	219	08/11/2019
20	17/12/2015	70	16/04/2017	120	16/02/2018	170	13/12/2018	220	14/11/2019
21	15/02/2016	71	22/04/2017	121	22/02/2018	171	19/12/2018	221	20/11/2019
22	27/02/2016	72	28/04/2017	122	28/02/2018	172	25/12/2018	222	26/11/2019
23	10/03/2016	73	04/05/2017	123	06/03/2018	173	31/12/2018	223	02/12/2019
24	22/03/2016	74	10/05/2017	124	12/03/2018	174	06/01/2019	224	08/12/2019
25	03/04/2016	75	16/05/2017	125	18/03/2018	175	12/01/2019	225	14/12/2019
26	15/04/2016	76	22/05/2017	126	24/03/2018	176	18/01/2019	226	20/12/2019
27	27/04/2016	77	28/05/2017	127	30/03/2018	177	30/01/2019	227	26/12/2019
28	09/05/2016	78	03/06/2017	128	05/04/2018	178	05/02/2019	228	01/01/2020
29	21/05/2016	79	09/06/2017	129	11/04/2018	179	11/02/2019	229	07/01/2020
30	02/06/2016	80	15/06/2017	130	17/04/2018	180	17/02/2019	230	13/01/2020
31	14/06/2016	81	21/06/2017	131	23/04/2018	181	23/02/2019	231	19/01/2020
32	08/07/2016	82	27/06/2017	132	29/04/2018	182	01/03/2019	232	25/01/2020
33	01/08/2016	83	03/07/2017	133	05/05/2018	183	13/03/2019	233	06/02/2020
34	13/08/2016	84	09/07/2017	134	11/05/2018	184	19/03/2019	234	12/02/2020
35	25/08/2016	85	15/07/2017	135	17/05/2018	185	25/03/2019	235	18/02/2020
36	06/09/2016	86	21/07/2017	136	23/05/2018	186	31/03/2019	236	24/02/2020
37	18/09/2016	87	27/07/2017	137	29/05/2018	187	06/04/2019	237	01/03/2020
38	30/09/2016	88	02/08/2017	138	04/06/2018	188	12/04/2019	238	07/03/2020
39	12/10/2016	89	08/08/2017	139	10/06/2018	189	24/04/2019	239	13/03/2020
40	18/10/2016	90	14/08/2017	140	16/06/2018	190	30/04/2019	240	19/03/2020

Tabla 4. Lista de imágenes Sentinel-1 A y B en geometría descendente utilizadas para el procesado GEP para la zona de Granada (Andalucía, España)

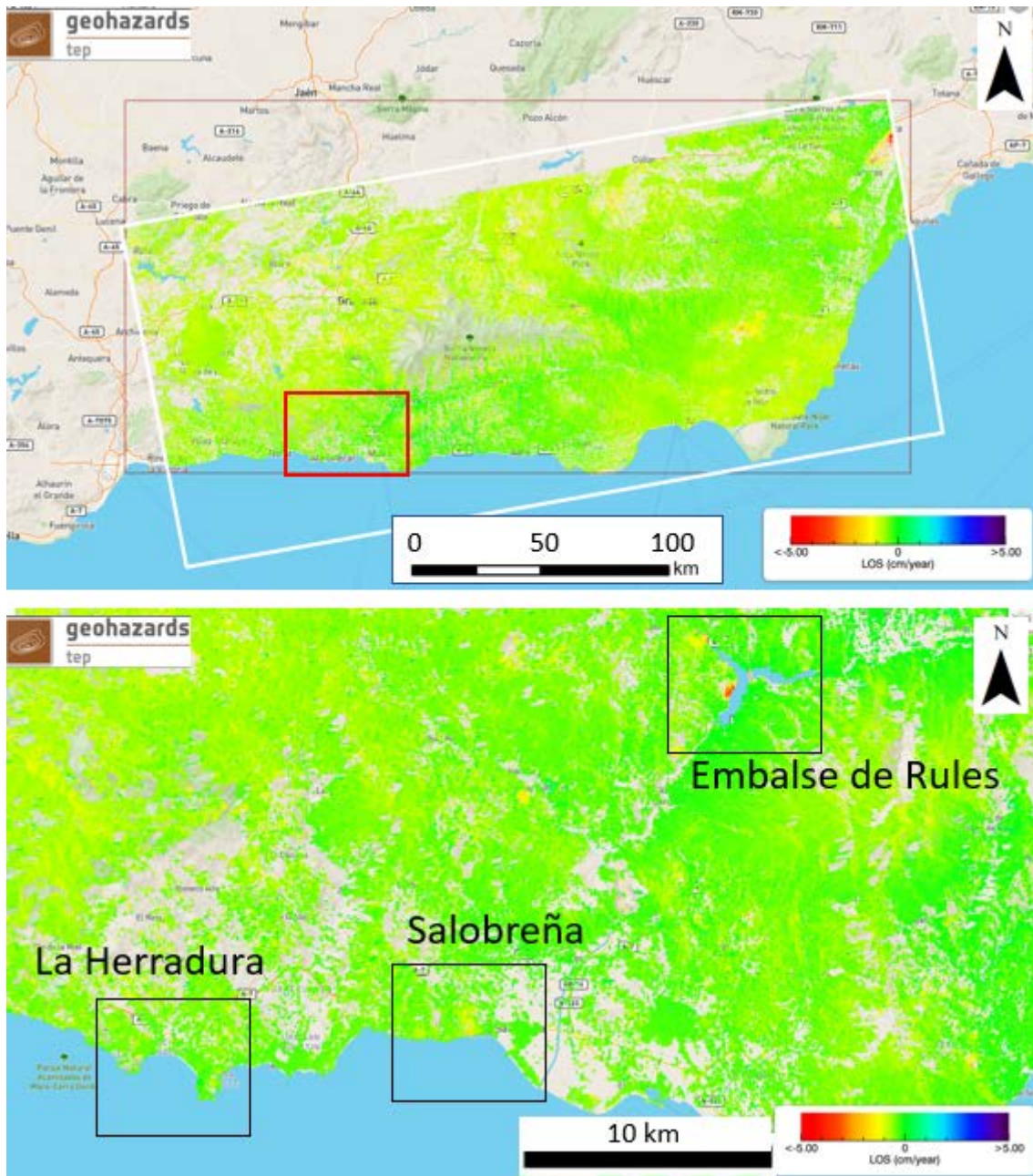


Fig. 5. Mapa de velocidades (cm/año) derivado por un procesado GEP ascendente en la Provincia de Granada (Andalucía, España). Arriba: imagen del procesado global, el cuadro rojo indica la zona representada en la imagen de abajo. Abajo: detalle en la zona de interés principal. Cada punto representa un área de 90x90 m<sup>2</sup>.

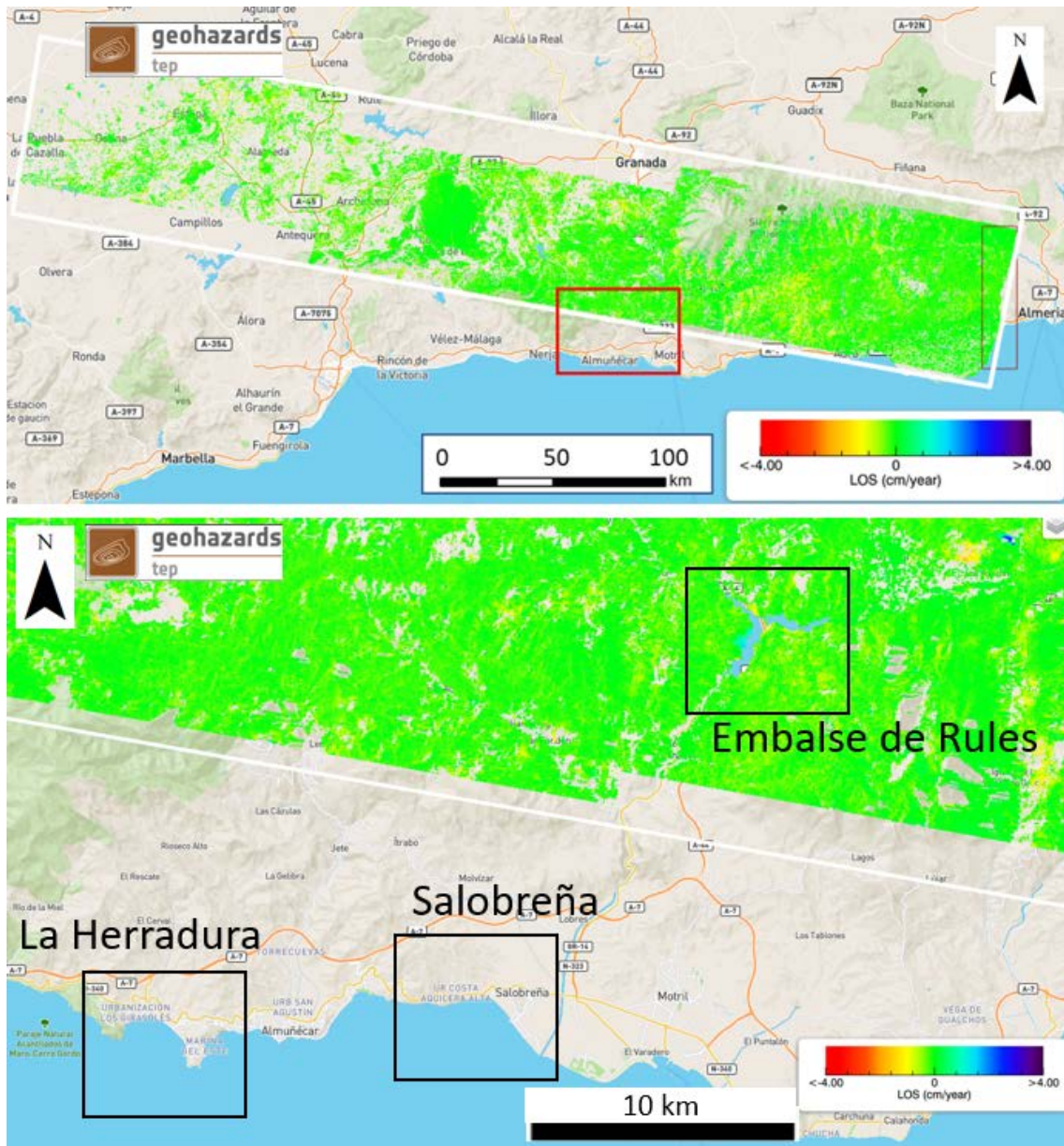


Fig. 6. Mapa de velocidades (cm/año) derivado por un procesado GEP descendente en la Provincia de Granada (Andalucía, España). Arriba: imagen del procesado global, el cuadro rojo indica la zona representada en la imagen de abajo. Abajo: detalle en la zona de interés principal. Cada punto representa un área de  $90 \times 90 \text{ m}^2$ .

### 3.2 Resultados PSIG Granada

El mapa de velocidades que se presenta en la figura 7 se ha desarrollado con procesado PSIG de un burst de las imágenes Sentinel1 A y B, con orbita ascendente (orbita precisa 1). Un primer resultado cubre un periodo que va de marzo 2015 a septiembre 2018. Otro procesado mas local, actualiza el resultado hasta junio 2020.

N	Fecha	N	Fecha	N	Fecha	N	Fecha	N	Fecha	N	Fecha
1	10/03/2015	41	12/09/2016	81	21/06/2017	121	04/06/2018	160	07/03/2019	200	08/11/2019
2	22/03/2015	42	24/09/2016	82	03/07/2017	122	16/06/2018	161	13/03/2019	201	14/11/2019
3	03/04/2015	43	06/10/2016	83	09/07/2017	123	22/06/2018	162	19/03/2019	202	20/11/2019
4	15/04/2015	44	18/10/2016	84	15/07/2017	124	28/06/2018	163	25/03/2019	203	26/11/2019
5	27/04/2015	45	24/10/2016	85	21/07/2017	125	10/07/2018	164	31/03/2019	204	02/12/2019
6	09/05/2015	46	30/10/2016	86	27/07/2017	126	16/07/2018	165	06/04/2019	205	08/12/2019
7	21/05/2015	47	05/11/2016	87	02/08/2017	127	22/07/2018	166	12/04/2019	206	14/12/2019
8	02/06/2015	48	11/11/2016	88	14/08/2017	128	28/07/2018	167	18/04/2019	207	20/12/2019
9	14/06/2015	49	17/11/2016	89	20/08/2017	129	03/08/2018	168	24/04/2019	208	26/12/2019
10	26/06/2015	50	23/11/2016	90	26/08/2017	130	09/08/2018	169	30/04/2019	209	07/01/2020
11	08/07/2015	51	29/11/2016	91	01/09/2017	131	15/08/2018	170	06/05/2019	210	13/01/2020
12	20/07/2015	52	05/12/2016	92	07/09/2017	132	21/08/2018	171	12/05/2019	211	19/01/2020
13	13/08/2015	53	11/12/2016	93	13/09/2017	133	27/08/2018	172	18/05/2019	212	25/01/2020
14	25/08/2015	54	17/12/2016	94	19/09/2017	134	02/09/2018	173	30/05/2019	213	31/01/2020
15	06/09/2015	55	23/12/2016	95	07/10/2017	135	08/09/2018	174	05/06/2019	214	06/02/2020
16	18/09/2015	56	29/12/2016	96	13/10/2017	136	14/09/2018	175	11/06/2019	215	12/02/2020
17	30/09/2015	57	04/01/2017	97	19/10/2017	137	20/09/2018	176	17/06/2019	216	18/02/2020
18	12/10/2015	58	10/01/2017	98	31/10/2017	138	26/09/2018	177	23/06/2019	217	24/02/2020
19	24/10/2015	59	16/01/2017	99	06/11/2017	139	26/10/2018	178	29/06/2019	218	01/03/2020
20	17/11/2015	60	22/01/2017	100	12/11/2017	140	01/11/2018	179	05/07/2019	219	07/03/2020
21	29/11/2015	61	28/01/2017	101	24/11/2017	141	07/11/2018	180	11/07/2019	220	13/03/2020
22	11/12/2015	62	03/02/2017	102	30/11/2017	142	13/11/2018	181	17/07/2019	221	19/03/2020
23	23/12/2015	63	09/02/2017	103	06/12/2017	143	19/11/2018	182	23/07/2019	222	25/03/2020
24	28/01/2016	64	21/02/2017	104	18/12/2017	144	25/11/2018	183	29/07/2019	223	31/03/2020
25	09/02/2016	65	27/02/2017	105	24/12/2017	145	01/12/2018	184	04/08/2019	224	06/04/2020
26	04/03/2016	66	11/03/2017	106	30/12/2017	146	07/12/2018	185	10/08/2019	225	12/04/2020
27	16/03/2016	67	17/03/2017	107	11/01/2018	147	13/12/2018	186	16/08/2019	226	18/04/2020
28	28/03/2016	68	23/03/2017	108	29/01/2018	148	19/12/2018	187	22/08/2019	227	24/04/2020
29	09/04/2016	69	29/03/2017	109	10/02/2018	149	25/12/2018	188	28/08/2019	228	30/04/2020
30	21/04/2016	70	04/04/2017	110	22/02/2018	150	31/12/2018	189	03/09/2019	229	06/05/2020
31	03/05/2016	71	10/04/2017	111	28/02/2018	151	06/01/2019	190	09/09/2019		
32	15/05/2016	72	22/04/2017	112	06/03/2018	152	12/01/2019	191	15/09/2019		
33	27/05/2016	73	28/04/2017	113	12/03/2018	153	18/01/2019	192	21/09/2019		
34	08/06/2016	74	04/05/2017	114	24/03/2018	154	24/01/2019	193	27/09/2019		
35	02/07/2016	75	10/05/2017	115	05/04/2018	155	05/02/2019	194	03/10/2019		
36	14/07/2016	76	16/05/2017	116	17/04/2018	156	11/02/2019	195	09/10/2019		
37	26/07/2016	77	28/05/2017	117	29/04/2018	157	17/02/2019	196	15/10/2019		
38	07/08/2016	78	03/06/2017	118	11/05/2018	158	23/02/2019	197	21/10/2019		
39	19/08/2016	79	09/06/2017	119	17/05/2018	159	01/03/2019	198	27/10/2019		
40	31/08/2016	80	15/06/2017	120	23/05/2018	160	07/03/2019	199	02/11/2019		

Tabla 5. Lista de imágenes Sentinel-1 A y B en geometría ascendente utilizadas para el procesado PSIG para la zona de Granada (Andalucía, España). Las imágenes en gris se han añadido para la segunda actualización del procesado.

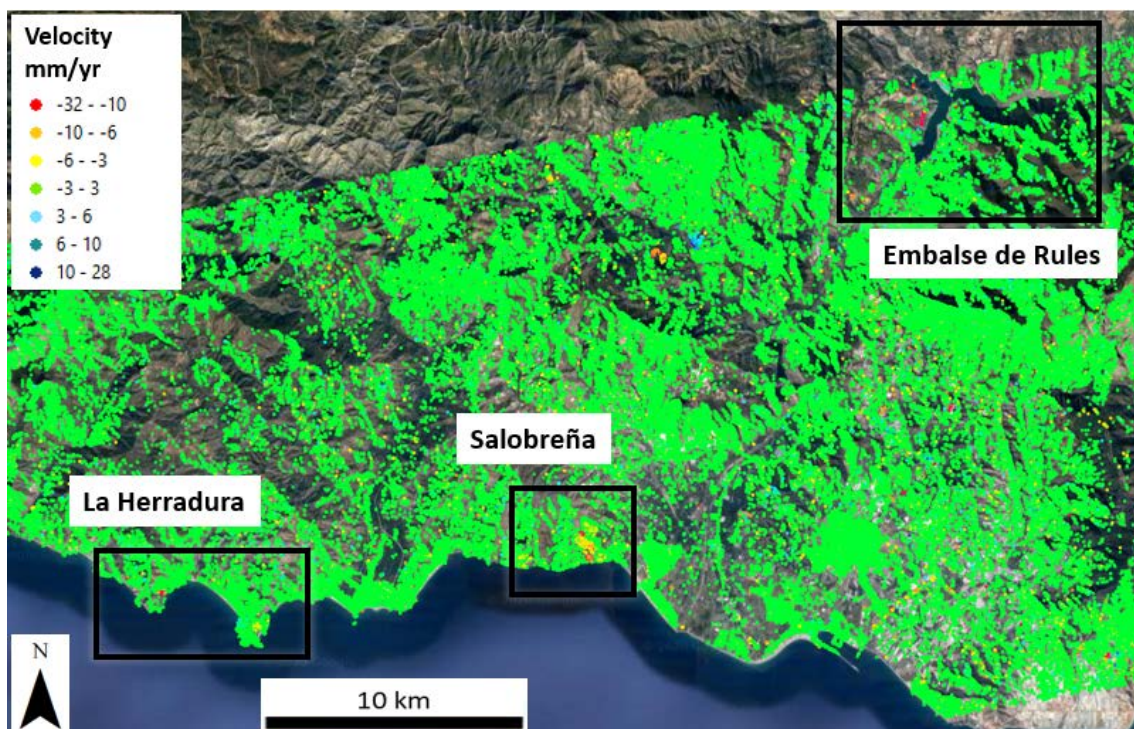
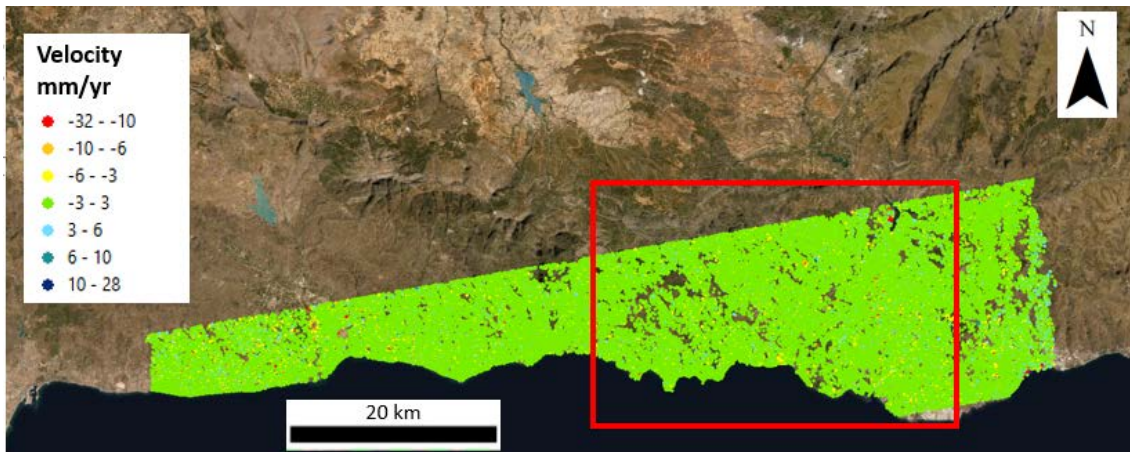


Fig. 7 Mapa de velocidades (mm/año) derivado por un procesado PSIG ascendente en la Provincia de Granada (Andalucía, España). Arriba: imagen del procesado global, el cuadro rojo indica la zona representada en la imagen de abajo. Abajo: detalle en la zona de interés principal. Cada punto representa un área de  $4 \times 14 \text{ m}^2$ .



### **3.3 Embalse de Rules**

En la zona del embalse de Rules los resultados InSAR han permitido caracterizar y delimitar zonas de inestabilidades de laderas, elemento crucial para evaluar preliminarmente los riesgos potenciales asociados a esta infraestructura.

Para una mejor caracterización de los movimientos de ladera, que implican un elevado riesgo, se hicieron diferentes procesados locales para mejorar la densidad espacial de información. Gracias a la integración de los resultados InSAR con análisis geomorfológicas, se han podido delimitar 3 principales deslizamientos de tierra activos: Lorenzo, Viaducto de Reglas y deslizamientos de tierra de El Arrecife. Las series temporales de desplazamiento han permitido una caracterización de la actividad de los movimientos, con respecto a las lluvias y al nivel del embalse (Fig. 8). Para profundizar los resultados se refiere a Reyes-Carmona et al, 2020. En la Fig 8 se enseña el resultado del procesado PSIG, en la Fig. 9 los resultados de los procesados GEP ascendente y descendente.

### **3.4 Zona costera**

En la zona de la costa las urbanizaciones suben daños desde que se construyeron a partir de los años 80 (Chacon et al. 1992, 2014, 2016; Fernández et al. 1994; Notti et al. 2015; Mateos et al. 2016b Un análisis con técnica DInSAR con datos de la Agencia Espacial Europea (ESA) cubriendo el período 1993 - 2000 ya fue hechas por Fernández et al. (2009) y evaluaciones posteriores con esta técnica fueron publicadas en Notti et al. (2015) y Mateos et al. (2016). Los resultados Sentinel-1 permiten una continua monitorización de estos movimientos, y una siempre mejor caracterización de la actividad en el tiempo y extensión espacial (Fig. 10). Los principales movimientos se confirman activos.

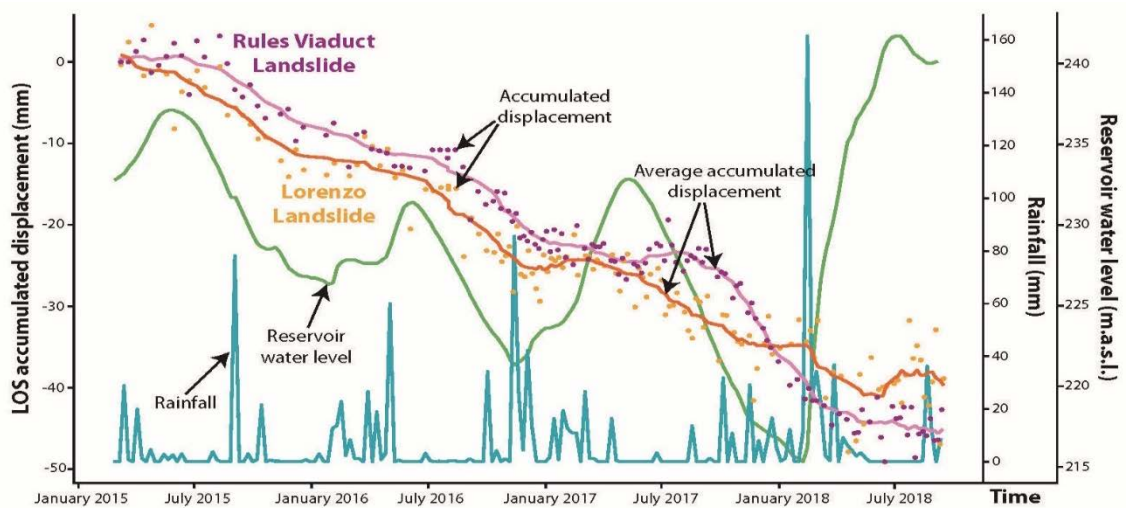
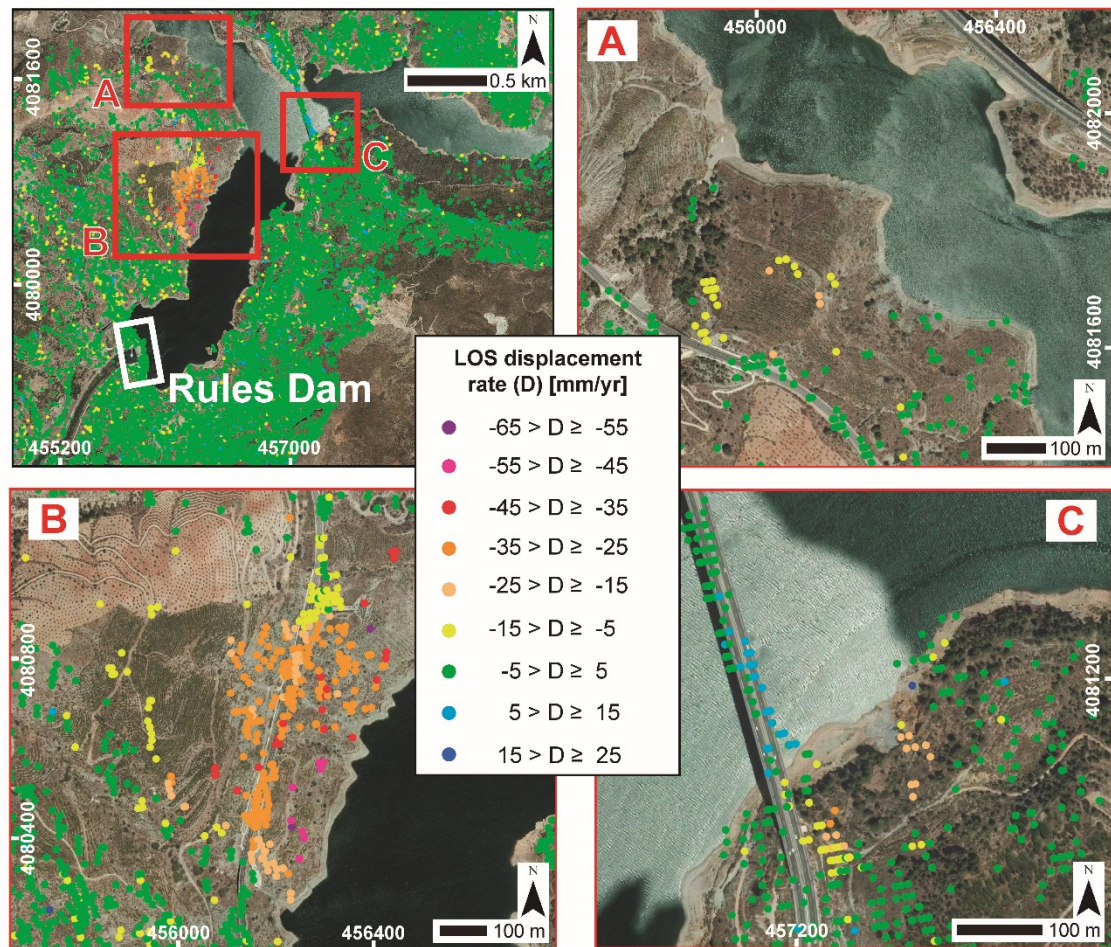


Fig. 8 Mapa de velocidad superficial del área del embalse de Rules generado con procesado PSIG con geometría ascendente. El área del Cortijo de Lorenzo (A), el deslizamiento de tierra El Arrecife (B) y el deslizamiento de tierra del viaducto de reglas (C) se muestran con mayor detalle. Abajo las series temporales de deformación de los deslizamientos A y C se confrontan con las series temporales del nivel del embalse y de la lluvia. (Modificado de Reyes-Carmona et al, 2020).

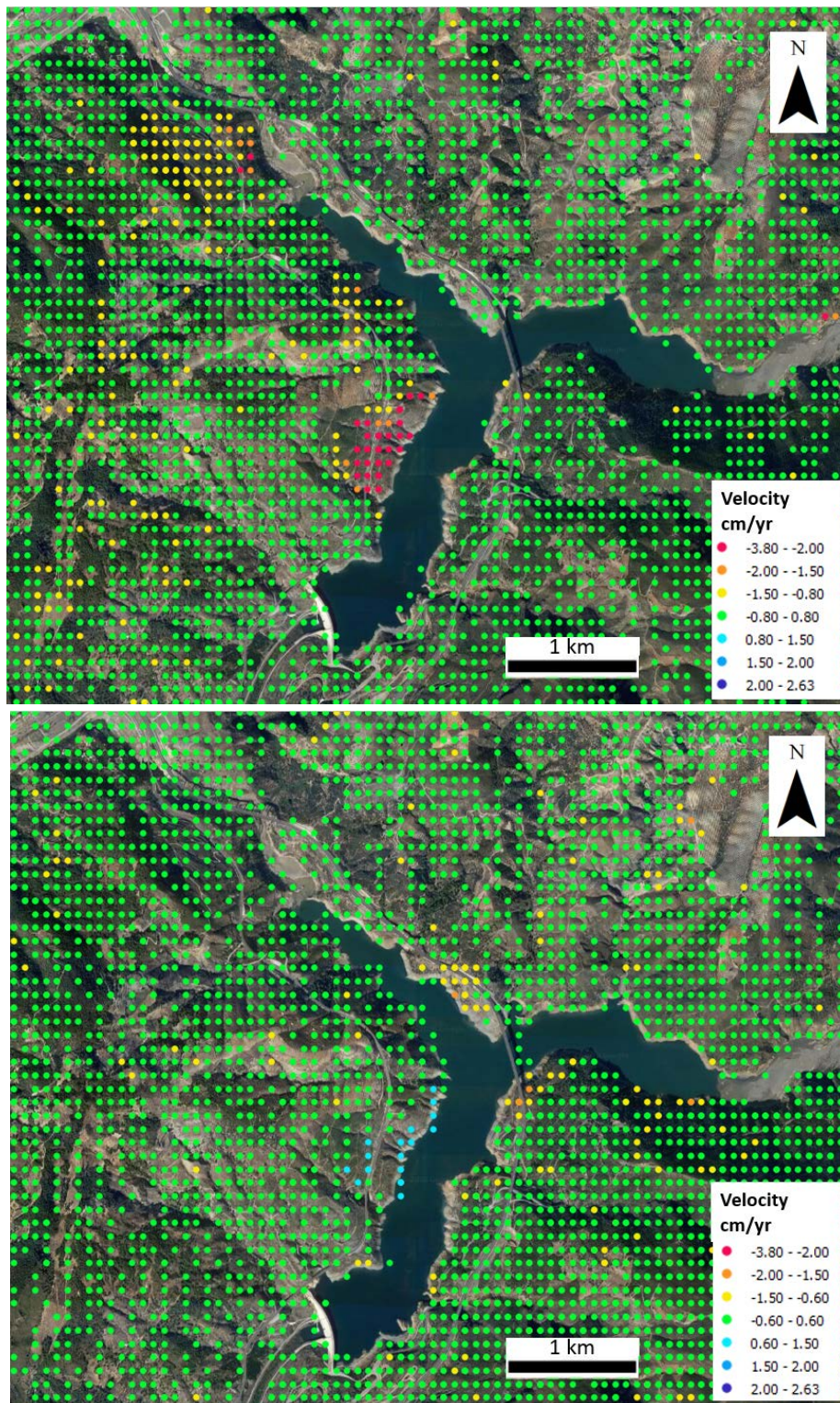


Fig. 9. Mapa de velocidades en la zona del embalse de Rules derivado con procesado GEP. Arriba: resultado en geometría ascendente. Abajo: resultado en geometría descendente. Cada punto representa un área de 90x90 m<sup>2</sup>.

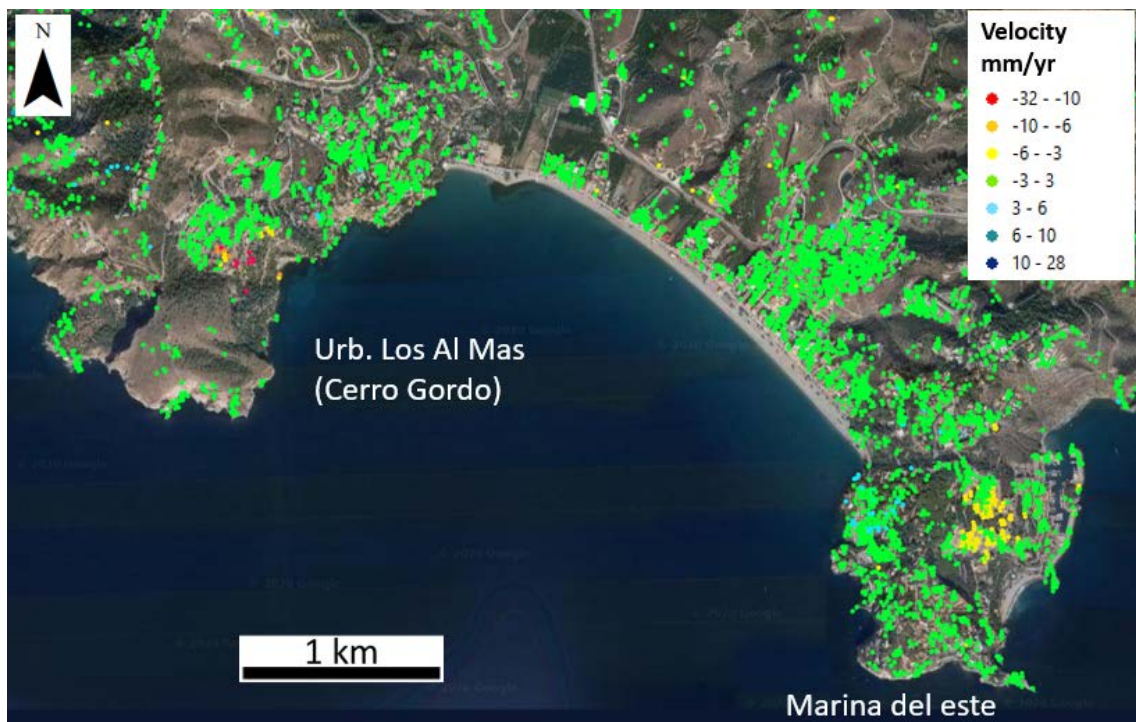
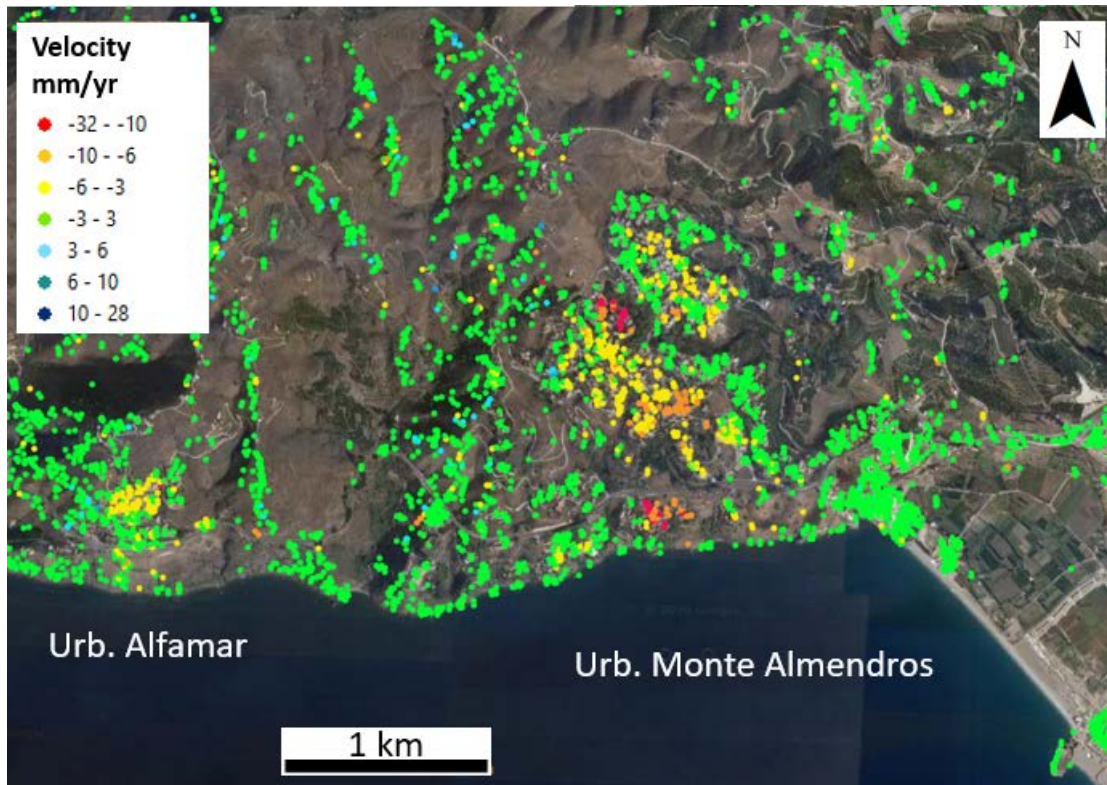


Fig. 10 Zonas de movimiento que afectan urbanizaciones costeras. Arriba: Salobreño, movimientos afectan las urbanizaciones de Monte Almendros y Alfamar. Abajo: La Herradura, son evidentes movimientos que afectan Marina del Este y Cerro Gordo.

## 4 ESPAÑA: DELTA DEL EBRO (TARRAGONA, CATALUÑA)

En el Delta del Ebro se hizo un procesado PSIG de un burst de las imágenes Sentinel1 A y B, con orbita descendente (orbita precisa 110), utilizando datos que van de marzo 2015 a marzo 2020. El mapa de velocidades se presenta en Figura 11.

N	Fecha	N	Fecha	N	Fecha	N	Fecha
1	06/03/2015	31	05/02/2017	61	02/03/2018	91	16/11/2019
2	18/03/2015	32	11/02/2017	62	08/03/2018	92	22/11/2019
3	30/03/2015	33	17/02/2017	63	14/03/2018	93	28/11/2019
4	01/11/2015	34	23/02/2017	64	20/03/2018	94	04/12/2019
5	13/11/2015	35	01/03/2017	65	26/03/2018	95	10/12/2019
6	25/11/2015	36	07/03/2017	66	03/11/2018	96	09/01/2020
7	07/12/2015	37	13/03/2017	67	09/11/2018	97	21/01/2020
8	19/12/2015	38	19/03/2017	68	15/11/2018	98	02/02/2020
9	31/12/2015	39	25/03/2017	69	27/11/2018	99	14/02/2020
10	24/01/2016	40	31/03/2017	70	03/12/2018	100	26/02/2020
11	05/02/2016	41	02/11/2017	71	09/12/2018	101	09/03/2020
12	17/02/2016	42	08/11/2017	72	15/12/2018	102	21/03/2020
13	29/02/2016	43	14/11/2017	73	21/12/2018		
14	12/03/2016	44	20/11/2017	74	27/12/2018		
15	24/03/2016	45	26/11/2017	75	02/01/2019		
16	01/11/2016	46	02/12/2017	76	08/01/2019		
17	07/11/2016	47	08/12/2017	77	14/01/2019		
18	13/11/2016	48	14/12/2017	78	20/01/2019		
19	19/11/2016	49	20/12/2017	79	26/01/2019		
20	25/11/2016	50	26/12/2017	80	01/02/2019		
21	01/12/2016	51	01/01/2018	81	13/02/2019		
22	07/12/2016	52	07/01/2018	82	19/02/2019		
23	19/12/2016	53	13/01/2018	83	25/02/2019		
24	25/12/2016	54	19/01/2018	84	03/03/2019		
25	31/12/2016	55	25/01/2018	85	09/03/2019		
26	06/01/2017	56	31/01/2018	86	15/03/2019		
27	12/01/2017	57	06/02/2018	87	21/03/2019		
28	18/01/2017	58	12/02/2018	88	27/03/2019		
29	24/01/2017	59	18/02/2018	89	04/11/2019		
30	30/01/2017	60	24/02/2018	90	10/11/2019		

Tabla 6. Lista de imágenes Sentinel-1 A y B en geometría descendente utilizadas para el procesado PSIG en el Delta del Ebro (Tarragona, Cataluña, España)

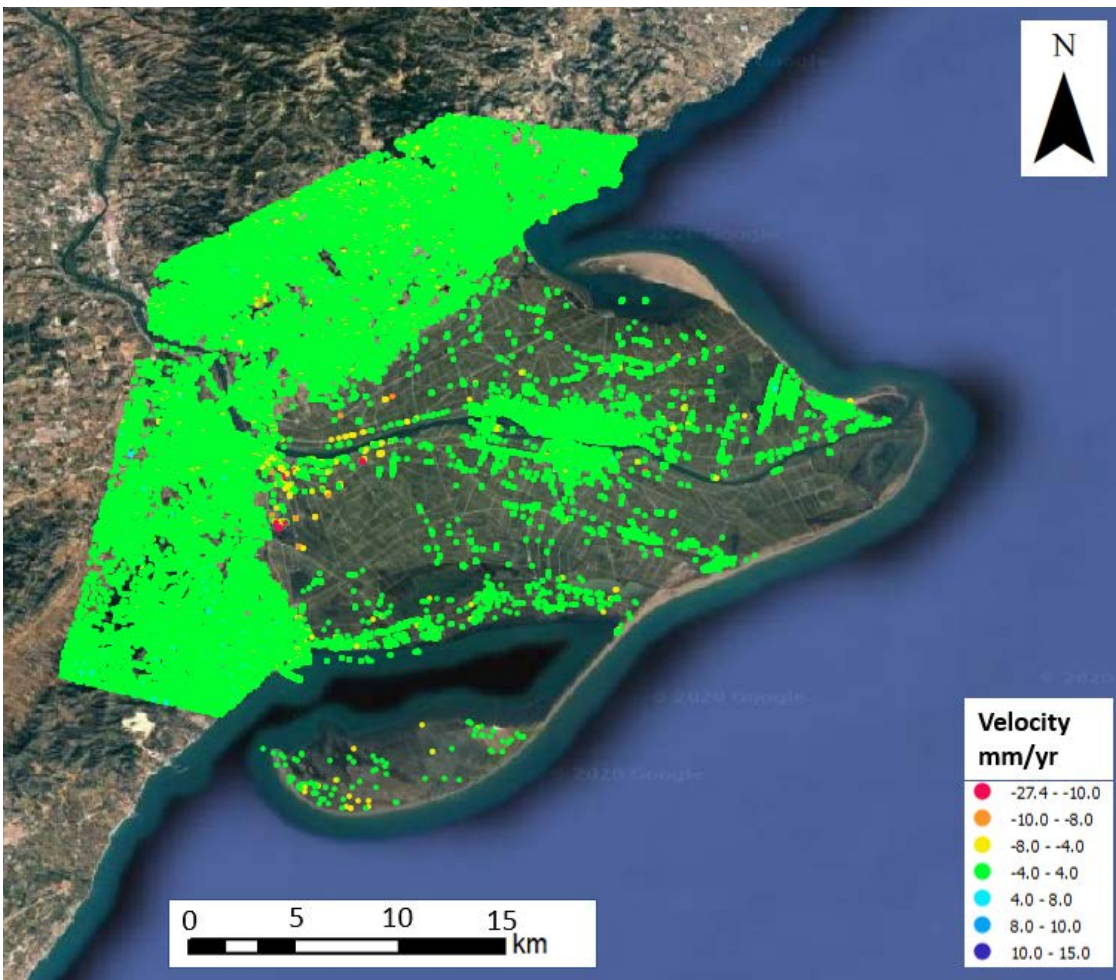


Fig. 11. Delta del río Ebro (Tarragona, Cataluña)

## 5 PORTUGAL

### 5.1 Resultados GEP en Lisboa

Se han utilizado 48 imágenes Sentinel-1 A y B que cubren el periodo enero 2018 – abril 2020 (véase la Tabla 7 para la lista de las imágenes utilizadas), en geometría ascendente y orbita relativa 45. En la Fig. 11 se enseña el mapa de desplazamiento global (mapa de velocidad) y las Fig. 12, 13 y 14 unos ejemplos de movimientos detectados, incluido las relativas series temporales de desplazamiento.

N	Fechas	N	Fechas
1	26/01/2018	25	10/03/2019
2	13/02/2018	26	28/03/2019
3	03/03/2018	27	15/04/2019
4	21/03/2018	28	03/05/2019
5	08/04/2018	29	21/05/2019
6	26/04/2018	30	08/06/2019
7	14/05/2018	31	26/06/2019
8	01/06/2018	32	08/07/2019
9	19/06/2018	33	26/07/2019
10	07/07/2018	34	13/08/2019
11	25/07/2018	35	31/08/2019
12	12/08/2018	36	18/09/2019
13	30/08/2018	37	06/10/2019
14	11/09/2018	38	24/10/2019
15	29/09/2018	39	17/11/2019
16	05/10/2018	40	05/12/2019
17	17/10/2018	41	23/12/2019
18	04/11/2018	42	10/01/2020
19	22/11/2018	43	28/01/2020
20	10/12/2018	44	15/02/2020
21	28/12/2018	45	04/03/2020
22	15/01/2019	46	22/03/2020
23	02/02/2019	47	09/04/2020
24	20/02/2019	48	27/04/2020

Tabla 7. Lista de imágenes Sentinel-1 A utilizadas para el procesado GEP en la isla de Lisboa (Portugal).

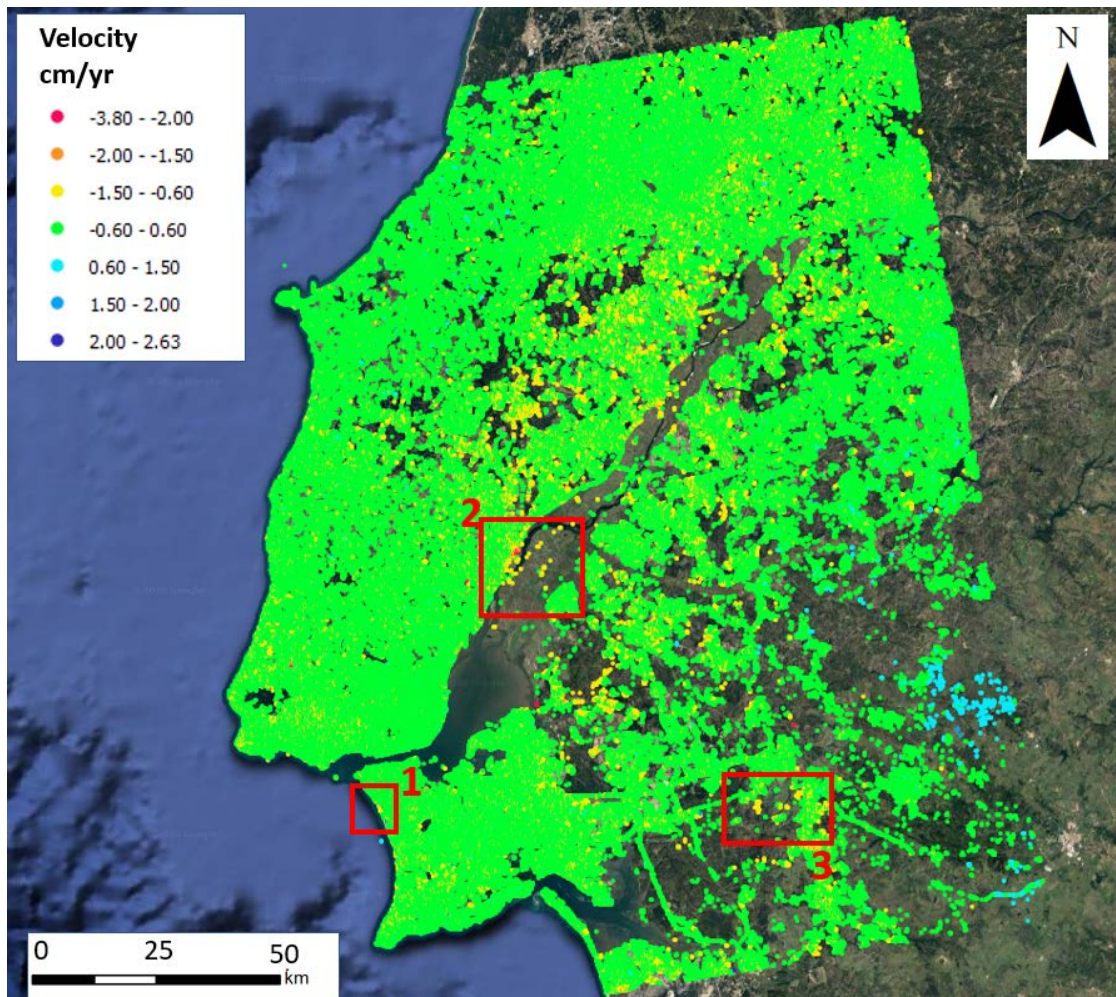


Fig. 12. Lisboa (Portugal). Mapa de velocidades (cm/año) derivado por un procesado ascendente GEP. Cada punto representa un área de 90x90 m<sup>2</sup>. En los cuadros rojos las zonas representadas en detalle en las figuras 12 (área 1), 13 (área 2) y 14 (área 3).



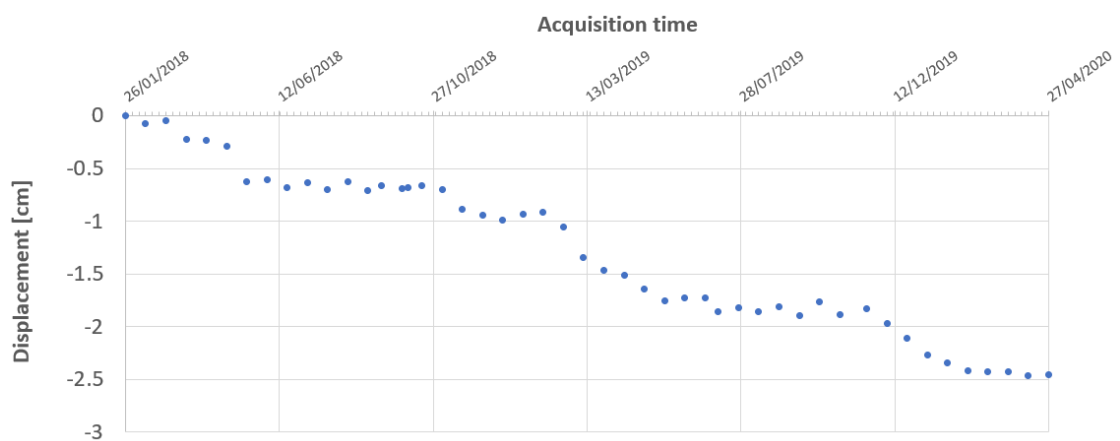


Fig. 13. Lisboa (Portugal). Detalle del área 1 de la figura 11. Mapa de velocidades (cm/año) derivado por un procesado ascendente GEP. Cada punto representa un área de 90x90 m<sup>2</sup>. Abajo: serie temporal de desplazamiento media de los principales puntos.

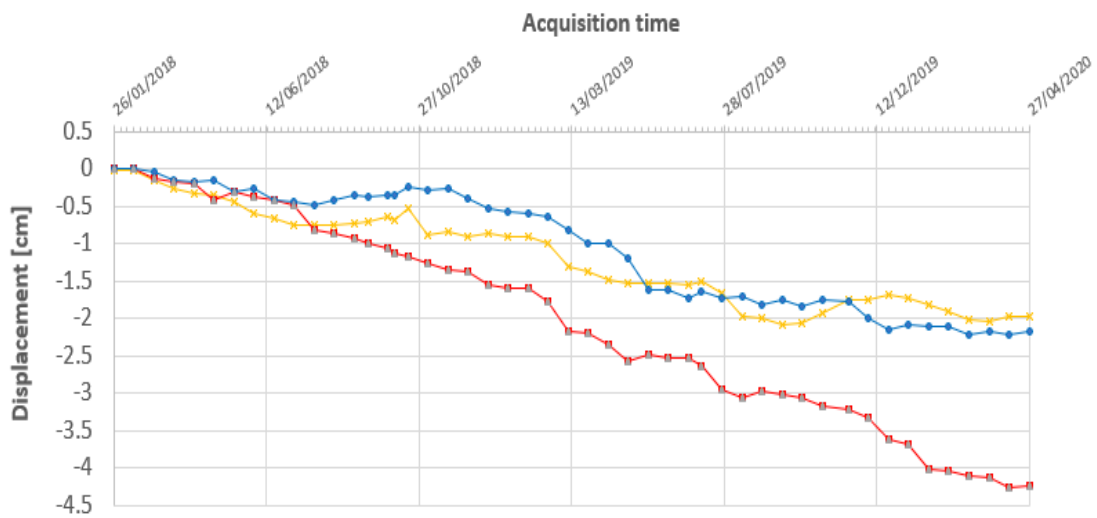
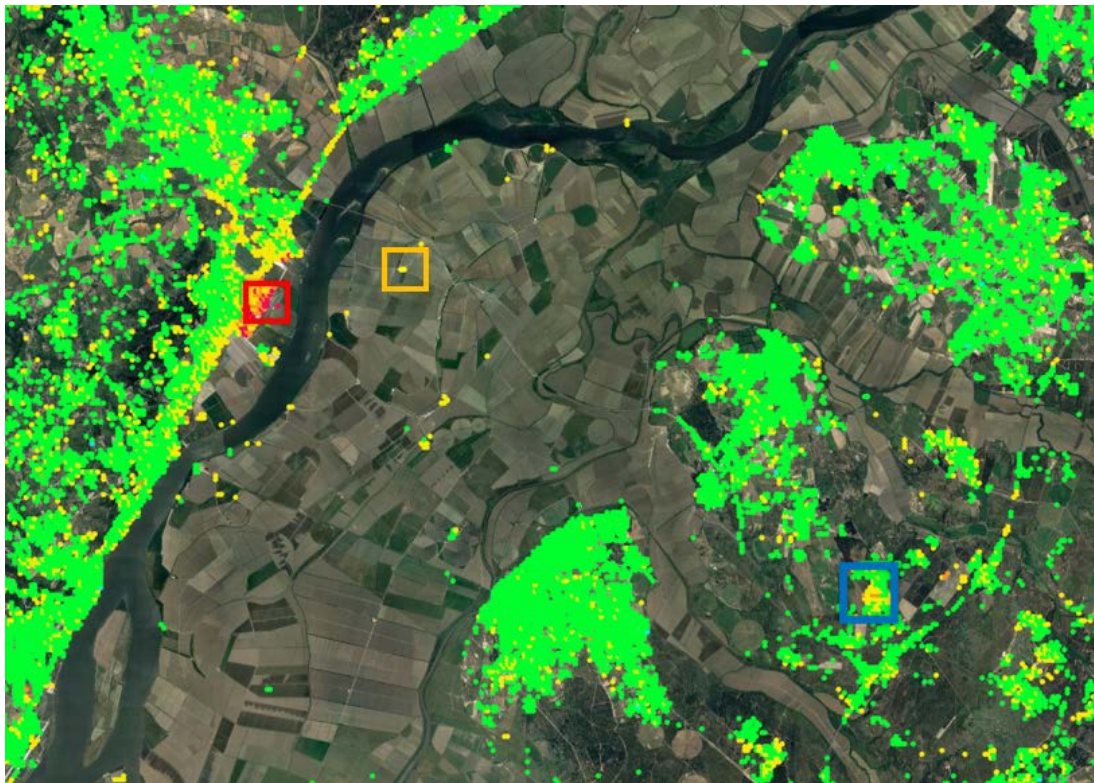


Fig. 14. Lisboa (Portugal). Detalle del área 2 de la figura 11. Mapa de velocidades (cm/año) derivado por un procesado ascendente GEP. Cada punto representa un área de 90x90 m<sup>2</sup>. Abajo: series temporales de desplazamiento medio de las zonas marcadas por los cuadros de colores respectivos.

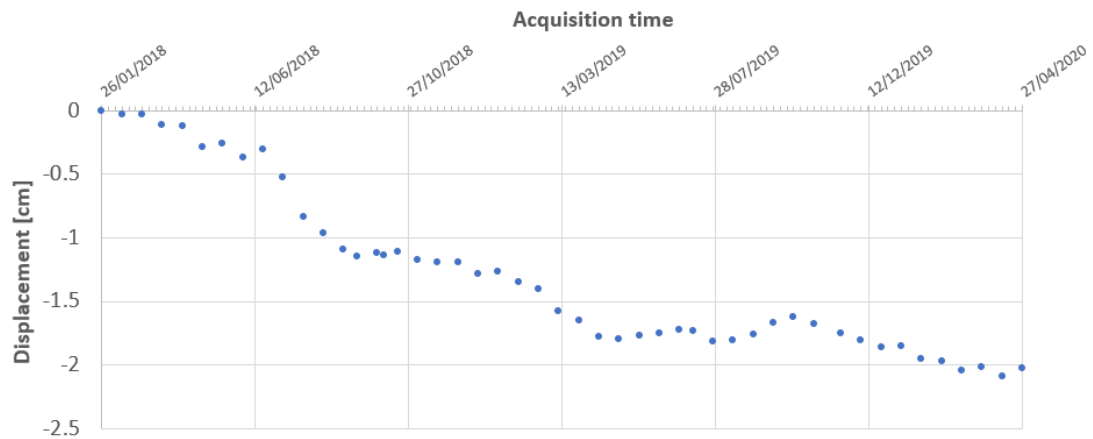
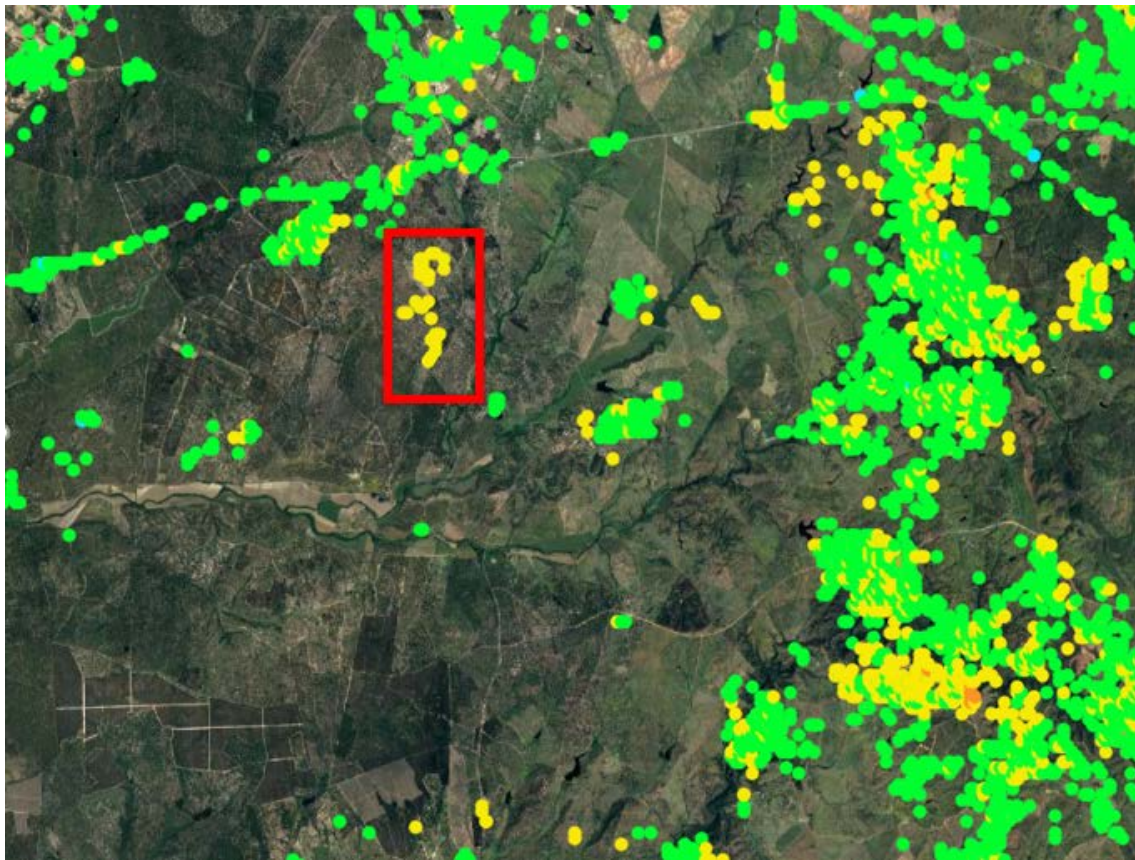


Fig. 15. Lisboa (Portugal). Detalle del área 3 de la figura 11. Mapa de velocidades (cm/año) derivado por un procesado ascendente GEP. Cada punto representa un área de 90x90 m<sup>2</sup>. Abajo: series temporales de desplazamiento medio de las zona marcada por el cuadro rojo.

## 6 CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

Los resultados tendrán que ser analizados y validados. A seguir las principales conclusiones y trabajos futuros para cada zona de estudio.

1. Granada: los resultados con el procesado de imágenes Sentinel-1 han dado buenos resultados permitiendo detectar y caracterizar varias zonas de interés. Trabajos futuros: 1. Procesado PSIG Sentinel-1 descendente, 2. Extracción de las principales áreas de movimiento activo (ADA), 3. Desarrollo de nuevas metodologías para un mejor uso e interpretación de los resultados.
2. Lisboa: se han detectado zonas de interés. Trabajos futuros: 1. Extracción de las principales áreas de movimiento activo (ADA), 2. procesado de imágenes COSMO-SkyMed de alta resolución.
3. Ibiza: se han detectado zonas de interés. Trabajos futuros: 1. Extracción de las principales áreas de movimiento activo (ADA), 2. procesado de imágenes COSMO-SkyMed de alta resolución.
4. Mallorca: se han detectado zonas de interés. Trabajos futuros: 1. Extracción de las principales áreas de movimiento activo (ADA)
5. Delta del Ebro: no se ha detectado ningún movimiento de interés.

## 7 REFERENCIAS

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.

Fernández, T., Irigaray, C., & Chacón, J. (1994). Large scale analysis and mapping of determinant factors of landsliding affecting rock massifs in the eastern Costa del Sol (Granada, Spain) in a GIS. In *International congress International Association of Engineering Geology* (pp. 4649-4658).

Mateos, R. M., Azañón, J. M., Roldán, F. J., Notti, D., Pérez-Peña, V., Galve, J. P., ... & Devanthery, 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.

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.