



UNIVERSIDAD DE GRANADA
DEPARTAMENTO DE GEODINÁMICA



INSTITUTO ANDALUZ DE
CIENCIAS DE LA TIERRA

Informe técnico: Resultados medida deformaciones con DInSAR satelital

Granada, Diciembre 2020



UNIVERSIDAD DE GRANADA
DEPARTAMENTO DE GEODINÁMICA



INSTITUTO ANDALUZ DE
CIENCIAS DE LA TIERRA

Índice

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



Figura 1: Imagen media de amplitud SAR sobre la zona de interés (arriba). Imagen óptica tomada de Google Earth (abajo).

Nº	Fecha		Nº	Fecha		Nº	Fecha		Nº	Fecha		Nº	Fecha		Nº	Fecha		Nº	Fecha		
1	09/03/2015	25	27/03/2016	49	14/02/2017	73	20/07/2017	97	11/12/2017	121	10/05/2018	145	01/10/2018	169	17/04/2019	193	19/11/2019	217	11/04/2020	241	02/09/2020
2	02/04/2015	26	08/04/2016	50	20/02/2017	74	26/07/2017	98	17/12/2017	122	16/05/2018	146	07/10/2018	170	29/04/2019	194	25/11/2019	218	17/04/2020	242	08/09/2020
3	26/04/2015	27	20/04/2016	51	26/02/2017	75	01/08/2017	99	23/12/2017	123	22/05/2018	147	13/10/2018	171	11/05/2019	195	01/12/2019	219	23/04/2020	243	14/09/2020
4	08/05/2015	28	02/05/2016	52	04/03/2017	76	07/08/2017	100	29/12/2017	124	28/05/2018	148	19/10/2018	172	23/05/2019	196	07/12/2019	220	29/04/2020	244	20/09/2020
5	20/05/2015	29	07/06/2016	53	10/03/2017	77	13/08/2017	101	04/01/2018	125	03/06/2018	149	25/10/2018	173	04/06/2019	197	13/12/2019	221	05/05/2020	245	26/09/2020
6	01/06/2015	30	01/07/2016	54	16/03/2017	78	19/08/2017	102	10/01/2018	126	09/06/2018	150	31/10/2018	174	16/06/2019	198	19/12/2019	222	11/05/2020	246	02/10/2020
7	13/06/2015	31	13/07/2016	55	22/03/2017	79	25/08/2017	103	16/01/2018	127	15/06/2018	151	06/11/2018	175	28/06/2019	199	25/12/2019	223	17/05/2020	247	08/10/2020
8	25/06/2015	32	18/08/2016	56	28/03/2017	80	31/08/2017	104	22/01/2018	128	21/06/2018	152	12/11/2018	176	10/07/2019	200	31/12/2019	224	23/05/2020		
9	07/07/2015	33	30/08/2016	57	09/04/2017	81	06/09/2017	105	28/01/2018	129	27/06/2018	153	18/11/2018	177	22/07/2019	201	06/01/2020	225	29/05/2020		
10	31/07/2015	34	23/09/2016	58	15/04/2017	82	12/09/2017	106	03/02/2018	130	03/07/2018	154	24/11/2018	178	03/08/2019	202	12/01/2020	226	04/06/2020		
11	12/08/2015	35	05/10/2016	59	27/04/2017	83	18/09/2017	107	09/02/2018	131	09/07/2018	155	30/11/2018	179	15/08/2019	203	18/01/2020	227	10/06/2020		
12	24/08/2015	36	17/10/2016	60	03/05/2017	84	24/09/2017	108	15/02/2018	132	15/07/2018	156	12/12/2018	180	27/08/2019	204	24/01/2020	228	16/06/2020		
13	17/09/2015	37	29/10/2016	61	09/05/2017	85	30/09/2017	109	21/02/2018	133	21/07/2018	157	18/12/2018	181	08/09/2019	205	30/01/2020	229	22/06/2020		
14	29/09/2015	38	10/11/2016	62	15/05/2017	86	06/10/2017	110	27/02/2018	134	27/07/2018	158	24/12/2018	182	14/09/2019	206	05/02/2020	230	28/06/2020		
15	11/10/2015	39	22/11/2016	63	21/05/2017	87	12/10/2017	111	05/03/2018	135	02/08/2018	159	30/12/2018	183	20/09/2019	207	11/02/2020	231	04/07/2020		
16	23/10/2015	40	16/12/2016	64	27/05/2017	88	18/10/2017	112	11/03/2018	136	08/08/2018	160	05/01/2019	184	26/09/2019	208	17/02/2020	232	10/07/2020		
17	04/11/2015	41	28/12/2016	65	02/06/2017	89	24/10/2017	113	17/03/2018	137	14/08/2018	161	17/01/2019	185	02/10/2019	209	23/02/2020	233	16/07/2020		
18	28/11/2015	42	03/01/2017	66	08/06/2017	90	30/10/2017	114	23/03/2018	138	20/08/2018	162	23/01/2019	186	08/10/2019	210	29/02/2020	234	22/07/2020		
19	22/12/2015	43	09/01/2017	67	14/06/2017	91	05/11/2017	115	04/04/2018	139	26/08/2018	163	04/02/2019	187	14/10/2019	211	06/03/2020	235	28/07/2020		
20	15/01/2016	44	15/01/2017	68	20/06/2017	92	11/11/2017	116	10/04/2018	140	01/09/2018	164	16/02/2019	188	20/10/2019	212	12/03/2020	236	03/08/2020		
21	27/01/2016	45	21/01/2017	69	26/06/2017	93	17/11/2017	117	16/04/2018	141	07/09/2018	165	28/02/2019	189	26/10/2019	213	18/03/2020	237	09/08/2020		
22	08/02/2016	46	27/01/2017	70	02/07/2017	94	23/11/2017	118	22/04/2018	142	13/09/2018	166	12/03/2019	190	01/11/2019	214	24/03/2020	238	15/08/2020		
23	20/02/2016	47	02/02/2017	71	08/07/2017	95	29/11/2017	119	28/04/2018	143	19/09/2018	167	24/03/2019	191	07/11/2019	215	30/03/2020	239	21/08/2020		
24	03/03/2016	48	08/02/2017	72	14/07/2017	96	05/12/2017	120	04/05/2018	144	25/09/2018	168	05/04/2019	192	13/11/2019	216	05/04/2020	240	27/08/2020		

Tabla 1. Lista de las 247 imágenes usadas.



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).

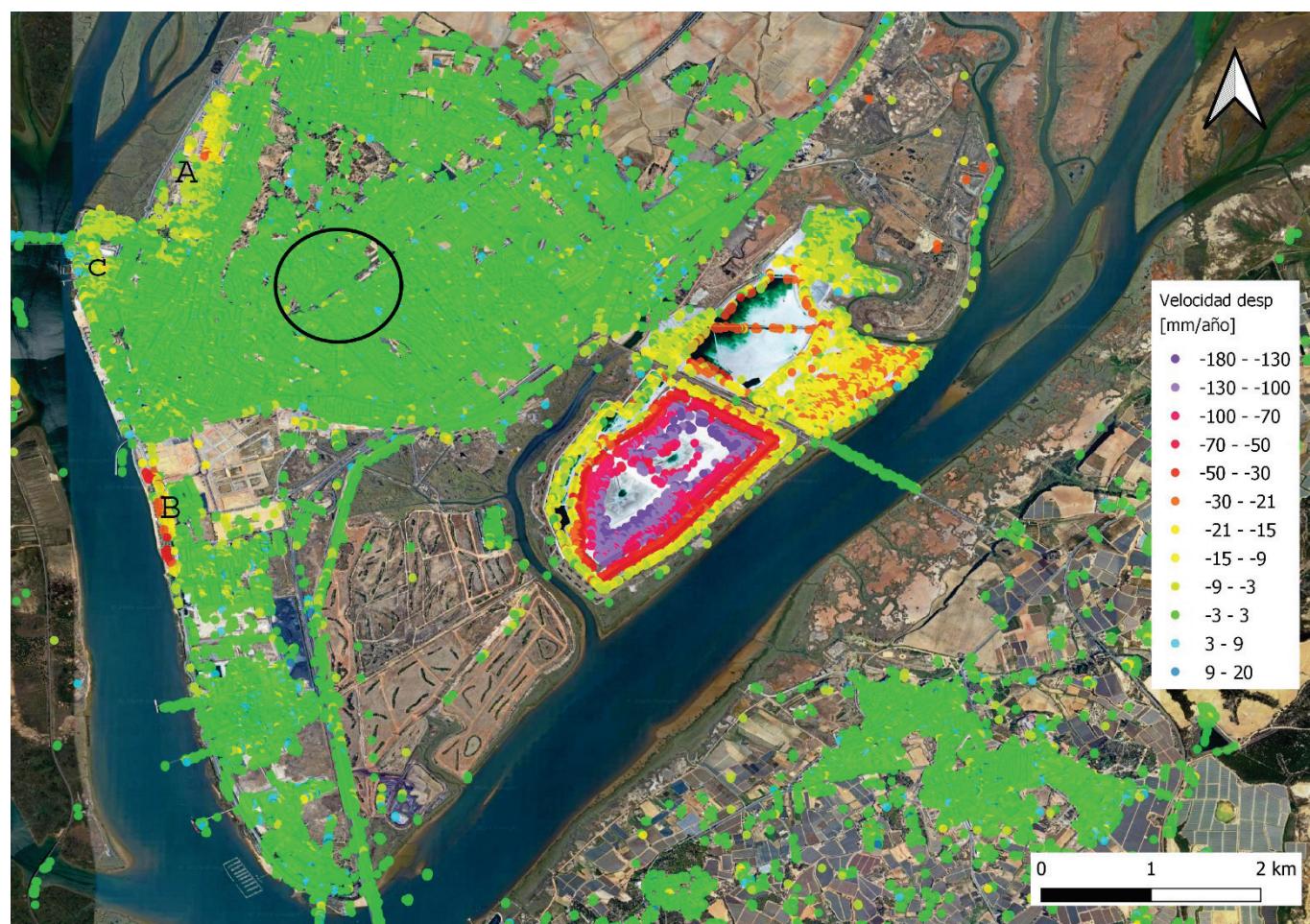


Figura 2. Velocidad de deformación en mm/año sobre la imagen procesada. El círculo marcado representa un área alrededor de la zona seleccionada como referencia sobre la que se ha estimado la precisión obtenida.

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.

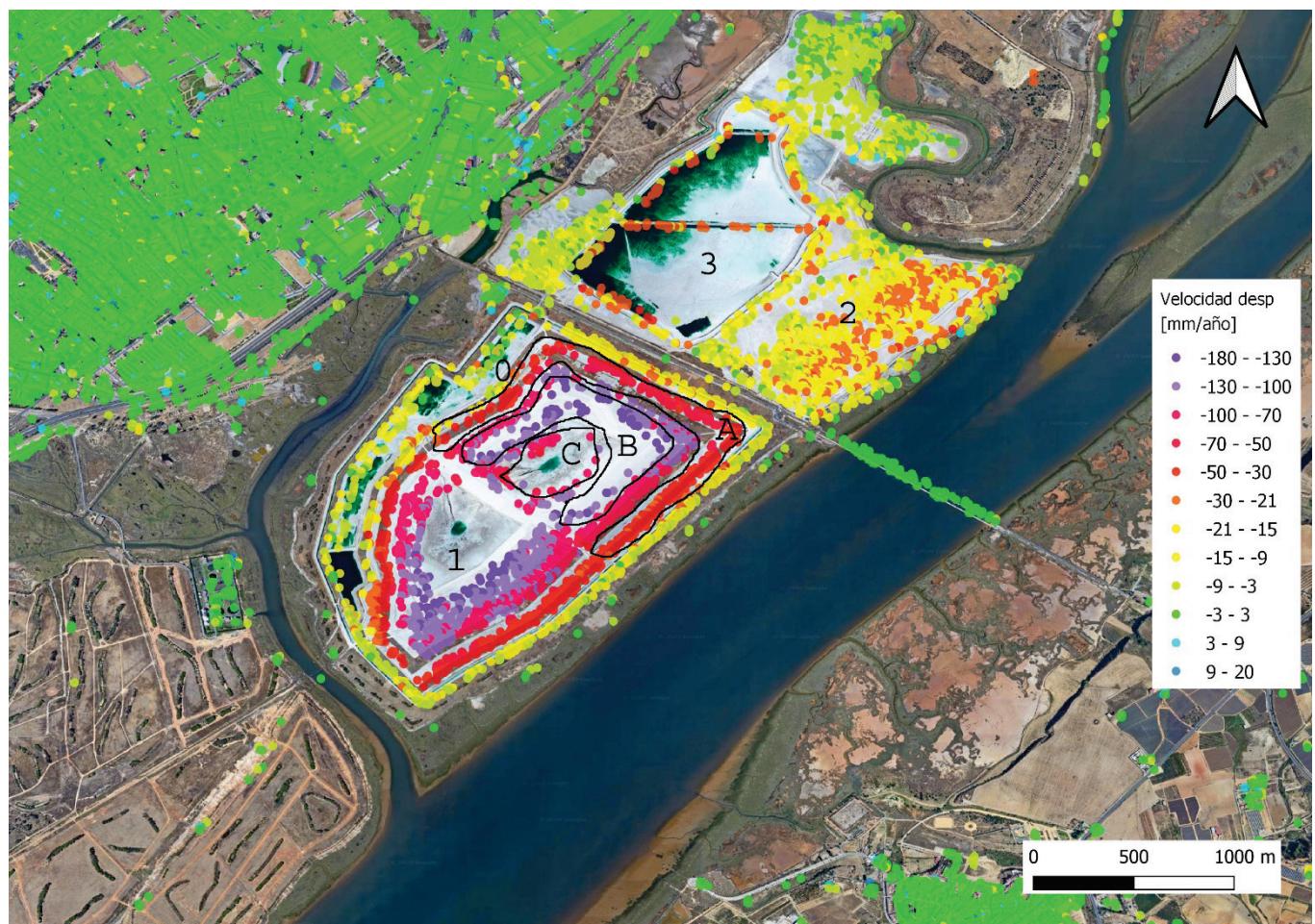


Figura 3: Velocidad de deformación en mm/año sobre la zona de las Balsas

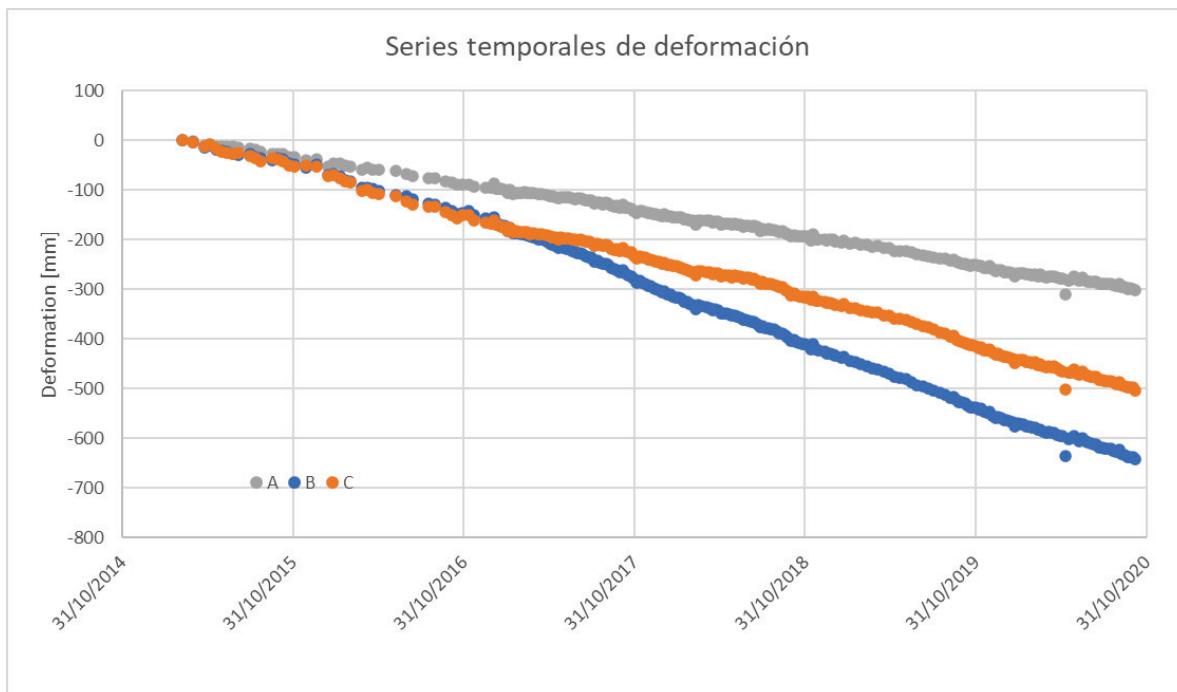


Figura 4: Series temporales de deformación promedio de las zonas A B C delimitadas en la Figura 3.

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.

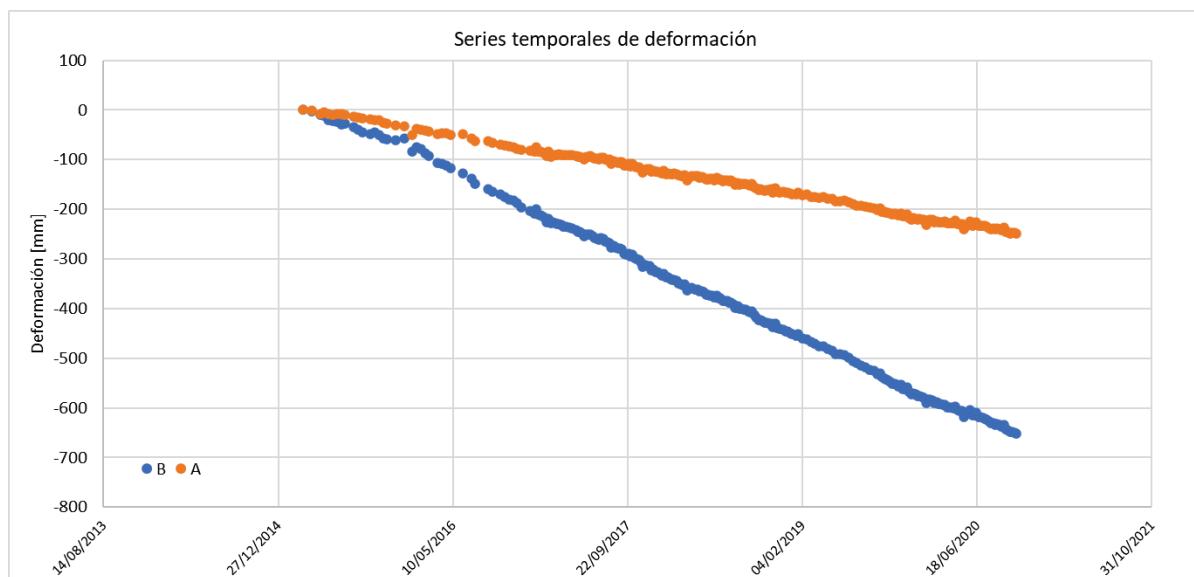


Figura 5: Series temporales de deformación promedio de zonas equivalentes a A y B pero en el área 1.

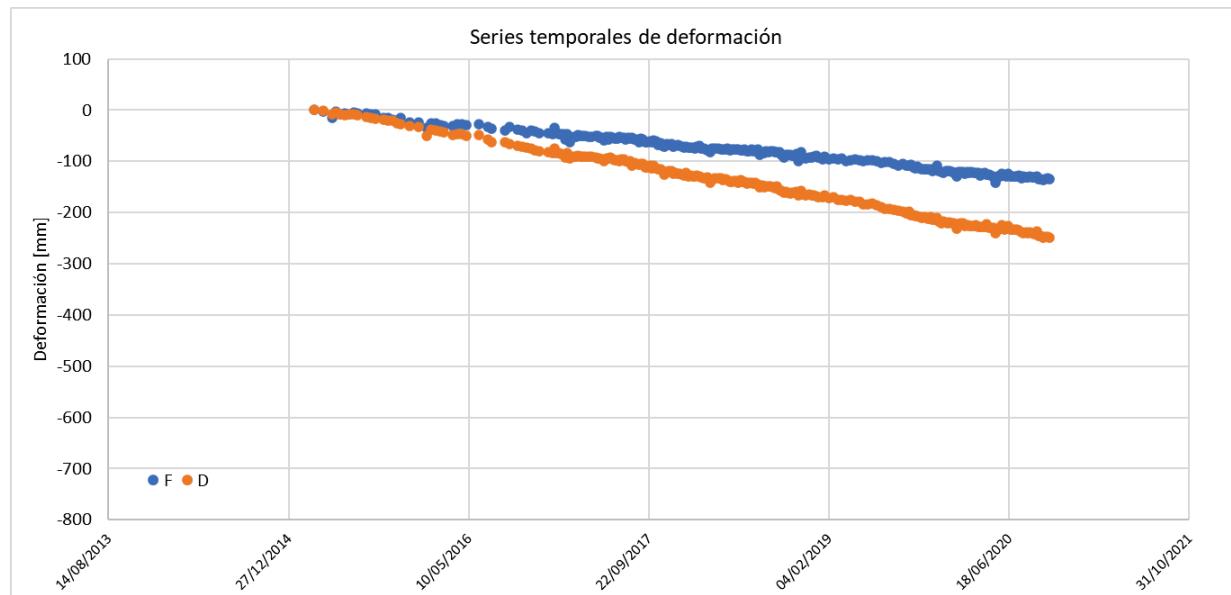


Figura 6: Series temporales de deformación promedio de zonas D y F.

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**.