



Universidad Pública de Navarra
Nafarroako Unibertsitate Publikoa

**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA AGRONÓMICA Y
BIOCIENCIAS**

***NEKAZARITZAKO INGENIARITZAKO ETA BIOZIENTZIETAKO GOI
MAILAKO ESKOLA TEKNIKO***

**ESTUDIO DE SUBSIDENCIA EN LORCA, MURCIA, MEDIANTE
ANÁLISIS MULTITEMPORAL DINSAR PSI**

presentado por

CLAUDIA URRICELQUI SARASIBAR *ek*

aurkeztua

Director:

JESÚS ÁLVAREZ MOZOS

Tutora:

IDURRE BARINAGARREMENTERIA
ARRESE (Tracasa Global)

**MASTER UNIVERSITARIO EN SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA Y
TELEDETECCIÓN**

***UNIBERTSITATE MASTERRA INFORMAZIO GEOGRAFIKOKO SISTEMETAN ETA
TELEDETEKZIOAN***



Septiembre, 2022

Iraila, 2022

RESUMEN

La subsidencia de la superficie terrestre como consecuencia de la actividad antropogénica ha aumentado a escala global en las últimas décadas. El valle del Guadalentín en la Región de Murcia, España, es la cuenca de subsidencia, producto de la explotación de acuíferos, más grande de Europa. El presente trabajo consiste en un estudio de interferometría diferencial radar (DInSAR) cuyo objetivo es la cuantificación del nivel de subsidencia de dicho valle. La metodología empleada consiste en un procesamiento de Interferometría de Dispersores Persistentes (Persistent Scatterer Interferometry, PSI) aplicada a imágenes Sentinel-1 en el periodo entre febrero de 2015 y diciembre de 2020. Los resultados del estudio, valores de desplazamiento del terreno y velocidades de subsidencia en el área de estudio, han sido comparados con los productos recientemente publicados del servicio European Ground Motion Service (EGMS) del programa Copernicus, mostrando un buen acuerdo.

Palabras clave: Interferometría, DInSAR, PSI, Sentinel-1, subsidencia, explotación de acuíferos, EGMS

ABSTRACT

Subsidence of the earth's surface as a consequence of anthropogenic activity has increased on a global scale in recent decades. The Guadalentín valley in the Region of Murcia, Spain, is the largest subsidence basin resulting from aquifer exploitation in Europe. The present work consists of a differential interferometric radar (DInSAR) study aimed at quantifying the level of subsidence in this valley. The methodology used consists of Persistent Scatterer Interferometry (PSI) processing applied to Sentinel-1 images in the period between February 2015 and December 2020. The results of the study, ground displacement values and subsidence velocities in the study area, have been compared with the recently published products of the European Ground Motion Service (EGMS) of the Copernicus programme, showing a good agreement.

Keywords: Interferometry, DInSAR, PSI, Sentinel-1, subsidence, groundwater extraction, EGMS

NOMENCLATURA

Lista de acrónimos

APS: Atmospheric Phase Screen

CNIG: Centro Nacional de Información Geográfica

CREM: Centro Regional de Estadística de Murcia

DInSAR: Differential Interferometric SAR

DS: Distributed Scatterer

EEA: European Environment Agency

EGM2008: European Geoid Model 2008

EGMS: European Ground Motion Service

ERS: European Remote Sensing Satellite

ESA: European Space Agency

ETRS89: European Terrestrial Reference System 1989

GNSS: Global Navigation Satellite System

IGN: Instituto Geográfico Nacional

INE: Instituto Nacional de Estadística

InSAR: Interferometric SAR

IW: Interferometric Wide-swath

LaSII: Land Subsidence International Initiative

LoS: Line of Sight

MDT: Modelo Digital del Terreno

PolSAR: Polarimetric SAR

PS: Pointwise Scatterer

PSI: Persistent Scatterer Interferometry

RADAR o Radar: Radio Detection and Ranging

RAM: Random Access Memory

RAR: Real Aperture Radar

RMSE: Root-Mean-Square Error

POD: Precise Orbit Determination

S-1: Sentinel-1

SAR: Synthetic Aperture Radar

SBAS: Small Baseline Subset

SLC: Single Look Complex

UNESCO: United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization

WGS84: World Geodetic System 1984

ÍNDICE

1. Introducción	9
1.1. Antecedentes	9
1.1.1. Teledetección radar e interferometría SAR.....	9
1.1.2. Subsidencia por sobreexplotación de acuíferos en el Valle de Guadaletín	12
1.2. Objetivos	16
2. Material y Metodología.....	17
2.1. Material	17
2.1.1. Área de estudio.....	17
2.1.2. Imágenes Sentinel-1	20
2.1.3. Órbitas Sentinel-1.....	22
2.1.4. Modelo Digital del Terreno.....	22
2.1.5. Datos GNSS	23
2.1.6. European Ground Motion Service.....	25
2.1.7. Software y herramientas de procesado.....	26
2.2. Metodología	27
2.2.1. Fases del procesamiento.....	27
2.2.2. Pre-proceso.....	27
2.2.3. Procesamiento multitemporal PSI.....	28
2.2.4. Calibración	31
2.2.5. Valoración de resultados	31
3. Resultados y Discusión	33
3.1. Producto DInSAR	33
3.2. Calibración	38
3.3. Valoración de resultados	43
4. Conclusiones	49
5. Bibliografía	50
6. Anexos.....	57
Anexo 1. Procesamiento PSI.....	57

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ejemplo de interferograma diferencial SAR con efecto de ruido e interferencia atmosférica.....	11
Figura 2. Comparación de coherencia y reflectividad relativa de elementos PS y DS	12
Figura 3. Ejemplo de mapa y gráfico 3D de subsidencia en Beijing, China.....	13
Figura 4. Diagrama de mecanismo de explotación de acuífero en Ciudad de México	14
Figura 5. Gráfico de tasas de aportación y extracción de recursos hídricos de la Cuenca del río Segura.....	15
Figura 6. Localización del área de estudio sobre mapa de divisiones administrativas y ortofoto PNOA 2019.....	17
Figura 7. Río Guadalentín y cuencas hidrográficas en el área de estudio	18
Figura 8. Esquema hidrogeológico del acuífero de Guadalentín y sección transversal	18
Figura 9. Materiales litológicos, conos de deyección y zonas de falla principales en el área de estudio	19
Figura 10. Usos de suelo en la zona de estudio.....	20
Figura 11. Modo de adquisición IW.....	21
Figura 12. Imagen de cilindro de órbita	22
Figura 13. Zona de interés sobre Modelo Digital del Terreno	23
Figura 14. Estaciones GNSS LORC y LOR1 en área de estudio.....	23
Figura 15. Gráfico de valores de desplazamiento vertical acumulado de las estaciones GNSS ..	24
Figura 16. Velocidades verticales en malla 50x50 km generadas a partir de datos GNSS empleada para calibrar el producto EGMS	24
Figura 17. Visor web del servicio EGMS	25
Figura 18. Ejemplo del producto Calibrated y Ortho sobre el norte de Italia	26
Figura 19. Diagrama de flujo del procesamiento completo	27
Figura 20. MDT elipsoidal recortado sobre la zona de estudio con un buffer de 1 km	28
Figura 21. Diagrama del procesamiento PSI.....	29
Figura 22. Diagramas de la red de conexiones de las imágenes S-1	33
Figura 23. Intensidad de reflectancia de la imagen máster	33
Figura 24. Ejemplo de generación de interferograma	34
Figura 25. Interferogramas derivados de una imagen temporalmente alejada y cercana a la máster	34
Figura 26. Producto de valor MuSigma	35
Figura 27. Ejemplo de Atmospheric Phase Screen de interferograma.....	35
Figura 28. Productos de velocidad first y final	36
Figura 29. Productos de height first y final.....	36
Figura 30. Productos de coherencia first y final.....	37
Figura 31. Producto de velocidades verticales tras el procesado multitemporal DInSAR.....	37

Figura 32. Evolución del desplazamiento vertical acumulado entre 2015 y 2020	38
Figura 33. Gráfico de valores de desplazamiento vertical acumulado de las estaciones GNSS .	39
Figura 34. Posición de los puntos empleados para realizar la corrección y estaciones GNSS....	39
Figura 35. Serie temporal de desplazamiento acumulado del resultado S-1 y de las estaciones GNSS.....	40
Figura 36. Modelo de regresión aplicado en la calibración	40
Figura 37. Producto de velocidades verticales tras el calibrado con los datos GNSS.....	41
Figura 38. Histograma de valores de velocidad original y calibrada	41
Figura 39. Modelo de velocidades de desplazamiento vertical derivado de la malla de calibración del EGMS	42
Figura 40. Producto de velocidades verticales tras el calibrado con la malla del servicio EGMS	42
Figura 41. Distribución de puntos PS sobre mapa de usos de suelo	43
Figura 42. Producto EGMS <i>Calibrated</i> descendente de la zona de estudio.....	44
Figura 43. Producto EGMS <i>Ortho</i> vertical de la zona de estudio	45
Figura 44. Comparación de resultados PS calibrados con los productos EGMS	45
Figura 45. Comparación de distribución de puntos en el resultado obtenido y el producto EGMS <i>Calibrated</i>	46
Figura 46. Comparación de velocidades verticales en el resultado obtenido y el producto EGMS <i>Ortho</i>	46
Figura 47. Desplazamiento medio acumulado de la escena del producto EGMS <i>Ortho</i> y de los resultados obtenidos	47
Figura 48. Polígono de estudio en el centro de la cuenca de subsidencia	47
Figura 49. Desplazamiento medio acumulado en el polígono descrito del producto EGMS <i>Ortho</i> y de los resultados PS obtenidos	48

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Posición exacta del área de estudio	17
Tabla 2. Características del modo IW de la misión Sentinel-1	21
Tabla 3. Número de imágenes S-1 obtenidas sobre la zona de estudio.....	21
Tabla 4. Características y mediciones de las estaciones GNSS	22
Tabla 5. Valores de desplazamiento vertical de las estaciones GNSS	38
Tabla 6. Distribución de puntos PS según el uso de suelo	44
Tabla A.1. Tiempos de procesamiento.....	57
Tabla A.2. Listado archivos procesamiento	57
Tabla A.3. Interferometric Process	62
Tabla A.4. Inversion: First Step	62
Tabla A.5. Inversion: Second Step.....	62
Tabla A.6. Geocoding	62

1. INTRODUCCIÓN

1.1. ANTECEDENTES

La subsidencia es el principal efecto geomecánico resultante de la falta de soporte subsuperficial. Se define como el hundimiento o asentamiento de la superficie terrestre causado por diferentes procesos de origen natural o antropogénico. Comúnmente, se refiere al componente vertical descendente del terreno, pero eventos de subsidencia pueden implicar desplazamientos horizontales de menor escala (Galloway et al., 2013). La subsidencia por colapso de asentamiento del terreno, concretamente, puede darse por extracción de materiales cercanos a la superficie, por extracción de fluidos subterráneos profundos, la eliminación de materiales solubles de acuíferos o extracción de partículas finas en suspensión (Hawkins, 2005)

La subsidencia como consecuencia de la actividad humana se ha encontrado en auge en las últimas décadas, y es considerada una de las amenazas más urgentes para el desarrollo sostenible, así mencionado en el UNESCO International Hydrological Program VIII (2014) (Fernández et al., 2018).

La Iniciativa LaSII (Land Subsidence International Initiative) de la UNESCO (2022) remarca los retos del uso sostenible de recursos hídricos y del suelo a los que se enfrenta la sociedad en las próximas décadas. Los efectos del cambio climático predicen incrementos del nivel del mar y variaciones en la distribución y frecuencia de precipitación, escorrentía y recarga de reservas hidrológicas. Las consecuencias de dichos fenómenos se manifestarán especialmente entre la creciente concentración de población en ciudades y zonas de litoral, donde la demanda de recursos hídricos potables crecerá por encima de la capacidad de abastecimiento del entorno natural.

1.1.1. Teledetección radar e interferometría SAR

La interferometría es una técnica de extracción de información del medio basada en el análisis del patrón de interferencia de ondas electromagnéticas superpuestas (Massonnet & Souyris, 2008). El concepto de interferometría radar implica el uso de sistemas de teledetección y geodesia para determinar la elevación precisa de la superficie terrestre y sus variaciones, mediante la medida de la diferencia de fase en dos observaciones radar de la zona de estudio.

Los sensores radar, también conocidos como radares formadores de imágenes (*imaging radar*) o sensores SAR (*Synthetic Aperture Radar*), son sistemas activos que operan en la región microondas del espectro electromagnético. Estos sensores emiten un haz o pulso de radiación hacia la superficie terrestre en una determinada longitud de onda y polarización y son capaces de recibir el eco o porción del pulso que es dispersado y retorna al sensor, es decir, la retrodispersión. De este pulso retrodispersado miden la amplitud y su fase. La primera, se relaciona con la intensidad del retorno y permite la obtención del coeficiente de retrodispersión, una magnitud normalizada que se relaciona con la naturaleza de los objetos observados (características dieléctricas y geométricas), lo que es de interés para numerosas aplicaciones (Ouchi, 2013; Tsokas et al., 2022). En el caso de la fase, su medición *per se* es una observación que resulta de poco interés. Dadas las diferencias físicas entre las superficies comprendidas en cada píxel de una imagen SAR, no es posible derivar valores de fase absolutos que aporten información práctica.

Sin embargo, es cuando se realizan comparaciones con otras observaciones la que permite el desarrollo de aplicaciones como la polarimetría (PolSAR, comparación con observaciones en otras polarizaciones) o la interferometría (InSAR, comparación con observaciones adquiridas en diferentes condiciones geométricas o temporales) (Ouchi, 2013). En este último caso, el análisis

del patrón de interferencia entre las fases de observaciones en distintos momentos es lo que se conoce como interferometría diferencial (DInSAR) o *repeat-pass interferometry*, base de las técnicas evaluadas en este trabajo (Kurt et al., 1998).

En el comienzo del desarrollo de la metodología DInSAR, las aplicaciones geodésicas publicadas se enfocaron principalmente al estudio de deformaciones causadas por terremotos, volcanes y glaciares (Massonnet et al., 1993). Sin embargo, pronto se comenzó a monitorizar otros ejemplos de fenómenos naturales, como eventos de deslizamiento de tierra (*landslides*) (Fruneau et al., 1996), subsidencia (Fielding et al., 1998) y explotación agrícola (Tomás et al., 2005). Adicionalmente, señales geofísicas más sutiles, como relajación post-sísmica, eventos de marea en zonas costeras y acumulación de tensión intersísmica también fueron sujeto de estudios interferométricos (Kurt et al., 1998).

La interferometría ha conseguido obtener precisiones de orden milimétrico en mapas de deformación (Crossetto et al., 2016; Elias et al., 2009; Ferretti et al., 2007), lo que constituye prácticamente una precisión inalcanzable por cualquier otra técnica de medición. Se trata de un método de reducido coste capaz de operar a escalas de hasta cientos de kilómetros cuadrados, áreas más amplias que métodos de registro discontinuos y puntuales, como los levantamientos topográficos (Kostoglodov et al., 2001) o el GPS (Bock et al., 1997).

Sin embargo, hay una serie de factores que influyen en la calidad de la medida de fase y que pueden llegar a limitar su uso. Entre ellos, cabe mencionar la influencia en las medidas de fase de componentes de la atmósfera como el vapor de agua y otros gases (Zekber et al., 1996) o la precisión del MDT de referencia, así como la necesidad de coherencia entre las observaciones para poder obtener interferogramas de calidad. Otra limitación de las medidas InSAR es que no son capaces de detectar los movimientos perpendiculares a la dirección de observación, o LoS (*Line of Sight*).

Emplear dos imágenes para caracterizar el movimiento relativo entre dos fechas determinadas conlleva limitaciones prácticas derivadas de la falta de correlación geométrica y temporal, así como el efecto de la atmósfera (*Figura 1*) (Bamler & Hartl, 1998; Rosen, 2000). Los componentes atmosféricos muestran una correlación espacial muy alta en adquisiciones SAR individuales pero la correlación temporal no es homogénea. De forma inversa, la posición de objetos superficiales es temporalmente coherente pero no necesariamente a nivel espacial.

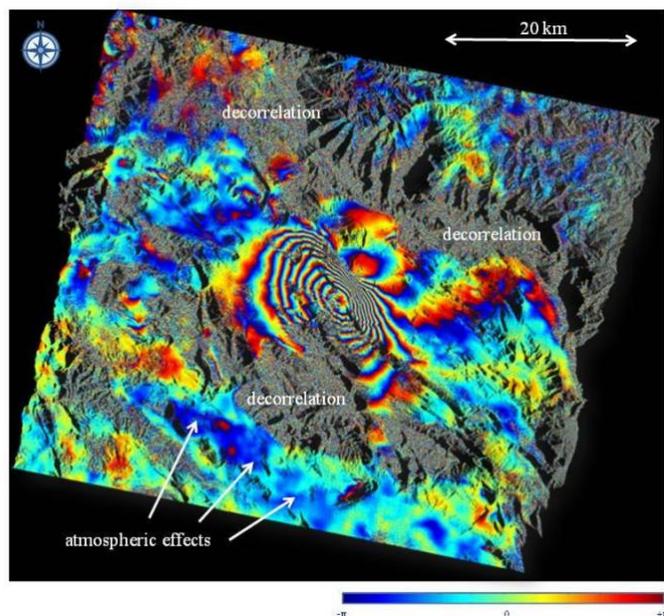


Figura 1. Ejemplo de interferograma SAR con efecto de ruido e interferencia atmosférica (Ferretti et al., 2021)

Puesto que son muchas las incógnitas a resolver, se han desarrollado métodos iterativos con gran exigencia computacional. Con el fin de mejorar los resultados interferométricos, se emplean stacks multitemporales de imágenes SAR para extraer niveles de coherencia a lo largo de la escena de estudio. Esto permite crear interferogramas con información útil dados ciertos umbrales de coherencia temporal y espacial, bajo los cuales se espera un nivel de decoherencia despreciable.

La coherencia es la medida normalizada de la estabilidad de la fase de un elemento dispersor (*scatterer*) en el tiempo. Es una forma de determinar cuantitativamente la correlación temporal de los elementos de la superficie terrestre. Un píxel o conjunto de píxeles con coherencia muy baja indica que la fase registrada no es estable, introduciendo ruido en el interferograma a partir del cual es imposible inferir datos fiables de desplazamiento.

En base a esto, se pueden diferenciar tres tipos de metodología según la naturaleza de los elementos dispersores objeto de su análisis (Figura 2). La técnica empleada en este trabajo se denomina PSI (*Persistent Scatterer Interferometry*) y detecta puntos con un centro de dispersión dominante caracterizados por una alta reflectividad. Estos elementos del terreno, llamados PS (*Persistent Scatterers*), se encuentran generalmente en zonas urbanas con elementos artificiales como edificios, puentes y carreteras, pero también pueden darse en paisajes naturales que formen un diedro capaz de reflejar el pulso de vuelta al sensor (Perissin & Ferretti, 2007). La metodología SBAS (*Small Baseline Subset*) propone un algoritmo que analiza puntos DS (*Distributed Scatterers*), mucho más comunes en la naturaleza, con baja amplitud por lo general y poca estabilidad de fase (Bernardino et al., 2002, Ferretti et al., 2021). Sin embargo, es posible realizar estudios interferométricos en base a ellos considerando promedios y correlaciones temporales estables, dada su homogeneidad espacial y estabilidad en su comportamiento dispersor. Finalmente, la tercera categoría de métodos incluye las técnicas híbridas, como SqueeSAR® (Ferretti et al., 2011), que hacen uso de ambos PS y DS para extraer la mayor información posible de la serie multitemporal.

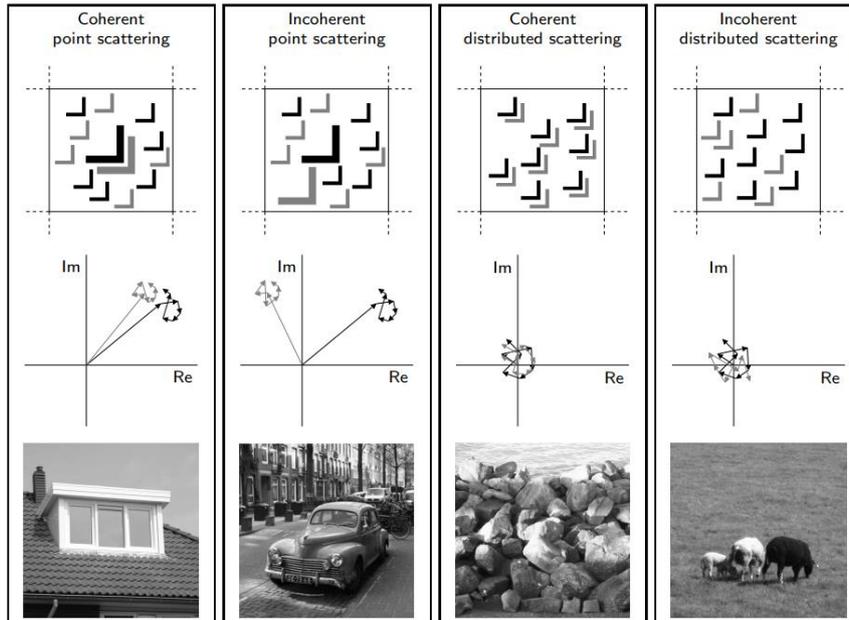


Figura 2. Comparación de coherencia y reflectividad relativa de elementos PS y DS. Arriba: Variación temporal de elementos dispersores (momento 1, en gris; momento 2, en negro). Medio: Diagramas del fasor en dos momentos dados. Abajo: Ejemplos de elementos dispersores (Van Leijen, 2014)

Independientemente del tipo de dispersor estudiado, el procesado DInSAR suele comenzar con la eliminación de las contribuciones de la fase interferométrica conocidas *a priori*, como la fase topográfica. También se hace una estimación y sustracción de la fase atmosférica, o APS (*Atmospheric Phase Screen*) (Ferretti et al., 2000; Liu et al., 2009), tras lo cual se identifican las zonas con un umbral de coherencia predeterminado. Se estima la altura de cada dispersor sobre el DEM de referencia y, por último, se obtienen las señales de fase representativas del desplazamiento en el rango temporal estudiado.

En los últimos años, los principales avances en el ámbito del estudio de la subsidencia con DInSAR se centran en afrontar el reto de gestionar el enorme volumen de datos disponible (*Big InSAR Data*) (Minh et al., 2020). Por otro lado, como consecuencia de los avances en el sector de la Inteligencia Artificial (IA), se desarrollan sistemas inteligentes capaces de detectar deformaciones del terreno de forma más eficiente (Monti-Guarnieri et al., 2018). Otros posibles avances en la tecnología se orientan a la mejora de los sensores y sistemas de adquisición, incluyéndose desde sistemas High Resolution Wide Swath (HRWS), con una mayor antena capaz de registrar resoluciones menores (Krieger et al., 2017; Mittermayer et al., 2021), hasta constelaciones de satélites adicionales y sistemas geosíncronos (Monti-Guarnieri & Rocca, 2017; Hobbs & Monti-Guarnieri, 2018) para mejorar la resolución temporal.

1.1.2. Subsidencia por sobreexplotación de acuíferos en el Valle de Guadalentín

El panel dedicado a la subsidencia del terreno del Consejo de Investigación Nacional de Estados Unidos señaló la necesidad de identificar, caracterizar y cuantificar este fenómeno para implementar futuras medidas de mitigación (National Research Council, 1991). Los desencadenantes de fenómenos de subsidencia son variados en origen y magnitud. Entre las causas más comunes se encuentran la disolución de la estructura edafológica y geológica,

excavación de túneles, extracción de materiales subterráneos, compactación del suelo y actividad tectónica.

La subsidencia por extracción de recursos fluidos subterráneos, ya sea natural o antropogénica es un fenómeno de interés histórico por la recurrencia de eventos de este tipo distribuidos a lo largo del planeta (Changming et al., 2001; Galloway et al., 1998; Phien-wej et al., 2006; Poland et al., 1969; Stramondo et al., 2007; Zhang et al., 2005) (*Figura 3*).

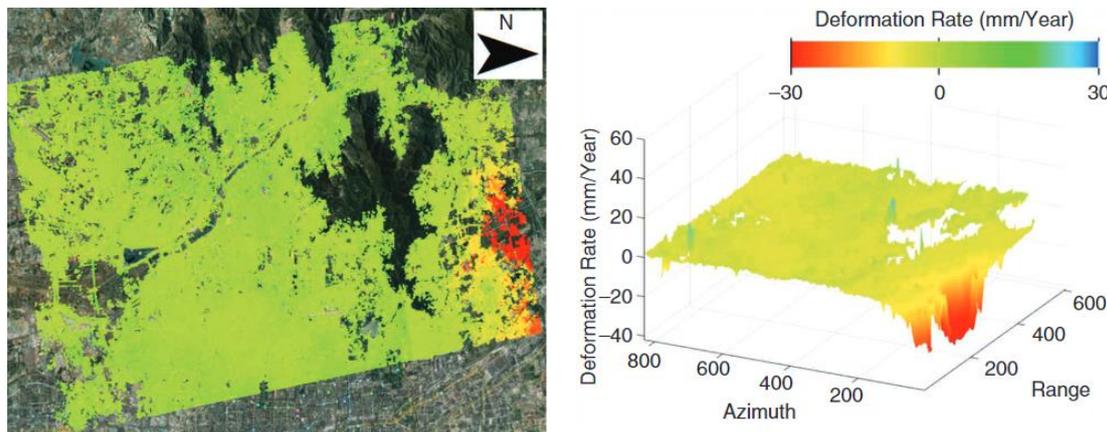


Figura 3. Ejemplo de mapa (izq.) y gráfico 3D (der.) de subsidencia en Beijing, China (Feiyang et al., 2020)

La sobreexplotación de los recursos hídricos, concretamente, afecta a zonas de gran extensión dada la elevada demanda causada por la expansión metropolitana y agrícola en zonas áridas (González et al., 2011; Vasco et al., 2019; Garg et al., 2022). Además de la subsidencia generada, si bien posiblemente leve, pueden presentarse efectos subsecuentes como el incremento del riesgo de inundación, la aparición de fallas superficiales y fisuras en infraestructuras a causa de los desniveles (Galloway & Burbey, 2011; Cigna et al., 2020).

El mecanismo principal de subsidencia, en este caso, se da en presencia de suelos clásticos poco consolidados asentados sobre zonas aluviales o ambientes marinos de poca profundidad. Las masas de agua se encuentran confinadas por materiales de gran permeabilidad y poca compresibilidad bajo el estrés interno del sistema. Al eliminar el soporte de la estructura mediante la extracción del agua se crean desestabilizaciones que llevan a la compresión de los materiales no consolidados, creándose un desnivel superficial (Poland et al., 1984) (*Figura 4*).

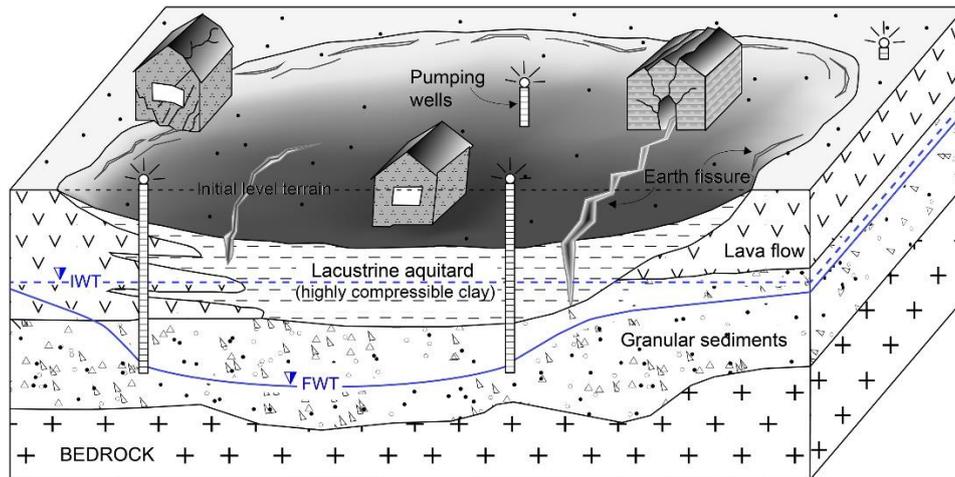


Figura 4. Diagrama de mecanismo de subsidencia por explotación de acuífero en Ciudad de México. IWT: Capa freática inicial (Initial Water Table), FWT: Capa freática final (Final Water Table) (Figuroa-Miranda et al., 2018)

La localidad de Lorca se encuentra en el Valle de Guadalentín, al sureste de la península Ibérica, y sufre una elevada tasa de subsidencia anual como consecuencia directa de la sobreexplotación acuífera. A pesar de haber sido declarado legalmente como recurso sobreexplotado en 1987, la tasa de extracción se sigue incrementando y el nivel piezométrico ha descendido considerablemente en los últimos años (Fernández et al., 2018). Esta zona ha sido identificada como la cuenca de subsidencia con mayor velocidad de desplazamiento por explotación de acuíferos en Europa (Ezquerro et al., 2020), comprendiendo velocidades de deformación entre 6 y 15 cm/año (González et al., 2012).

Este valle ha sido objeto de estudio de diversos trabajos de monitorización de subsidencia por su gran magnitud de desplazamiento (Béjar-Pizarro et al., 2016; Bonì et al., 2015; Bru et al., 2021; Ezquerro et al., 2020; Fernández et al., 2018; Herrera et al., 2009). Los estudios más recientes mediante imágenes LiDAR han descrito velocidades de subsidencia en el centro de la cuenca de hasta 14 cm/año entre 2009 y 2016 (Hu et al., 2022), con una posible tendencia descendente hacia los 9,5 cm/año entre los años 2015 y 2017 (Fernández et al., 2018) con medidas InSAR y GNSS.

En recientes décadas, la irrigación en la zona ha sufrido un crecimiento productivo significativo basado en la explotación intensiva de los recursos hídricos subterráneos, suministrados por las aportaciones del río Tajo a la cuenca del río Segura (García-Marín et al., 2020). El potencial de explotación derivado de tales recursos y la gran extensión de terreno rural, históricamente dedicado al cultivo tradicional de huertos y cultivos de secano, ha resultado en el incremento de actividades de agricultura extensiva (Alonso et al., 2016).

Se estima que 40 de las 63 masas de agua de la Demarcación Hidrográfica del Segura, en la que se halla el Valle de Guadalentín, se encuentran actualmente en situación de sobreexplotación (Alonso et al., 2016). El balance estimado de explotación de acuíferos en la zona indica un déficit anual en la cuenca de hasta 150 hm³ (CREM, 2022) (Figura 5).

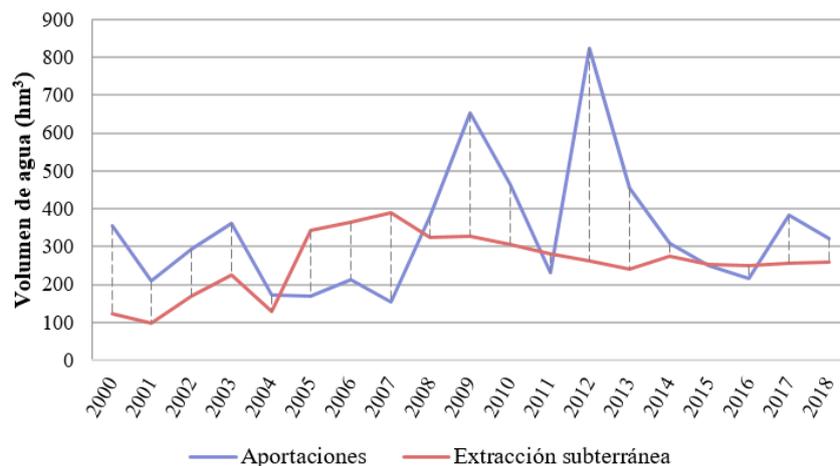


Figura 5. Gráfico de tasas de aportación y extracción de recursos hídricos de la Cuenca del río Segura (CREM, 2022)

Las consecuencias de la excesiva extracción en la zona son la salinización de los acuíferos costeros, el aumento de los costes de extracción vinculados a la sobreexplotación, contaminación de los manantiales (Alonso et al., 2016, Cerón & Pulido-Bosch, 1995) y la compactación del terreno (Bonì et al., 2015). Adicionalmente, la subsidencia generada por la depleción del acuífero podría agravar el impacto de eventos de sismo leves, e incluso propiciar su ocurrencia (Ibáñez, 2012; Jayamaran, 2021; Johnson et al., 2017; Kundu et al., 2015; Tiwari et al., 2021). La salinización del suelo también merma la capacidad de infiltración del agua, dificultando su transmisión hacia el sistema radicular de los cultivos, lo que consecuente causa una carencia de materia orgánica y la compactación del suelo. Degradación de suelos vulnerables, incremento de prácticas agrícolas erosivas y condiciones climáticas semiáridas son elementos adicionales que contribuyen a la progresiva desertificación del paisaje local en Lorca (Calatrava et al., 2020).

El estudio y comprensión de los procesos mencionados es indispensable para la gestión integrada de los recursos hídricos con las tendencias socioeconómicas y características físicas del medio. La determinación de la subsidencia resulta de importancia considerando su evolución y distribución como una consecuencia directa de los procesos de extracción y explotación de las reservas subterráneas. El conocimiento sobre sus mecanismos permite calibrar protocolos de monitorización y mitigación para evitar crisis ambientales y humanitarias.

En paralelo a diversos métodos de monitorización de la subsidencia, la interferometría SAR surgió como un método adicional de caracterizar estos fenómenos hidrológicos, aportando información única que puede facilitar y mejorar la gestión de los recursos hídricos (Galloway & Hoffmann, 2007; Hoffmann & Zebker, 2003).

1.2. OBJETIVOS

El objetivo principal del presente estudio es realizar un estudio DInSAR PSI en el valle de Guadalentín para cuantificar el fenómeno de subsidencia por explotación de los recursos hídricos subterráneos. Se busca proporcionar valores de velocidad para un rango temporal contemporáneo y contrastar información previamente publicada sobre la zona de estudio.

Como objetivos específicos del trabajo se propone:

- Obtener un producto de desplazamiento y velocidad de subsidencia vertical en la zona de estudio mediante la técnica PSI multitemporal comprendida entre enero de 2015 y diciembre de 2020 con imágenes Sentinel-1.
- Corregir el resultado obtenido utilizando datos GNSS, de redes geodésica u otros, para la obtención de velocidades de subsidencia verticales absolutas.
- Comparar el resultado obtenido frente al producto EGMS (European Ground Motion Service) y otros estudios adicionales realizados en la zona de interés.

2. MATERIAL Y MÉTODOLÓGÍA

2.1. MATERIAL

2.1.1. Área de estudio

Lorca es una ciudad situada al suroeste de la Región de Murcia. Su extensión es de 1.675 m², la mayor en España en términos municipales, con un censo superior a 95.000 habitantes a fecha de 2021 (INE).

El área de estudio se encuentra principalmente en dicha localidad, incluyendo también zonas pertenecientes a los municipios de Puerto Lumbreras, Totana y Águilas (*Figura 6, Tabla 1*). La zona ha sido escogida considerando estudios previamente realizados (Cerón y Pulido-Bosh, 1995; Ezquerro et al., 2019; Fernández et al., 2018) y las zonas de mayor subsidencia visibles en el producto EGMS. La limitación del área de interés se realiza por razones de esfuerzo de procesamiento de los datos.

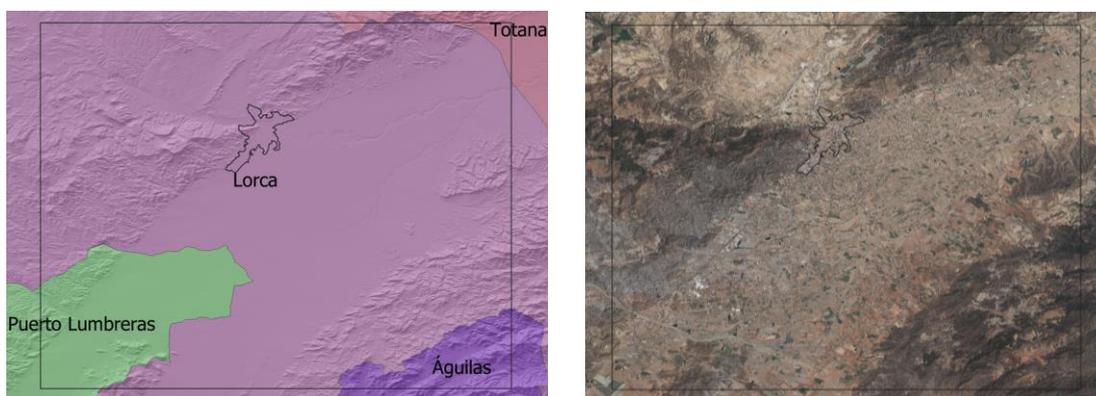


Figura 6. Localización del área de estudio sobre mapa de divisiones administrativas (izq.) y ortofoto PNOA 2019 (der.)

Tabla 1. Posición exacta del área de estudio

	Longitud	Latitud
Vértice izquierdo superior	-1,83256	37,74356
Vértice derecho inferior	-1,54330	37,51688

El clima en la zona está caracterizado por eventos de lluvia escasos, con una media de 79 días de lluvia al año, un promedio anual de 285,9 mm y menos de 150 mm en los años más secos. La temperatura media máxima es de 25,1 °C y la media de 18,9 °C (CREM, 2022).

La zona de estudio se encuentra en la Subcuenca del río Guadalentín, enmarcado en la Cuenca Hidrográfica del río Segura. Principalmente, se halla en la zona del Bajo Guadalentín pero también se incluye parte del Alto Guadalentín y la Cuenca del Mar Mediterráneo (CARM, 2022). El río Guadalentín atraviesa la Región de Murcia y desemboca en el margen derecho del Segura. Atraviesa la ciudad de Lorca y recorre la denominada depresión prelitoral murciana (*Figura 7*). El valle no tiene caudales permanentes, pero sufre regularmente de eventos de avenidas en el río Guadalentín y en los arroyos Nogalte, Torrecilla y Béjar (Ezquerro et al., 2019).

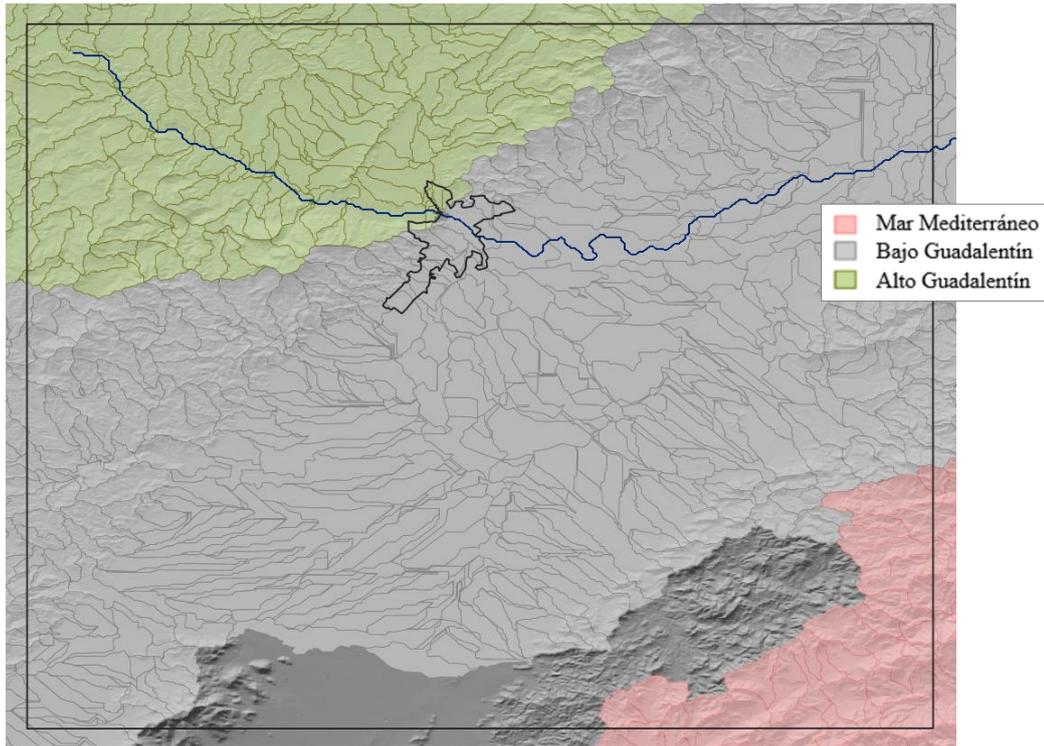


Figura 7. Río Guadalentín y cuencas hidrográficas en el área de estudio

El acuífero está formado por dos unidades diferenciadas (Cerón y Pulido-Bosch, 1995; Aragón et al., 2014). La parte superior está conformada por arcillas, limos y arenas, y ocupa entre los primeros 5 a 30 metros bajo la superficie. El sistema inferior del acuífero está formado por materiales del Pleistoceno y Plioceno, una secuencia de gravas y arenas en alternación con margas, arcillas y limos (Herrera et al., 2009) (Figura 8).

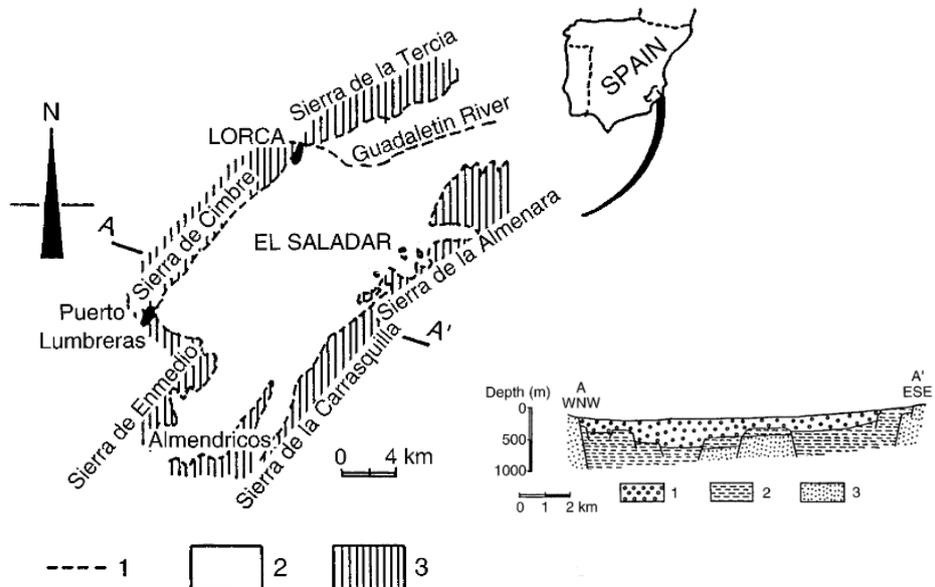


Figura 8. Esquema hidrogeológico del acuífero de Guadalentín y sección transversal. Izquierda: 1) límite del área estudiada; 2) límite del acuífero; 3) materiales adyacentes. Derecha: 1) acuífero sobre material detrítico del Plio-Cuaternario; 2) sub-estrato del Mioceno; 3) sub-estrato metamórfico (Cerón y Pulido-Bosch, 1995)

La zona de estudio se sitúa en la cara este de la Cordillera Bética y comprende parte de la falla de Alhama (*Figura 9*). La actividad sísmica en el área es frecuente, con eventos de magnitud significativa como el terremoto de 2011 al norte de Lorca, de M 5,1.

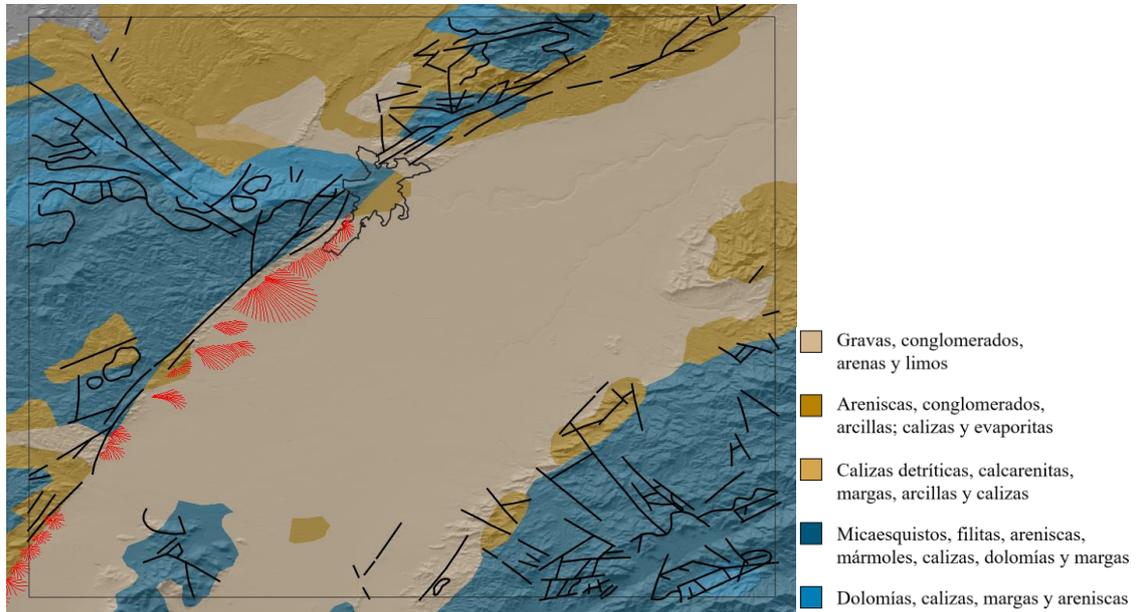


Figura 9. Materiales litológicos, conos de deyección y zonas de falla principales en el área de estudio (IGN, 2022)

El principal uso de suelo de la zona comprende terrenos con vegetación, bien por actividad agrícola o en áreas forestales (87%). Las zonas de suelo desnudo y los destinados a actividad urbana o industrial corresponden el 6% y 5% de total de la superficie, respectivamente. Solo un 2% del terreno está conformado por masas de agua (*Figura 10*).

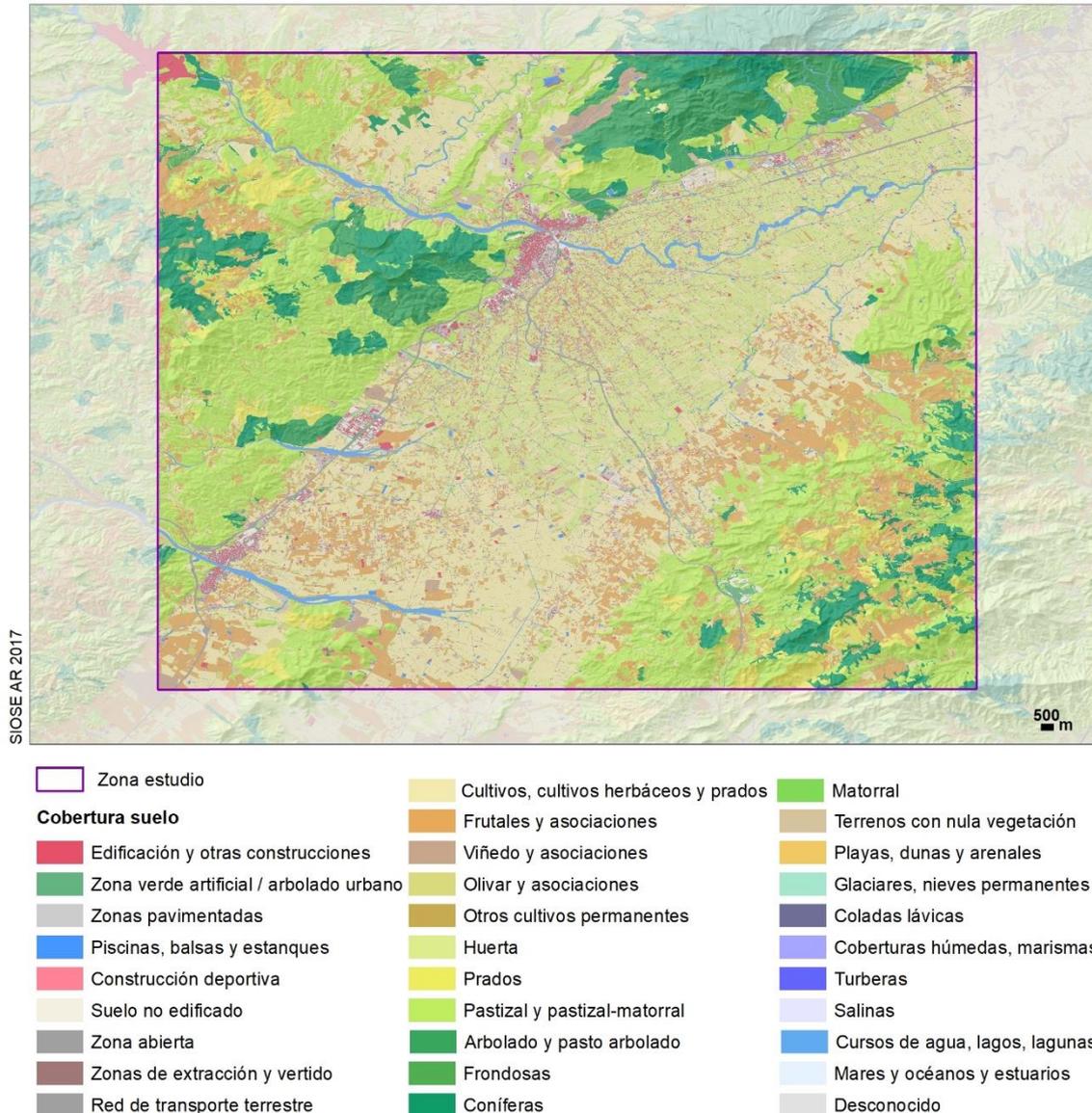


Figura 10. Usos de suelo en la zona de estudio (IGN, 2022)

2.1.2. Imágenes Sentinel-1

La misión Sentinel-1 fue la primera misión lanzada por el programa Copernicus en 2014 (Torres et al., 2012). Consta de dos plataformas gemelas, Sentinel-1A y Sentinel-1B, que capturan imágenes SAR en la banda C y operan en ciclo orbital cuasi polar, coherente y monostático (Ferretti et al., 2021). Su periodo de revisita es de 12 días respectivamente por lo que se obtienen datos de una misma escena en diferentes geometrías cada 6 días (usando S-1A y S-1B).

El principal modo de observación de S-1 sobre la superficie terrestre es el *Interferometric wide-swath (IW)*, caracterizado por un sistema TOPS (*Terrain Observation by Progressive Scans*) (De Zan et al., 2006) con tres sub-pasadas o *subswaths* (Tabla 2, Figura 11).

Tabla 2. Características del modo IW de la misión Sentinel-1

Sub-pasadas	IW1, IW2, IW3
Anchura de pasada	250 km
Ángulo de incidencia	~30-45°
Resolución en acimut (<i>along-track</i>)	~20 m
Resolución en rango (<i>ground range</i>)	~5 m
Polarización	VV+VH (defecto) HH+HV

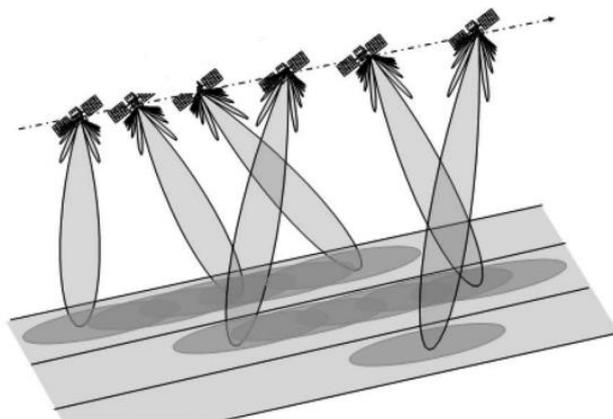


Figura 11. Modo de adquisición IW (ESA, 2007)

En general, Sentinel-1 proporciona una visión espacial muy completa de la subsidencia en una región, dada su mayor cobertura espacial en comparación con otras misiones. Su disponibilidad abierta y su consistencia y frecuencia temporal hacen que sea un producto adecuado para el estudio de la subsidencia en zonas territoriales amplias (Haghshenas et al. 2019).

Los datos empleados en el presente estudio se encuentran a nivel de procesamiento L-1 SLC (*Single Look Complex*), georreferenciados empleando datos de órbita y actitud del satélite. El efecto Doppler ha sido corregido y se conserva la información de fase en formato complejo de la polarización VV. La geometría se encuentra en rango inclinado (*slant range*).

Las imágenes sobre la zona de estudio pertenecen a la órbita 8 (descendente) y se encuentran disponibles en *Copernicus Open Access Hub*. Considerando el elevado volumen de archivos requerido, se emplea el centro de descargas de la base de datos de Alaska Satellite Facility (ASF) Distributed Active Archive Center (DAAC) para realizar una descarga en lote. El total de imágenes SAR es de 345, capturadas entre el 1 de enero de 2015 y el 31 de diciembre de 2020 (Tabla 3). Ciertas fechas constan de dos imágenes cuando el corte de las imágenes divide el área de interés.

Tabla 3. Número de imágenes S-1 obtenidas sobre la zona de estudio

	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Nº imágenes	23	60	84	61	57	60

2.1.3. Órbitas Sentinel-1

El procesamiento interferométrico requiere medidas muy precisas sobre el posicionamiento del sensor para la corrección de la geometría de observación, por lo que es necesario un control exigente de las órbitas del satélite. Las órbitas de Sentinel-1 se definen usando un cilindro de referencia con radio de 50 m (RMS) (Tabla 4, Figura 12).

Tabla 4. Características de las órbitas Sentinel-1

Altitud	Inclinación	Periodo	Ciclo	Desviación del cilindro de referencia	Hora local en el nodo ascendente
693 km	98.18°	98.6 min	12 días	± 100 m	18:00 h

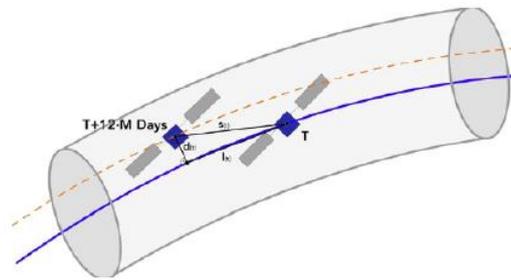


Figura 12. Imagen de cilindro de órbita de Sentinel-1. Fuente: ESA, 2022

Los archivos con información precisa de las órbitas de la constelación S-1 pueden obtenerse a través del servicio *Sentinel Precise Orbit Determination* (POD) de Copernicus.

2.1.4. Modelo Digital del Terreno

Para corregir el componente topográfico de la fase interferométrica es necesario extraer la información de la geometría de adquisición local conocida *a priori*. Para ello, además de la información orbital, se hace uso de un Modelo Digital del Terreno (MDT).

El MDT empleado en este estudio es un producto derivado de un vuelo LiDAR realizado en el marco del Plan Nacional de Observación del Territorio (PNOA). Se encuentra en el sistema de referencia ETRS89 y con una proyección UTM en el huso 30. El producto consta de una malla de 5 m de resolución espacial. Las alturas expresadas son ortométricas.

Los datos se encuentran disponibles en el centro de descargas del Centro Nacional de Información Geográfica (CNIG) del IGN. Se descargan las hojas 0953 y 0975 para obtener la cobertura total de la zona de estudio (Figura 13).

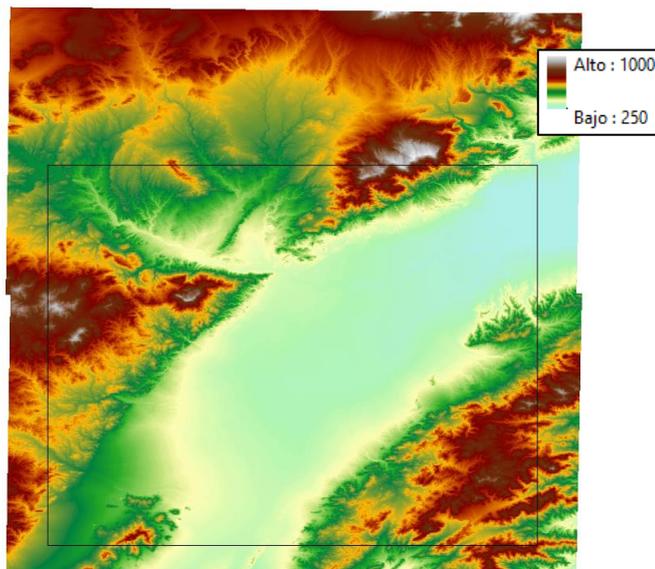


Figura 13. Zona de interés sobre Modelo Digital del Terreno

2.1.5. Datos GNSS

Las estaciones GNSS miden de forma continua y muy precisa la localización (X, Y, Z) del punto donde se instalan gracias a las diferentes constelaciones GNSS existentes (GPS, Galileo, GLONASS, BeiDou). Existen distintas iniciativas locales, estatales e internacionales que recaban los datos recogidos en estas estaciones y los ponen a disposición de los usuarios interesados. Las bases de datos consultadas son el EUREF Permanent GPS Network Densification Program (EPND), Nevada Geodetic Laboratory GPS Network Map, EUREF European Dense Velocities, el Servicio de Posicionamiento en Tiempo Real del IGN y la Red GNSS MERISTEMUM de Murcia. Solo dos de las estaciones de estas redes se localizan dentro en la zona de estudio, LRCA y LOR1, y cumplen los requisitos necesarios para realizar la corrección (Figura 14, Figura 15). Sus datos, expresados en el sistema de referencia IGS14 y en formato tenv3, se descargan a través del servicio de Nevada Geodetic Laboratory GPS Network Map (Blewitt et al., 2018).

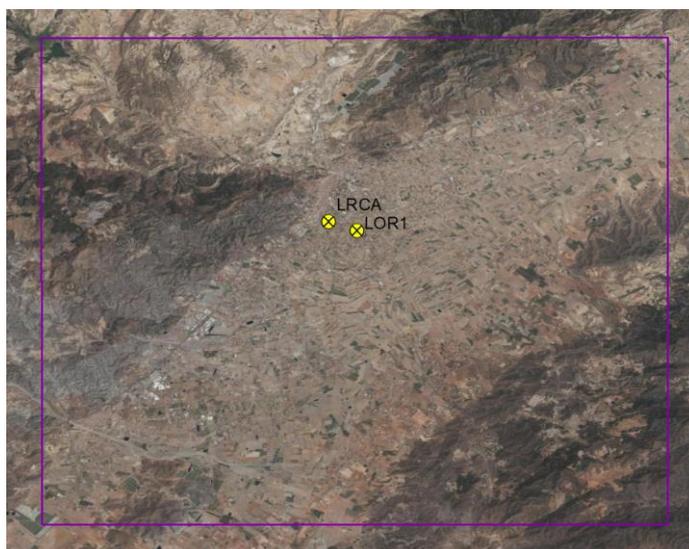


Figura 14. Estaciones GNSS LRCA y LOR1 en el área de estudio

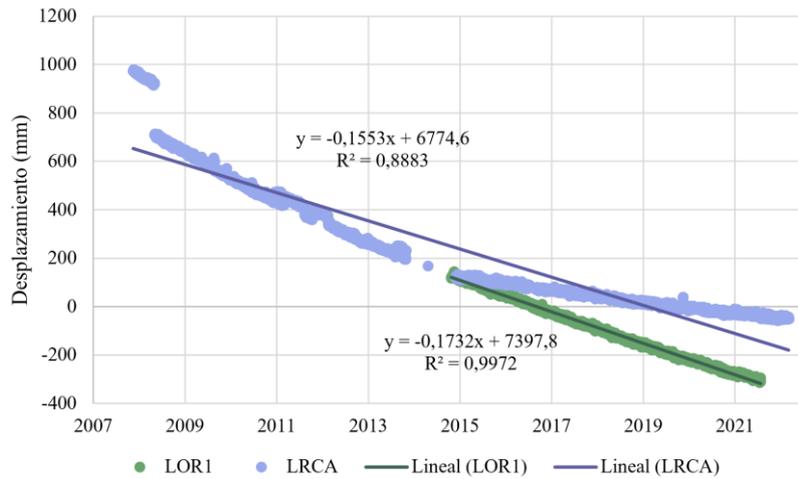


Figura 15. Gráfico de valores de desplazamiento vertical acumulado de las estaciones GNSS (funciones expresadas en mm/día)

Adicionalmente, se consulta la red de velocidades verticales GNSS generada por el programa Copernicus para la calibración del producto EGMS (Figura 16).

Esta red se trata de una malla de puntos de 50x50km con datos de velocidad interpolados a partir de redes GNSS. El valor de 50km viene dado la separación media entre las estaciones GNSS europeas empleadas en la generación del producto. Esta red se utiliza en el procesado DInSAR del EGMS para eliminar el efecto de movimientos a gran escala espacial. De este modo, el producto EGMS representa los movimientos locales obtenidos mediante el procesamiento interferométrico de muy alta densidad.

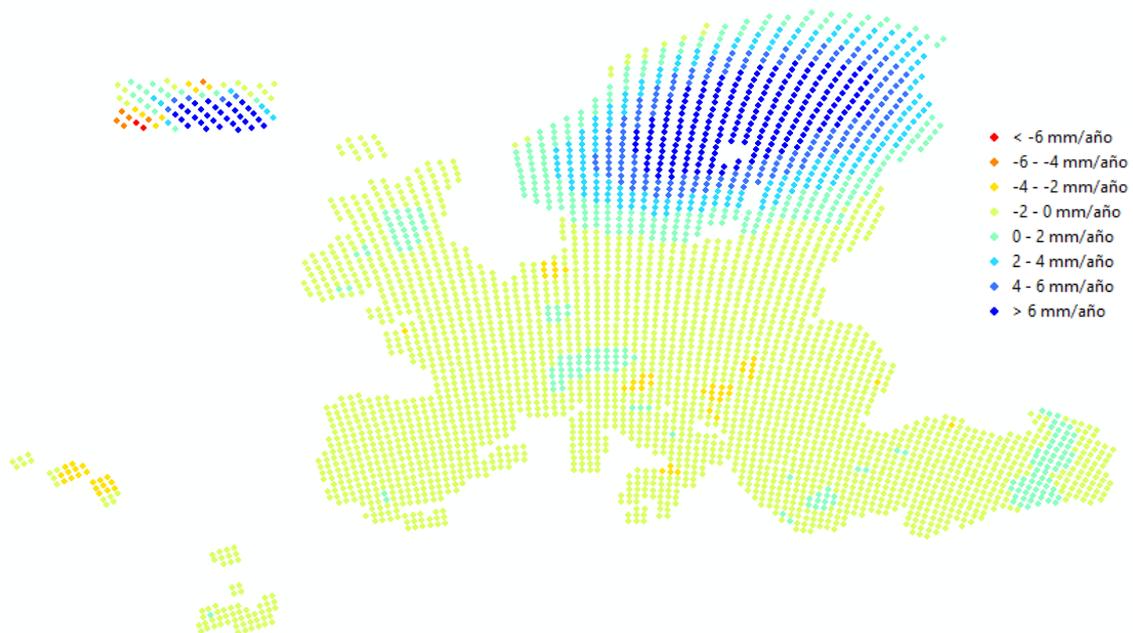


Figura 16. Velocidades verticales en malla 50x50 km generadas a partir de datos GNSS

2.1.6. European Ground Motion Service

El European Ground Motion Service es un proyecto gestionado por el Land Monitoring Service del sistema europeo de observación terrestre Copernicus. El servicio es implementado por la Agencia Ambiental Europea (EEA) y su objetivo es ofrecer datos de calidad y libre acceso al mayor número posible de usuarios a nivel paneuropeo sobre la subsidencia del terreno. Es información que se genera al margen de barreras nacionales y ofrece una solución eficiente y uniforme para todos los países miembro.

Las áreas de aplicación del producto EGMS son muy amplias. En cuanto a eventos geofísicos, se incluyen los ámbitos de la sismología, monitorización y evaluación de desastres naturales, vulcanología, hidrología superficial y subterránea, glaciología, minería, ciencias forestales e ingeniería ambiental (Zhou et al., 2009). Además, son de utilidad en proyectos de planificación urbana, desarrollo y gestión de infraestructuras, ingeniería civil, herencia cultural y planificación de rutas y carreteras.

El servicio EGMS es el producto de un procesado interferométrico multitemporal de imágenes Sentinel-1. El 19 de mayo de 2022 se publicó el primer resultado, que constituyó un hito en este ámbito al ser el resultado con mayor nivel de procesamiento publicado en un visor web (Cop) (*Imagen 17*). EGMS publica datos con distinto nivel de procesamiento, el producto *Calibrated* (Nivel 2b) se genera a la mayor resolución espacial posible y representa el desplazamiento en la dirección del LoS. Las medidas han sido calibradas, por lo que la información es consistente temporal y espacialmente. Derivado del anterior, el producto *Ortho* (Nivel 3) muestra por separado la velocidad en la dirección vertical (normal a la superficie plana) y en la este-oeste (*Figura 188*). En este caso, los datos se representan en una malla de resolución de 100 m generada a partir de la combinación de los resultados de las órbitas ascendente y descendente.

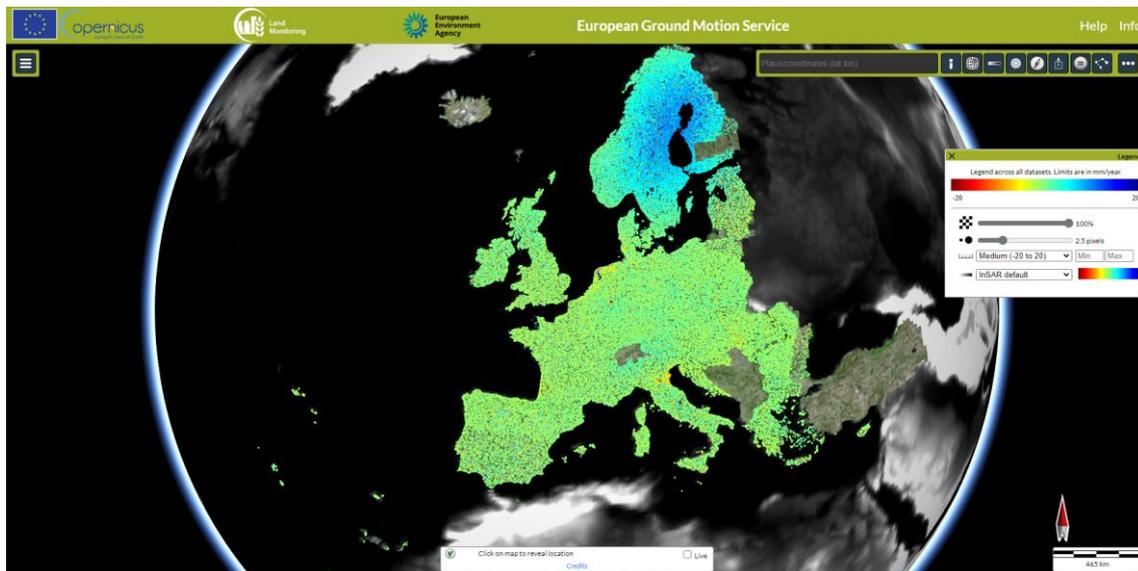


Figura 17. Visor web del servicio EGMS

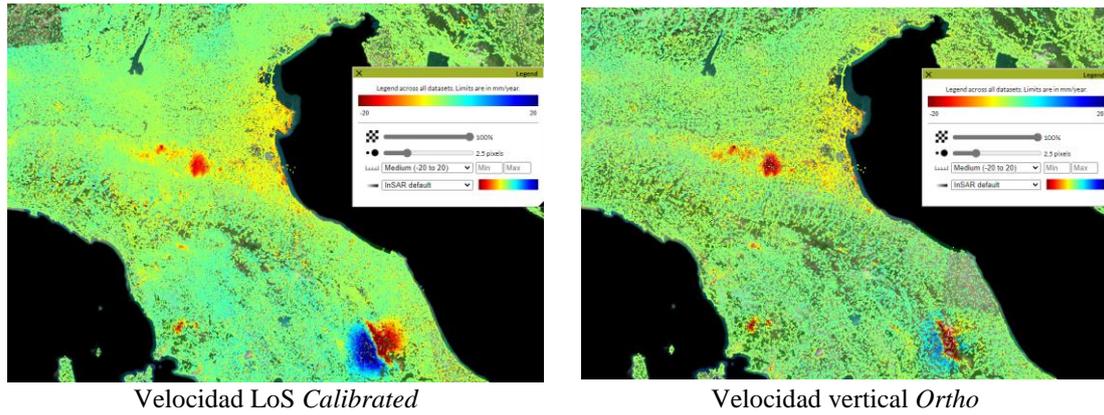


Figura 18. Ejemplo del producto *Calibrated* y *Ortho* sobre el norte de Italia

Las limitaciones del producto derivan de la disponibilidad de cobertura en ambas geometrías para una zona concreta del terreno, ya sea por carencia de datos del sensor o altas inclinaciones topográficas que pueden llegar a impedir la observación del relieve. Adicionalmente, supone un desplazamiento nulo en la dirección norte-sur que puede ser inconsistente con la naturaleza de ciertos movimientos del terreno. Se trata de un sesgo común a los datos derivados de cualquier sistema SAR de órbita polar.

2.1.7. Software y herramientas de procesado

El procesado interferométrico se ha realizado a través del módulo SARscape en ENVI 5.6.2. El pre-procesado de productos auxiliares y análisis de resultados, así como visualización y representación de figuras se ha llevado a cabo mediante ArcMap 10.5, QGIS 3.14, Microsoft Excel 2016 y la herramienta online Diagram.net.

El equipo empleado integra un sistema operativo de 64 bits, procesador basado en x64 y RAM de 32 GB. Contiene un procesador Intel® Core™ i9 @ 3,70 GHz.

2.2. METODOLOGÍA

2.2.1. Fases del procesamiento

Previo al comienzo del análisis interferométrico, es necesario realizar un pre-procesamiento de los datos primarios para ajustarlos a los requerimientos específicos tanto de software como de diseño del procesado. A continuación, se realiza el procesamiento DInSAR PSI multitemporal. Tras la obtención de los valores de desplazamiento y velocidad, se realiza un calibrado o corrección basado en los datos de las estaciones GNSS para ajustarlos al terreno y obtener valores absolutos. Por último, se realiza una valoración de los resultados finales para contrastar datos y extraer conclusiones del conjunto del procesamiento (*Figura 19*).

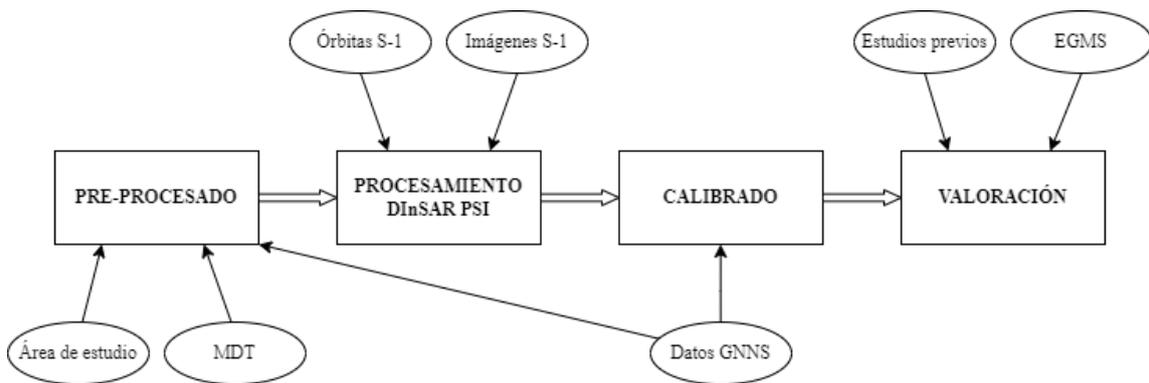


Figura 19. Diagrama de flujo del procesamiento completo

2.2.2. Pre-proceso

Previamente al procesado interferométrico, se preparan los datos auxiliares en los formatos y extensiones requeridas. El MDT es reproyectado al sistema de coordenadas WGS84, común a todos los productos derivados del estudio, y se recorta en base al área de estudio con una zona buffer de 1 km (*Figura 20*). Tras importarlo a ENVI, se extrae el modelo de geoide EGM2008 para expresar las alturas con referencia elipsoidal.

Tras la descarga de las órbitas precisas (Copernicus Sentinels POD Data Hub, 2022) y las imágenes Sentinel-1, el total de archivos es importado a ENVI. Solo se conservan los datos coincidentes con la zona de interés y polarización VV. Se generan archivos .slc y se crean los mosaicos de las imágenes satelitales que se encuentran divididas en dos escenas diferentes.

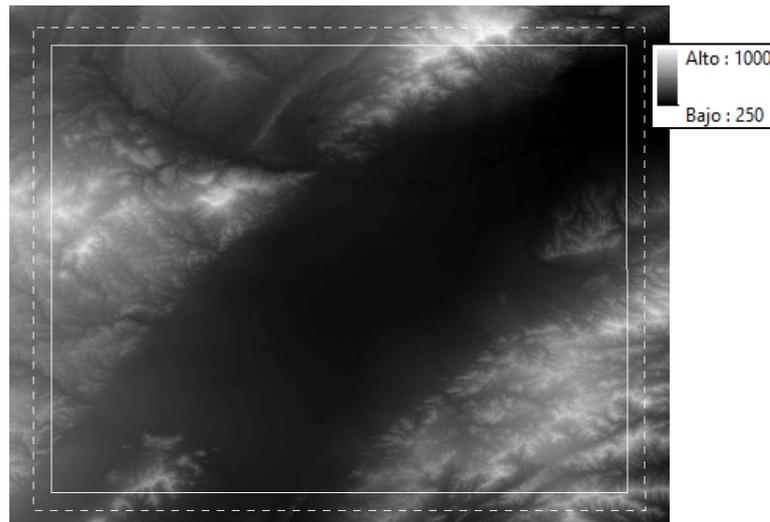


Figura 20. MDT elipsoidal recortado sobre la zona de estudio con un buffer de 1km

2.2.3. Procesamiento multitemporal PSI

Las técnicas interferométricas que emplean una serie temporal amplia se engloban bajo el nombre DInSAR multitemporal, también denominado *time-series DInSAR*, *repeat pass* o *repeat track* (Xue et al., 2020), objeto de uso en este trabajo. El procesamiento PSI multitemporal se basa en el análisis de puntos PS en el terreno para el cálculo de desplazamientos lineales y derivación de alturas precisas de puntos locales, generalmente caracterizados por niveles altos de coherencia y retrodispersión intensa. La técnica se enfoca en analizar información procedente de una serie de adquisiciones suficientemente amplia (más de 20 imágenes) para extraer estimaciones de coherencia en la escena e identificar puntos de dispersión estables (Ferretti et al., 2000; Ferretti et al., 2001).

Cada serie de procesamiento debe comprender datos de entrada obtenidos por el mismo sensor, con la misma geometría de observación y con información de la señal de una misma polarización.

El procesamiento comienza con la identificación de los puntos PS presentes en la zona de estudio. La estabilidad de la amplitud es un buen proxy para la estabilidad de fase bajo un cierto nivel de ruido, por lo que un primer análisis es limitado a los píxeles con bajos niveles de dispersión de amplitud, es decir, un alto índice señal-ruido (*signal-to-noise ratio*, SNR). Esto permite identificar los puntos PS aplicando el criterio del índice de dispersión de la amplitud, D_A (*amplitude dispersion index*), que representa el coeficiente de variación de la amplitud, es decir el cociente entre la desviación típica y la amplitud media a lo largo de toda la serie temporal. Generalmente, se considera que un punto puede ser objeto de estudio en PSI cuando D_A es inferior a 0,25, es decir su retrodispersión es estable.

Los puntos seleccionados se emplean para generar los interferogramas. Se considera un método basado en una sola referencia, pues emplea una sola imagen máster para crear la red de conexiones de la serie de imágenes. Las líneas base temporal y espacial (perpendicular), así como la frecuencia Doppler de la imagen máster deben encontrarse cerca del centro del conjunto de imágenes para maximizar la correlación (Xue et al., 2020).

Las componentes topográficas de la fase se eliminan mediante el uso de información auxiliar, en concreto el MDT y los puntos de control en el terreno. La resolución de la ambigüedad del ciclo 2π de la fase (también conocido como *unwrapping*) se aborda planteando un modelo basado en

la segunda derivada de la fase de los puntos PS. La solución del modelo se obtiene mediante la estimación de los parámetros y la subsecuente integración espacial para el conjunto de la escena. Se realiza una primera aproximación para obtener los parámetros con un algoritmo simple del periodograma y, posteriormente, se elimina la fase producto del efecto atmosférico. Estos pasos pueden ser iterados para refinar el resultado y eliminar más puntos de ruido de la escena.

El software empleado realiza el procesamiento previo en cinco fases con una iteración del modelo para obtener valores de coherencia, velocidad y altura refinados (Figura 21). Los tiempos de procesado y parámetros empleados se encuentran recogidos en el Anexo 1.

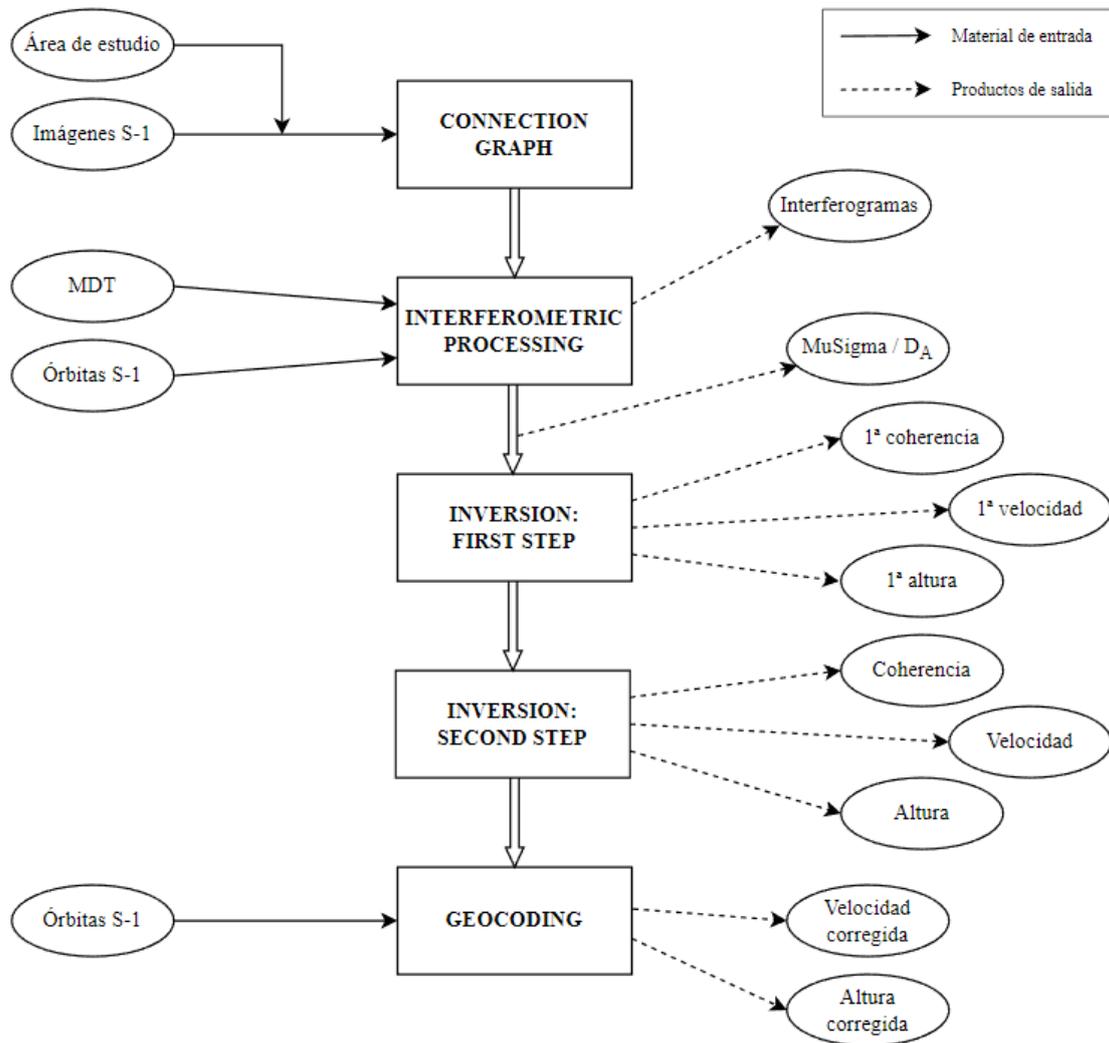


Figura 21. Diagrama del procesamiento PSI en ENVI SARscape

Connection Graph

El paso *Connection Graph* consiste en la generación de la red de conexiones a pares entre las imágenes para obtener el conjunto de interferogramas. Se determina una imagen de referencia (máster) a la que se asocia el resto de imágenes (esclavas o *slaves*). La elección de la imagen máster se hace de forma automática en base al criterio de minimizar la dispersión de las líneas

base (*baselines*) temporal y geométrica, quedando la imagen escogida generalmente en el centro del rango temporal considerado. Esto implica una coherencia media máxima y un mayor valor de SNR (*signal-to-noise ratio*) de los interferogramas posteriores.

Los productos derivados de este proceso son las imágenes de intensidad, gráficos de las líneas base temporal y geométrica, la imagen máster y la lista de imágenes slaves de la red de conexiones.

Interferometric Process

La fase *Interferometric Process* realiza de forma automática diferentes procesos. En el paso de *Coregistration*, las esclavas se ajustan geoméricamente para quedar perfectamente empastadas con la imagen máster. Se generan los interferogramas, producto de cada esclava y la máster. Hay un total de $n-1$ interferogramas, siendo n el número total de imágenes. Procede el paso de *flattening*, o corrección topográfica, mediante el cual se corrige su efecto en la fase de la onda. Mediante el MDT y las órbitas precisas del satélite se calcula la distancia exacta del sensor al terreno. Esta distancia se expresa como un valor de fase que se extrae de los datos, eliminando así el efecto de la topografía de la imagen y generando los interferogramas diferenciales y datos de intensidad. Por último, se hace el cálculo del índice de dispersión de amplitud (*Amplitude Dispersion Index*, D_A), inverso del índice MuSigma. Se asigna un valor de 4 al índice MuSigma ($D_A \leq 0,25$) como umbral para la selección de puntos PS y no se introducen puntos de control para la realización del proceso.

Los productos resultantes son los archivos de intensidad de las imágenes S-1, el conjunto de interferogramas de la serie temporal y un MDT re proyectado en el rango inclinado de observación de S-1.

Inversion: First Step

Tras la generación de los interferogramas, se procede con la primera fase del paso *Inversion*. Esta funcionalidad permite derivar las alturas y velocidades de desplazamiento de los píxeles a partir de las fases interferométricas, mediante el desenrollamiento de la fase (*unwrapping*), basado en la ya comentada resolución del modelo lineal de la segunda derivada de la fase interferométrica. En este paso, además, se eliminan los componentes espaciales de paso bajo de los interferogramas complejos para aplanarlos de nuevo. Se recalcula el desenrollamiento de la fase y se generan una serie de productos que serán la entrada para el segundo paso de la inversión.

Los productos generados en este paso son los valores de altura respecto al MDT, una primera aproximación de la velocidad de desplazamiento de los puntos PSI, los datos de coherencia multitemporal y el valor MuSigma, además de las subáreas y puntos de referencia generados automáticamente para realizar las estimaciones. Se emplea una ventana de 25 km^2 para el cálculo de la coherencia.

Inverstion: Second Step

En este paso, se estima el efecto atmosférico en la fase de las imágenes empleando el MDT y la serie de interferogramas obtenidos en el paso anterior. La fase correspondiente al retraso de la onda por la propagación atmosférica se sustrae de los interferogramas.

A continuación, se aplican dos procesados de filtrado. En primer lugar, se trata de un filtro de paso bajo para el tratamiento de la distribución espacial de las variaciones atmosféricas. Cuanto menor sea la ventana, mayor es el efecto y mejor se eliminan los efectos más locales de la escena. El segundo filtro es de paso alto, empleado para el tratamiento de la distribución temporal de las variaciones atmosféricas. Rangos temporales menores eliminan mejor los efectos de fenómenos efímeros en el tiempo. El tamaño de las ventana de filtrado varía según el rango de la serie temporal y las condiciones atmosféricas de la zona de estudio, en parte dependientes de la topografía de la escena.

Los productos resultantes son los mismos que la primera inversión, esta vez tras la corrección atmosférica de la fase.

Geocoding

El último paso del procesamiento es el Geocoding, que realiza la estimación de las coordenadas geográficas de los puntos de medición o *measurement points* (MP). Estos puntos son los puntos candidatos que superan el umbral de coherencia temporal marcado. Se hace uso de las órbitas exactas y los productos de corrección de altura estimados previamente para calcular la elevación de los MP.

Los productos resultantes son los puntos PS, puntos MP que superan el umbral MuSigma de 4, con valores de altura y velocidad, así como los desplazamientos de cada fecha previamente y tras la corrección atmosférica.

2.2.4. Calibración

En principio, existe una sinergia entre los datos de deformación derivados de procesamiento DInSAR y los obtenidos mediante estaciones GNSS. Las medidas DInSAR son densas y precisas en zonas amplias, pero solo proporcionan información relativa. Las GNSS, sin embargo, se encuentran distribuidas de forma dispersa en el espacio pero representan desplazamientos absolutos y continuos. La calibración de las mediadas DInSAR mediante estos datos permite referenciar los resultados sobre un marco definido y fiable.

Dada la escasez de estaciones presentes en la zona (sólo dos), se realiza una calibración de los puntos PS mediante el ajuste a una regresión lineal entre los datos GNSS de velocidad vertical y las velocidades obtenidas en el procesamiento DInSAR PS. Los datos GNSS deben ser tratados previamente para obtener velocidades ajustadas al rango temporal de estudio, desde febrero de 2015 a diciembre de 2020. Los dos puntos se encuentran en la zona urbana por lo que se pierde fiabilidad al extrapolar la transformación al resto de la escena, que sufre velocidades de subsidencia y fenómenos geomorfológicos muy distintos.

Se propone realizar una segunda prueba de calibración con la malla de corrección del producto EGMS a modo de comparación. Al no haber ningún punto de la malla sobre la zona de estudio, se realiza una interpolación para generar un modelo espacial. En este caso, la corrección del valor de velocidad de los puntos PS es aditiva, no un ajuste lineal de los datos.

2.2.5. Valoración de resultados

Para valorar los resultados, se realiza una comparación con los productos *Calibrated* (Nivel 2b) y *Ortho* (Nivel 3) del servicio EGMS. Debido a que a la fecha de redacción de este TFM (13 de

septiembre de 2022) el servicio EGMS de descarga no se había publicado aún, la comparativa se hace con la información mostrada en el visor (EGMS Viewer). Por tanto, la comparativa es de índole cualitativa sin que sea posible realizar una validación cuantitativa utilizando métricas estadísticas de acuerdo.

Adicionalmente, para enriquecer la interpretación de los resultados, se realizan comparaciones con otros estudios similares llevados a cabo en recientes años en la zona de interés (Bonì et al., 2015; Bru et al., 2021; Ezquerro et al., 2020; Fernández et al., 2018; Herrera et al., 2009; Hu et al., 2022).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. PROCESADO DInSAR PSI

Connection Graph

En base a las características de la serie temporal y su posición espacial relativa, se escoge la imagen S-1 del 29 de julio de 2018 como referencia para la construcción de la red de conexiones (*Figura 22*). Los productos de intensidad generados en este primer paso aparecen en rango inclinado, al no haberse corregido aún la geometría de observación (*Figura 23*).

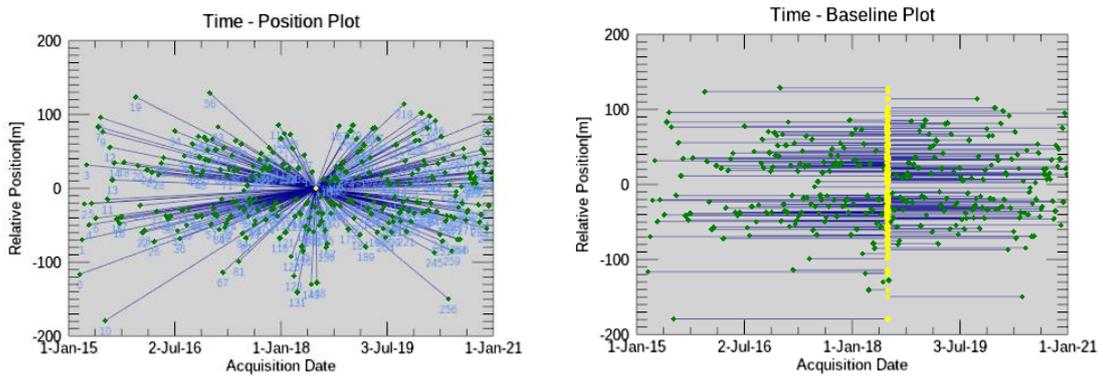


Figura 22. Diagramas de la red de conexiones de las imágenes S-1

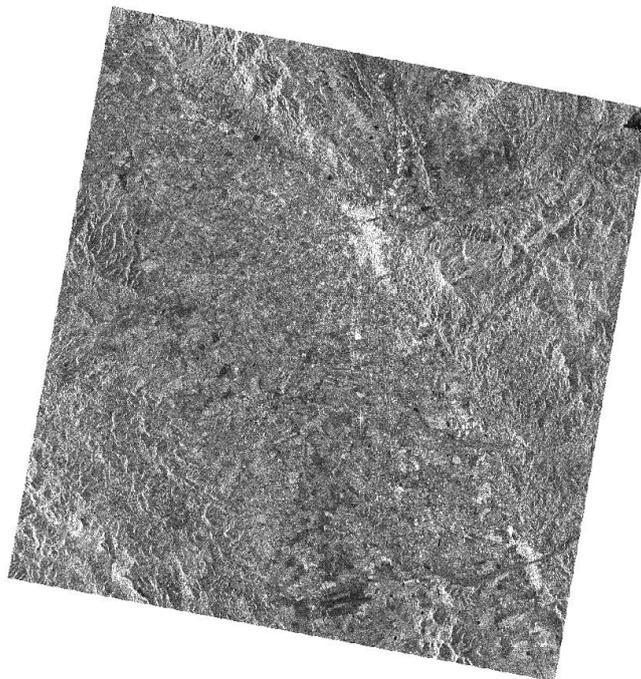


Figura 23. Intensidad de la imagen máster (29 de julio, 2018)

Interferometric Process

Tras la combinación de los valores de fase de cada imagen de la serie con la máster (*Imagen 24*), se generan un total de 295 interferogramas.

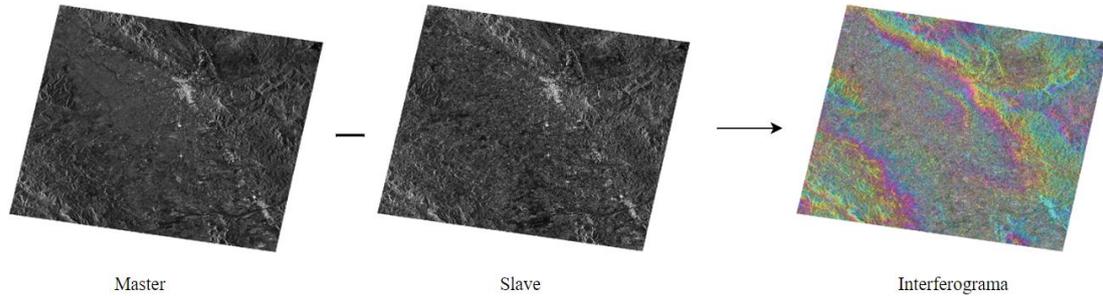


Figura 24. Ejemplo de generación de interferograma con slave del 7 de noviembre, 2017

Las imágenes más alejadas temporalmente presentan menos correlación entre sí, por lo que los interferogramas generados tienen un nivel mayor de ruido. Imágenes contiguas a la máster, sin embargo, son más fácilmente comparables y los interferogramas representan un valor de fase interferométrica más fácilmente interpretable (*Figura 25*).

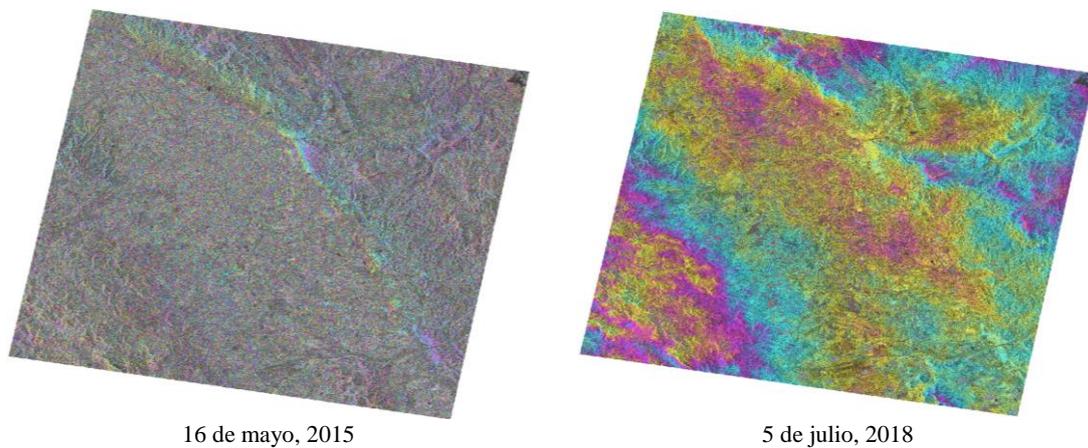


Figura 25. Interferogramas derivados de una imagen temporalmente alejada (izq.) y cercana (der.) a la máster

El valor MuSigma presenta valores altos en las zonas más estables, concentradas principalmente en la zona urbana (*Figura 26*), al ser esta magnitud inversa al ADS, las zonas con valores altos de MuSigma son las que permitirán obtener una mayor cantidad de puntos PS.

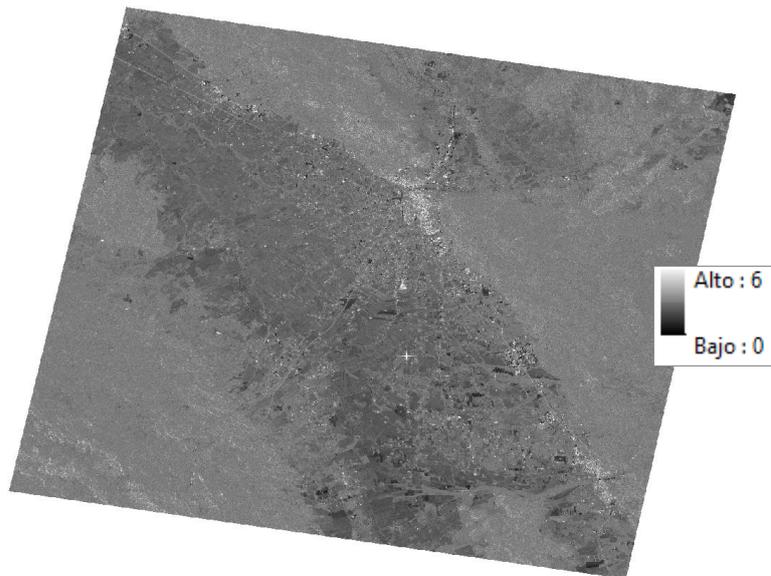


Figura 26. Producto de valor MuSigma

Inversion: First and Second Step

Se obtiene una estimación de la fase atmosférica (APS), representación de la interferencia que sufre la onda al atravesar la atmósfera, para cada interferograma (Figura 27). Ninguno de los interferogramas ha sido descartado a causa de contener un APS elevado.

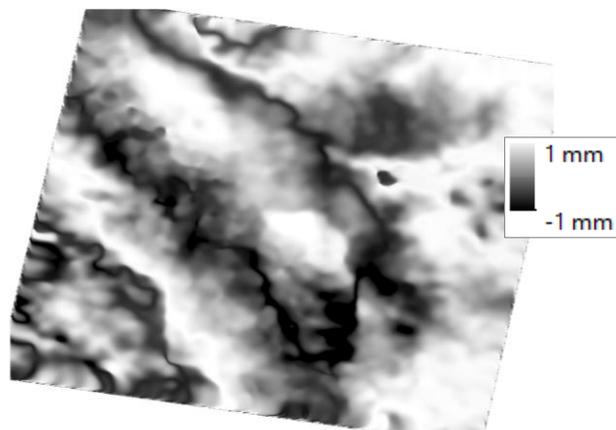


Figura 27. Ejemplo de APS del interferograma del 7 de noviembre, 2017. Representación de fase (eje real, Q)

El producto de velocidad final se genera tras el ajuste de la primera aproximación, obteniendo valores en un rango entre -100 y 100 mm/año, una media total de -6.59 mm/año y desviación estándar de 21,33 mm/año (Figura 28). En el caso de la estimación de las alturas, se realiza el mismo proceso y se obtienen valores entre -70 m y 70 m, media total de -0,373 m y 15,28 m de desviación estándar (Figura 29). Los resultados finales presentan, por lo general, valores mayores de velocidad y altura. En ambos casos, se observa una distribución más homogénea o con menos ruido de los valores a lo largo de la escena.

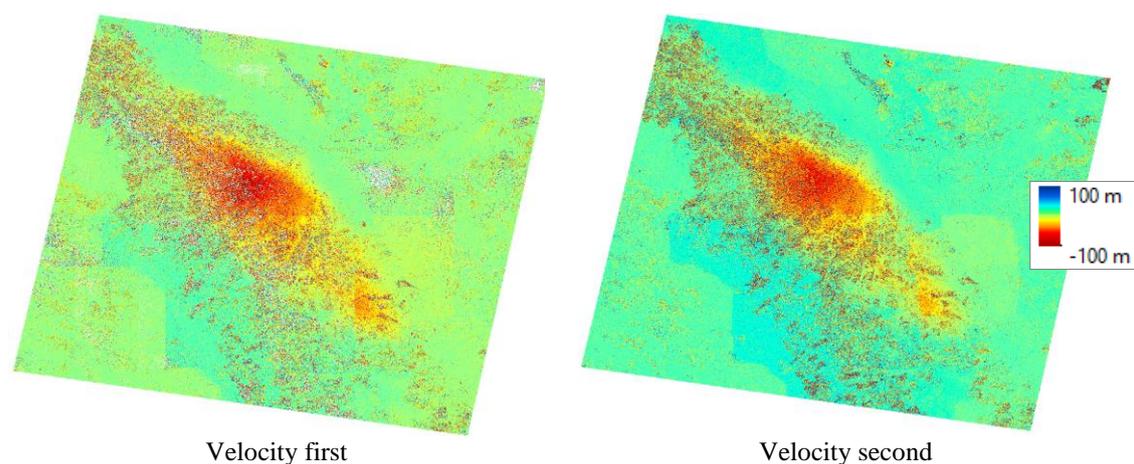


Figura 28. Productos de velocidad first y final de la fase Inversion

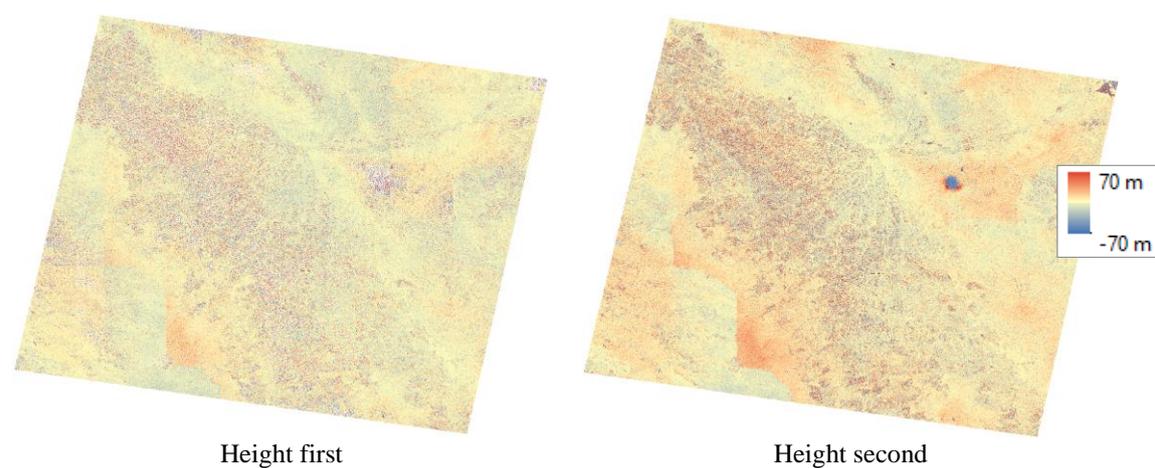


Figura 29. Productos de height first y final de la fase Inversion

El producto de coherencia media del conjunto total de interferogramas adopta valores entre 0 y 1, siendo la media de la zona 0,276 y su desviación estándar 0,153 (Figura 30). El segundo cálculo de la coherencia refina los valores iniciales, siendo los resultados finales algo superiores a los originales. Las zonas urbanas, así como superficies artificiales y zonas de roca o suelo desnudo, destacan por sus altos valores de coherencia, mientras que las zonas de cultivo y vegetación más densa muestran más variación temporal y sus valores de coherencia son mucho menores.

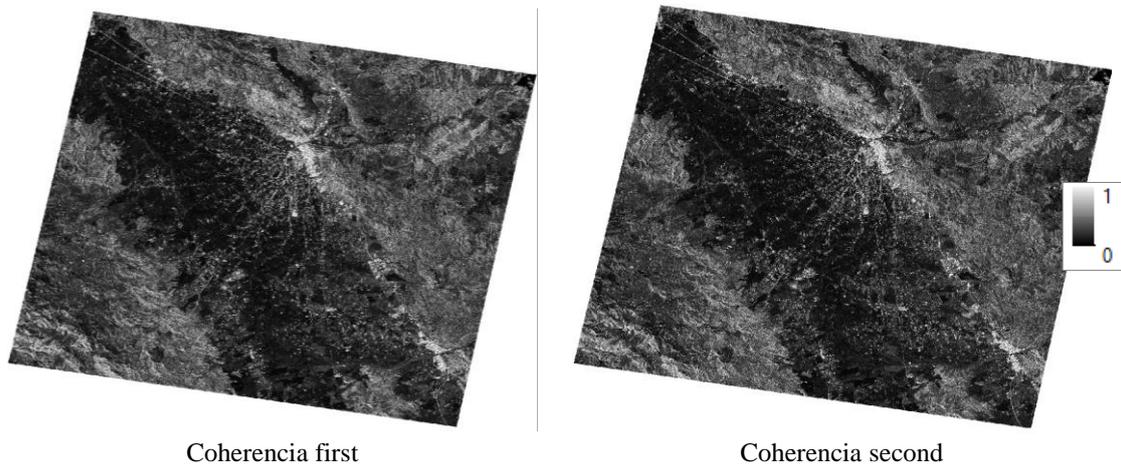


Figura 30. Productos de coherencia first y final de la fase Inversion

Geocoding

El resultado final del procesamiento InSAR es el conjunto de puntos PS y sus datos de velocidad de subsidencia del terreno (Figura 31). Los puntos PS requieren de una estabilidad temporal en la retrodispersión y de una coherencia alta, lo que se concreta en un valor de MuSigma superior a 4 y una coherencia superior a 0,75. Se observa una distribución concéntrica de velocidades de subsidencia (datos negativos) crecientes en el centro de la cuenca de subsidencia, mientras que la zona urbana y alrededores se mantienen relativamente estables (Figura 32). La parte sur de la cuenca, contigua a la cadena montañosa, muestra valores ligeramente positivos (posibles procesos de elevación del terreno). Los valores extremos del conjunto de datos son 12,44 mm/año (elevación) y -82,03 mm/año (subsidencia). La media de la escena es de -5,02 mm/año.

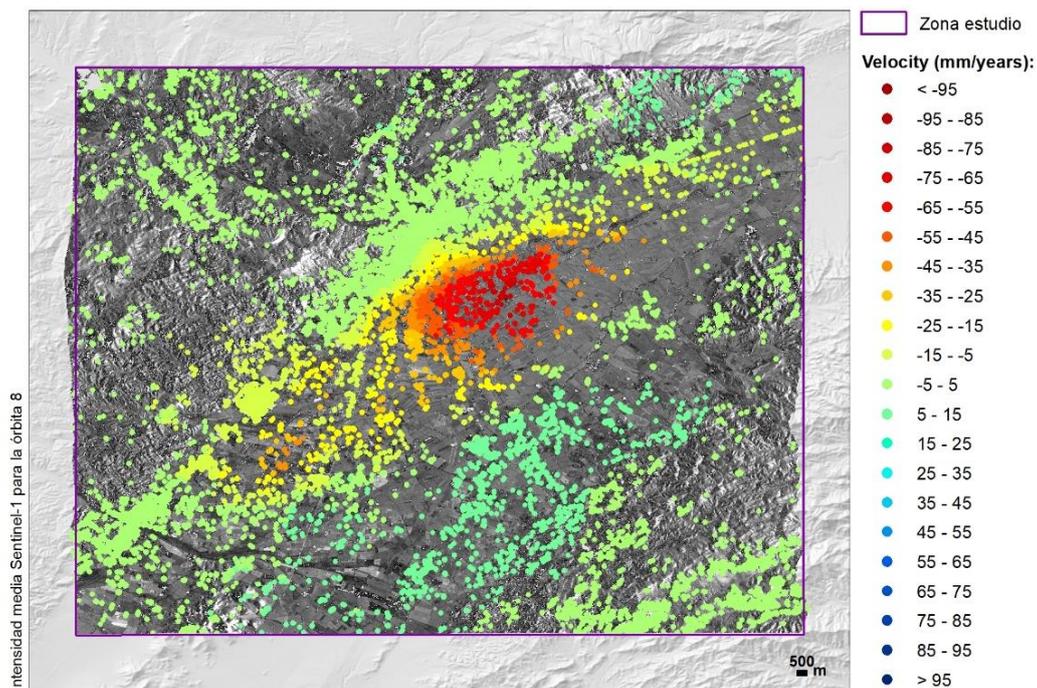


Figura 31. Producto de velocidades verticales tras el procesado multitemporal DInSAR

También se puede observar la evolución del desplazamiento a lo largo de la escena, especialmente notable en el centro de la cuenca de subsidencia, con un valor acumulado de hasta -477,42 mm entre 2015 y 2020 (*Figura 32*).

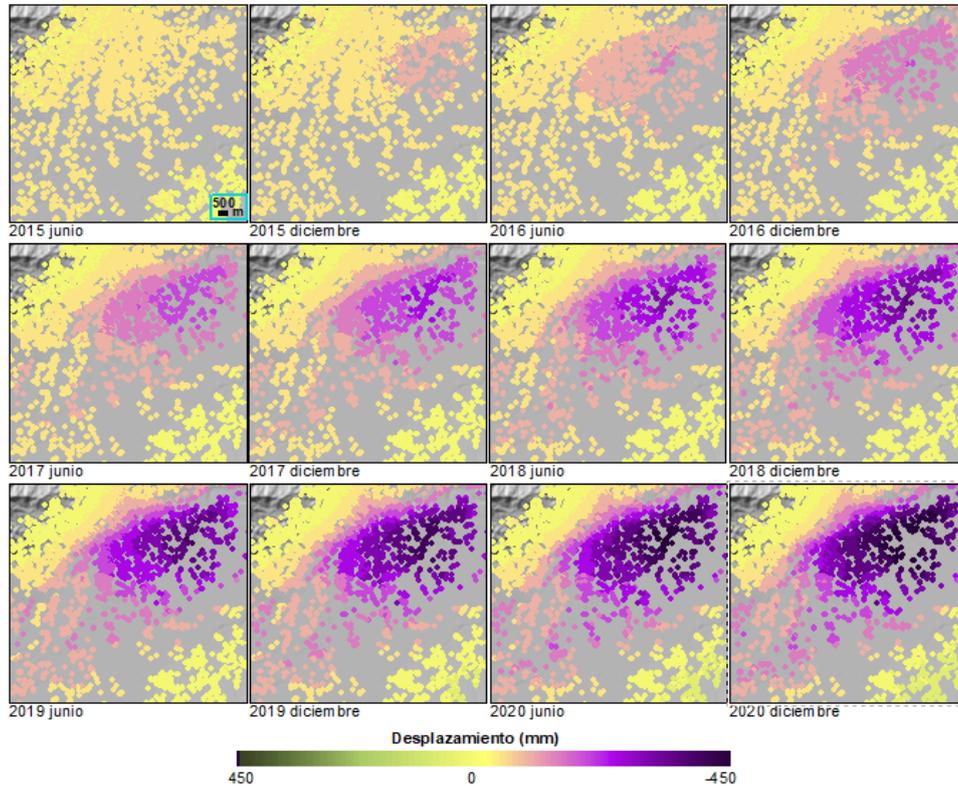


Figura 32. Evolución del desplazamiento vertical acumulado entre 2015 y 2020

3.2. CALIBRACIÓN

Calibrado con las estaciones GNSS

Los datos GNSS necesitan ser tratados para obtener los valores de velocidad de desplazamiento vertical correspondientes al periodo entre febrero de 2015 y diciembre de 2020 (*Tabla 5, Figura 33*).

Tabla 5. Valores de desplazamiento vertical de las estaciones GNSS

ESTACIÓN	RANGO TEMPORAL	VELOCIDAD MEDIA DIARIA (mm/año)	VELOCIDAD MEDIA TOTAL (mm/año)
LRCA	Febrero 2015 – Diciembre 2020	-16,714	-22,868
	Noviembre 2007 – Julio 2022 (Total disponible)	-59,368	-1.155,970
LOR1	Febrero 2015 – Diciembre 2020	-64,825	-62,444
	Enero 2015 – Diciembre 2021 (Total disponible)	-65,092	-62,444

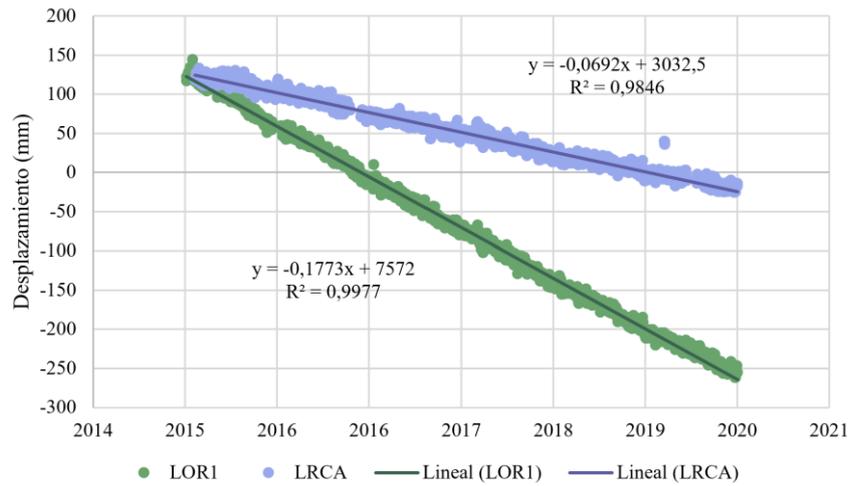


Figura 33. Gráfico de valores de desplazamiento vertical acumulado de las estaciones GNSS entre 2015 y 2020 (funciones expresadas en mm/día)

Para generar el modelo de calibración, se ajusta la media de velocidad de los puntos PS más cercanos a las estaciones GNSS (Figura 34). Se aplica un radio de 80 m para obtener los puntos, 5 y 3 respectivamente para las estaciones LRCA y LOR1.

Los resultados de desplazamiento en el rango temporal estudiado se ajustan al movimiento de las estaciones GNSS, siendo la tendencia consistente, sin embargo, el desplazamiento total obtenido es inferior en el caso de los resultados DInSAR (Figura 35).



Figura 34. Posición de los puntos empleados para realizar la corrección y estaciones GNSS

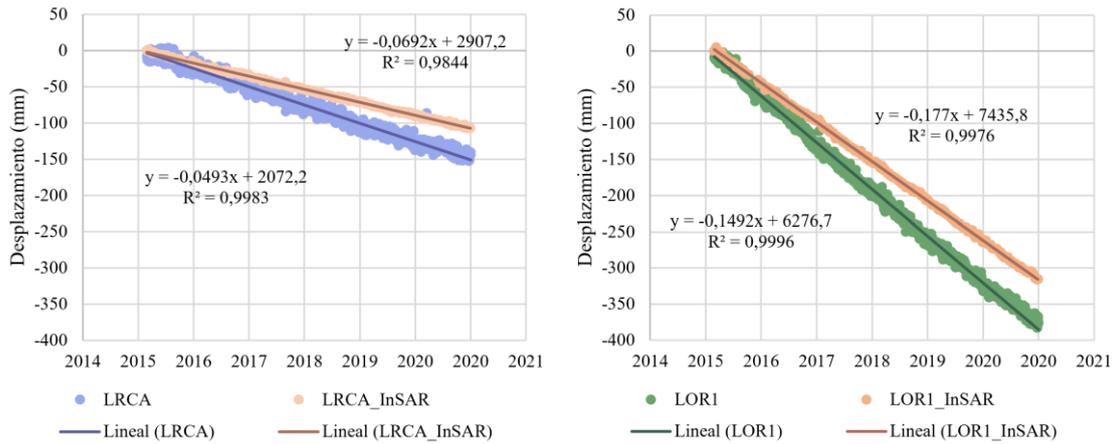


Figura 35. Serie temporal de desplazamiento acumulado del resultado S-I y de las estaciones GNSS (funciones expresadas en mm/día)

Con los dos puntos obtenidos, se crea una recta con la que se corrigen el conjunto de puntos del resultado DInSAR para obtener desplazamientos y velocidades calibradas a las estaciones GNSS (Figura 36, Figura 37). La calibración, en este caso, afecta de forma más significativa a los valores de velocidad. Los puntos con valor inferior a 2 mm/año se ven reducidos, y el rango superior aumenta ligeramente (Figura 38). Así, los valores extremos de velocidad obtenidos tras la calibración son de -96,60 mm/año y 12,15 mm/año. La media de la escena se encuentra en -7,95 mm/año.

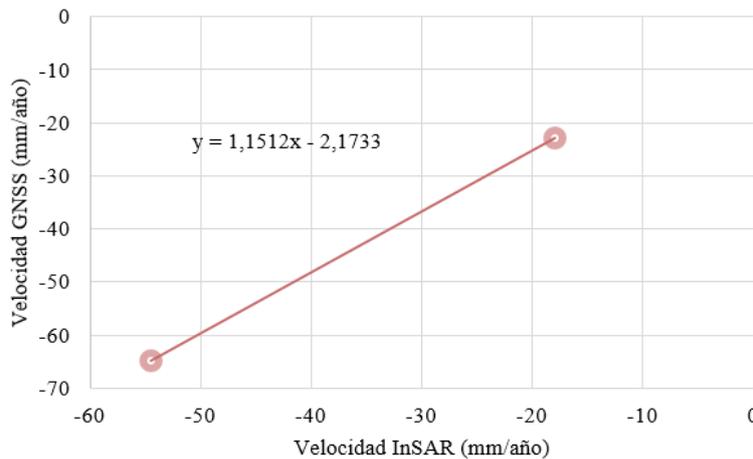


Figura 36. Modelo de regresión aplicado en la calibración basada en estaciones GNSS

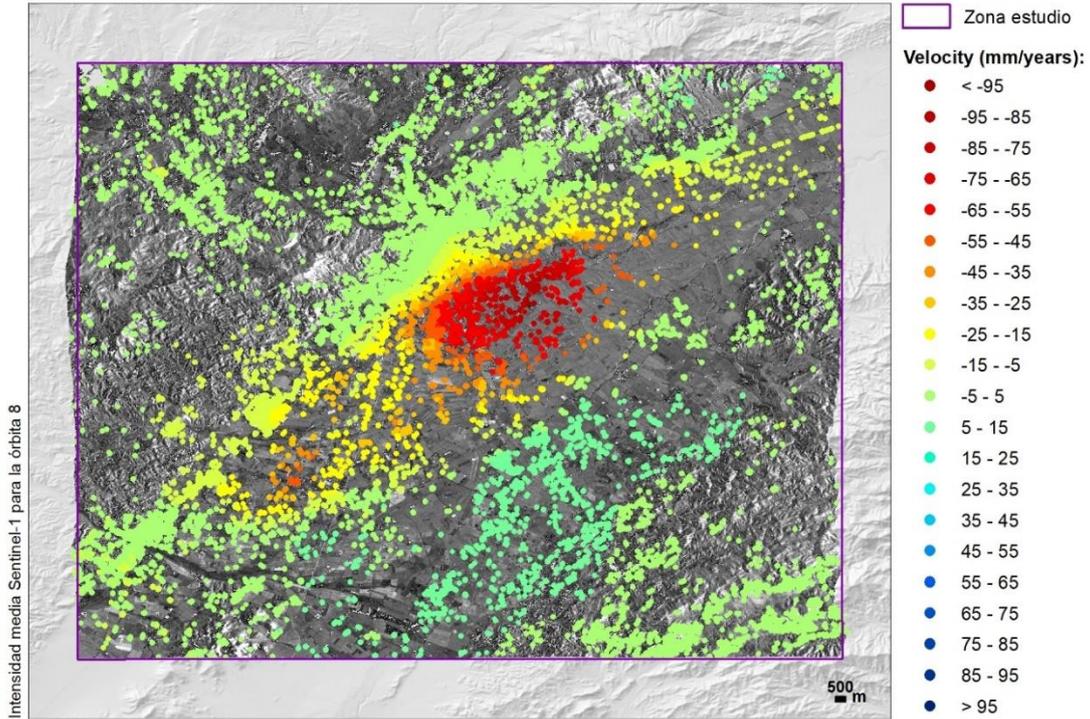


Figura 37. Producto de velocidades verticales tras el calibrado con los datos GNSS

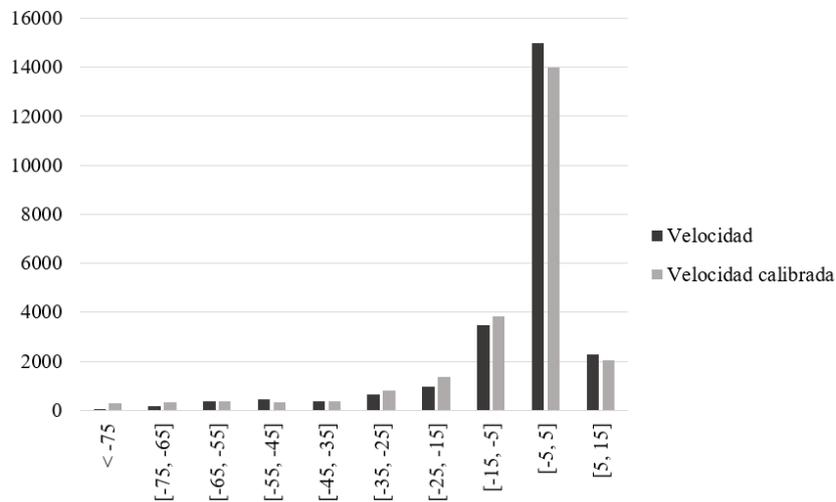


Figura 38. Histograma de valores de velocidad original y calibrada

Calibrado con malla EGMS

Se realiza una interpolación ponderada inversa de la distancia (IDW) de potencia 2 para crear el modelo de velocidades derivada de la malla de corrección del producto EGMS (Figura 39). Debido al gran espaciamiento entre puntos de la malla, ninguno de ellos se encuentra en la zona de estudio.



Figura 39. Modelo de velocidades de desplazamiento vertical derivado de la malla de calibración del EGMS (puntos) obtenido con una interpolación IDW.

La calibración con el modelo obtenido supone una alteración muy ligera del producto DInSAR, con un aumento máximo de 0,25 mm/año y una extracción de 0,90 mm/año, valores muy inferiores a las magnitudes de velocidad en la zona (Figura 40). Tras esta calibración la velocidad máxima de subsidencia es de -82,50 mm/año y en el sentido de elevación de 11,96 mm/año. A penas se producen cambios respecto a la velocidad antes del calibrado.

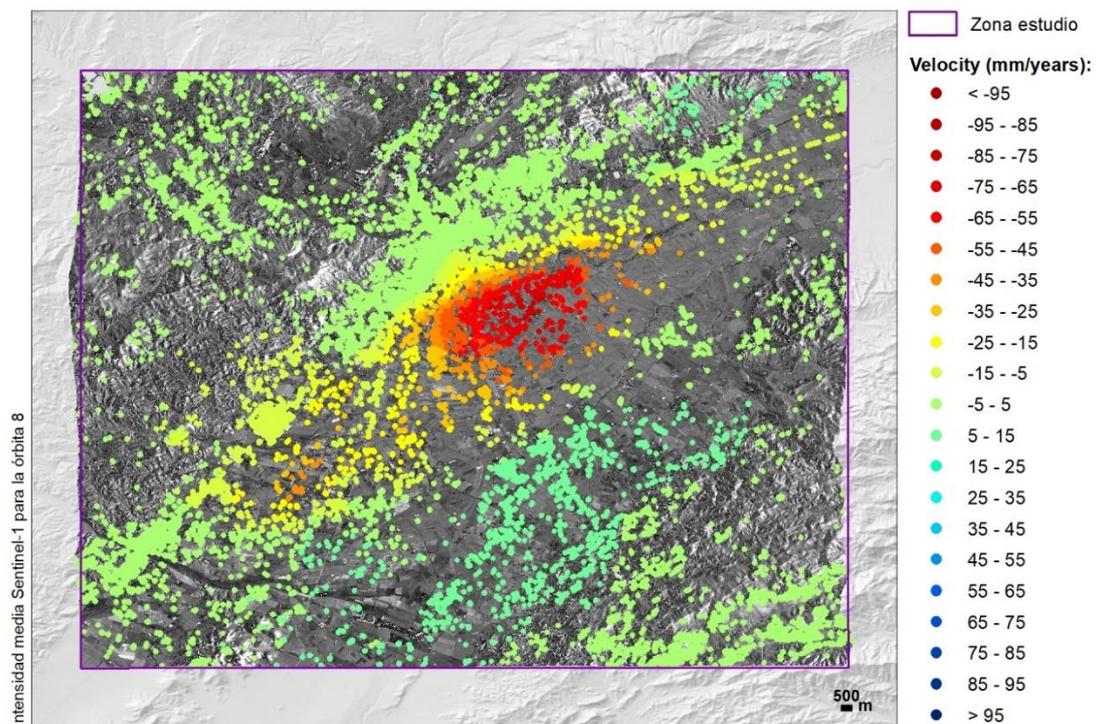


Figura 40. Producto de velocidades verticales tras el calibrado con la malla del servicio EGMS

3.3. VALORACIÓN DE LOS RESULTADOS

La distribución de los puntos PS obtenidos tras el procesado interferométrico depende de los elementos de la escena y los criterios de coherencia y MuSigma establecidos. La mayoría de puntos se encuentran en zonas artificiales, como áreas urbanas, construcciones industriales o redes de transporte, al ser superficies con una retrodispersión más estable y una mayor coherencia temporal (*Figura 41*).

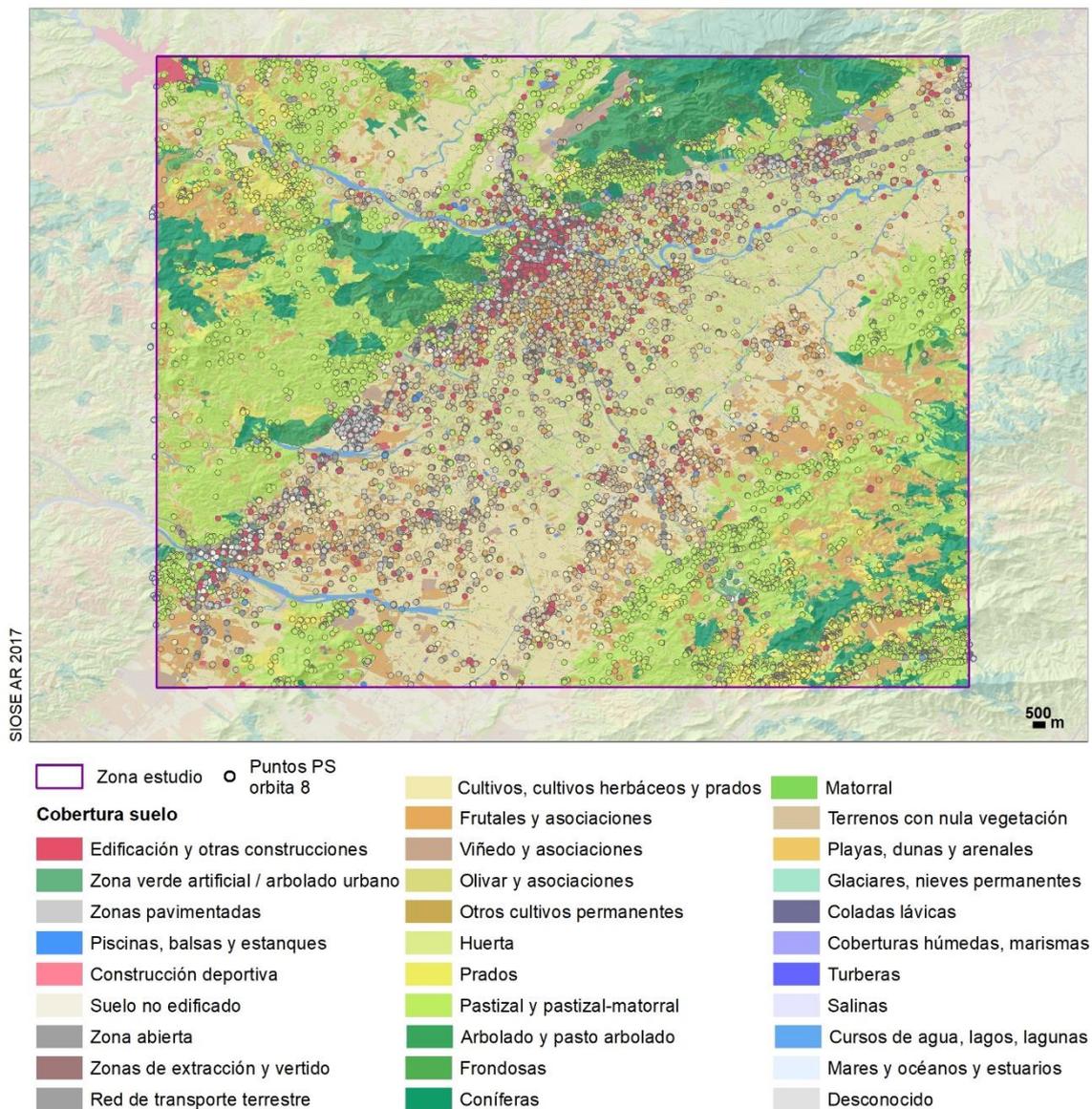


Figura 41. Distribución de puntos PS sobre mapa de usos de suelo

Concretamente, la mayor cantidad de puntos, un 27%, se localizan en suelos destinados a la edificación, a pesar de su reducida superficie relativa en el total de la escena (*Tabla 6*). Seguidamente, el uso de suelo con más puntos PS es el referido a zonas de pastizal y matorral. Las características reflectivas de esta superficie no son las más propicias para obtener puntos estables pero su gran superficie en la escena (27,17%) permite obtener un gran número relativo de elementos estables. Hay que tener en cuenta que debido a la aridez de la zona la densidad de

vegetación esperable en estas zonas es reducida. Al margen de este uso de pastizal y matorral, el resto de categorías con más puntos PS se localizan en zonas pavimentadas, terreno con escasa vegetación y vías urbanas.

Tabla 6. Distribución de puntos PS según el uso de suelo

USO DE SUELO	Nº PUNTOS	% PUNTOS	SUPERFICIE (ha)	% SUPERFICIE
Edificación	6.403	27,00	916,30	1,43
Pastizal-matorral	3.982	16,79	1.7421,70	27,17
Zonas pavimentadas o selladas	3.075	12,97	868,20	1,35
Terrenos con escasa o nula vegetación	2.823	11,90	2.763,03	4,31
Vías urbanas	1.345	5,67	191,48	0,30
Otros	6.089	25,67	41.969,11	65,44
Total	23.717		64.129,82	

La distribución de los puntos en la escena es consistente con la naturaleza de los elementos, su comportamiento reflectivo y la metodología PSI, que trabaja mejor en zonas con elementos artificiales que áreas rurales o naturales.

La valoración de los resultados de velocidad y desplazamiento se realiza mediante la comparativa entre el producto calibrado con los datos GNSS y los productos *Calibrated* y *Ortho* del servicio EGMS (Figura 42, Figura 43).

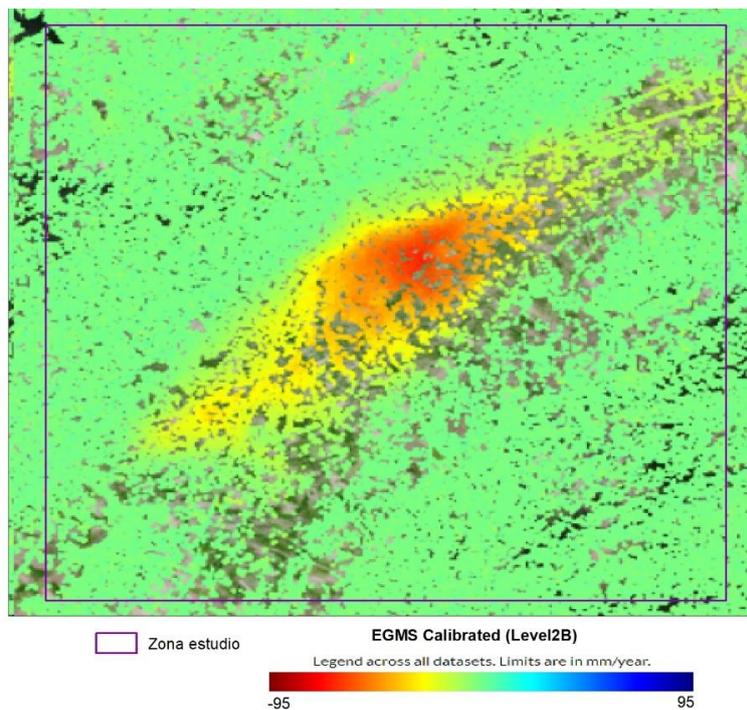


Figura 42. Producto EGMS Calibrated descendente de la zona de estudio (mm/año)

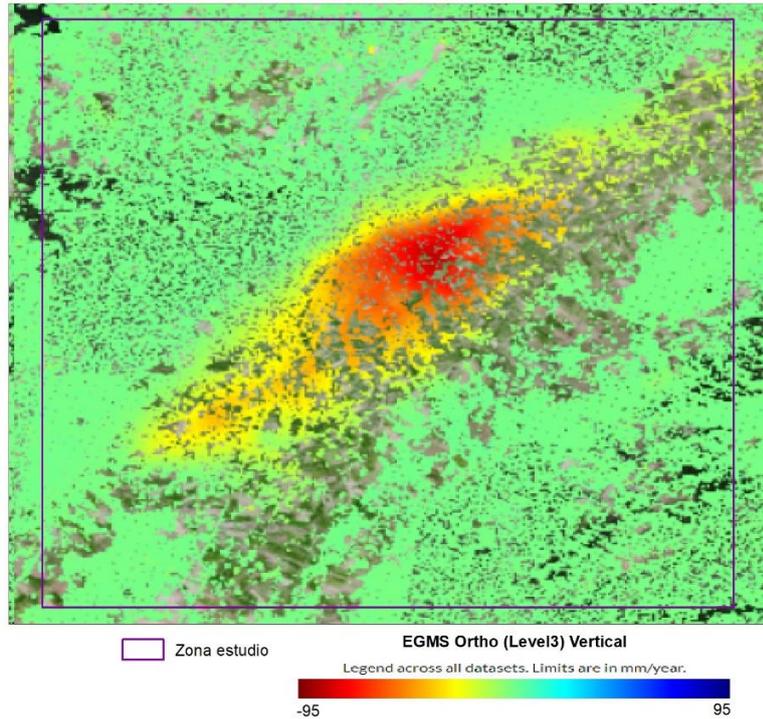


Figura 43. Producto EGMS Ortho vertical de la zona de estudio (mm/año)

La densidad de los puntos es mayor en el producto *Calibrated* del EGMS que en los resultados obtenidos, debido a la metodología híbrida empleada por el servicio EGMS para generar las capas de datos, que hace uso de puntos PS y DS (Figura 44). La distribución, sin embargo, es consistente, siendo las zonas vegetadas muy pobres en puntos PS.

No se pueden inferir conclusiones con el producto *Ortho* en este respecto dada la redistribución de los puntos en una malla regular de 100x100 m que se realiza en este producto.

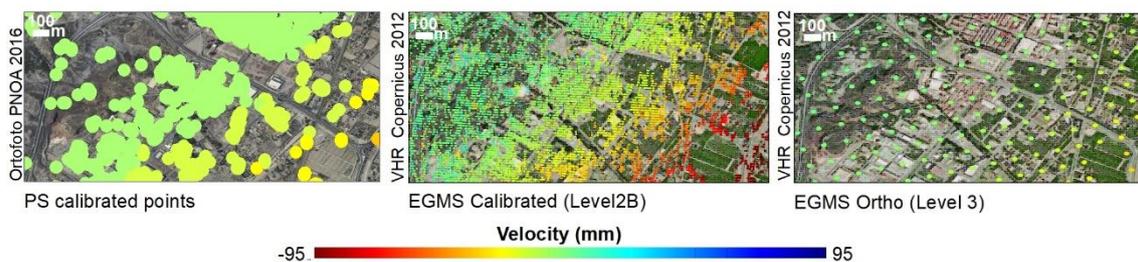


Figura 44. Comparación de resultados PS calibrados con los productos EGMS Calibrated y Ortho

La cantidad de puntos es considerablemente mayor en el producto *Calibrated* pero la posición de los puntos sigue los mismos patrones (Figura 45). Generalmente, se encuentran en superficies planas y artificiales como tejados y asfalto, pero el producto EGMS es capaz de obtener una mayor cantidad en zonas menos estables como zonas con poca vegetación y cultivos de poco calibre.

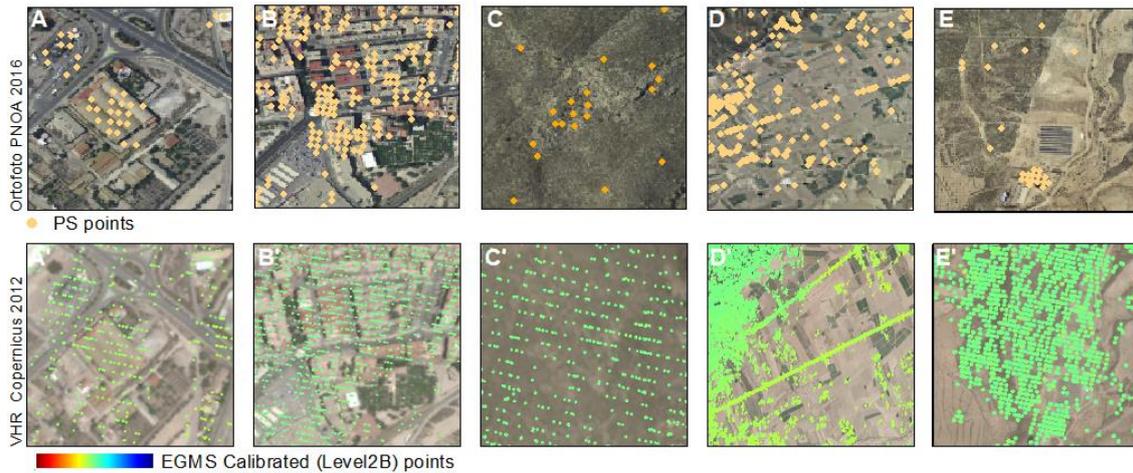


Figura 45. Comparación de distribución de puntos PS en el resultado calibrado obtenido y producto EGMS Calibrated

Los resultados de velocidad calibrados no pueden compararse con el producto EGMS *Calibrated* puesto que este último expresa la subsidencia en la dirección del LoS. El producto *Ortho*, sin embargo, presenta los datos en una descomposición vertical y horizontal (este-oeste), compatible con el producto final generado.

Los valores de velocidad se ajustan con una precisión considerable en la mayoría de zonas de ejemplo estudiadas (Figura 46). La distribución de los propios puntos es diferente, pero el valor de velocidad se comporta de forma muy similar, sobre todo en las zonas con características reflectivas más estables.

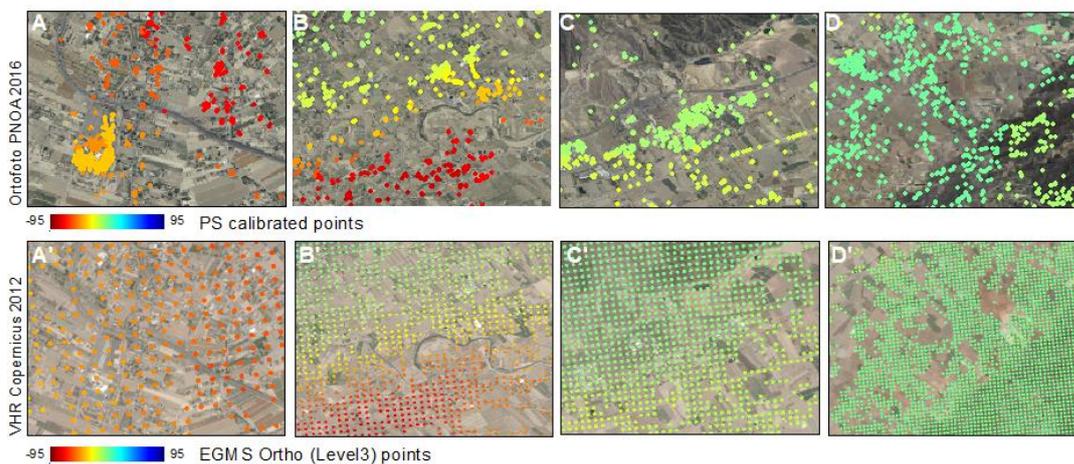


Figura 46. Comparación de velocidades verticales en el resultado calibrado obtenido y el producto EGMS Ortho

También es posible realizar una comparación del desplazamiento medio acumulado del total de la zona de estudio (Figura 47). Los resultados muestran una tendencia casi idéntica, si bien el producto DInSAR indica una velocidad de subsidencia algo menor que el producto *Ortho* a lo

largo de la escena y rango temporal considerado. Solo los datos entre 2016 y 2020 del producto *Ortho* se encuentran publicados actualmente en el visor del servicio EGMS.

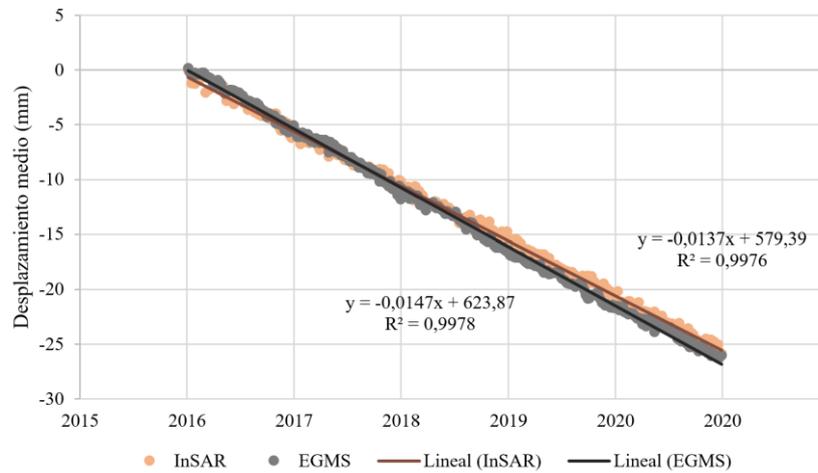


Figura 47. Desplazamiento medio acumulado del conjunto de puntos de la escena del producto EGMS *Ortho* y de los resultados DInSAR (funciones expresadas en mm/día)

Adicionalmente, se estudia el comportamiento del desplazamiento para ambos productos en la zona de mayor subsidencia de la escena. Se escoge una zona con materiales litológicos homogéneos y sin eventos activos de fallas o zonas de cabalgamiento (Figura 48).

La velocidad de desplazamiento, en este caso, es mayor según el producto *Ortho* pero el desplazamiento acumulado total al final de la serie temporal es casi coincidente (Figura 49).

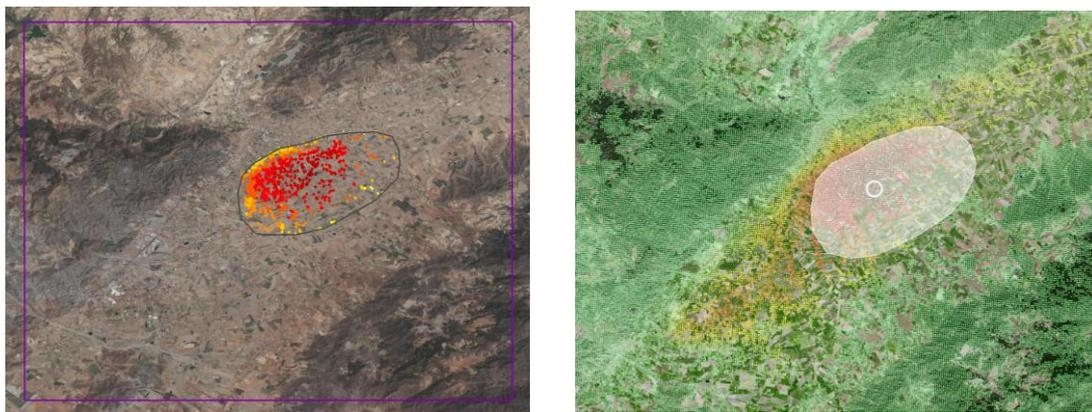


Figura 48. Polígono de estudio en el centro de la cuenca de subsidencia sobre el área de estudio con los puntos DInSAR obtenidos (izq.) y sobre el producto EGMS *Ortho* (der.)

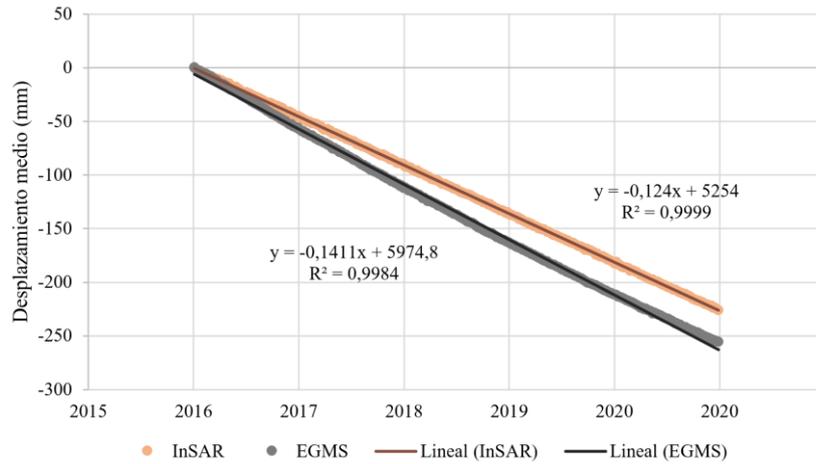


Figura 49. Desplazamiento medio acumulado del polígono descrito del producto EGMS y de los resultados obtenidos (funciones expresadas en mm/día)

Por último, en referencia a la comparativa frente a otros estudios publicados sobre subsidencia en la zona, el estudio aquí realizado aporta un valor de velocidad actualizado a años más recientes y parece indicar una deceleración de la velocidad de subsidencia en el centro de cuenca. En comparación con estudios realizados en previas décadas, el desplazamiento el terreno presenta velocidades más constantes. Con todo, la distribución concéntrica de subsidencia observada concuerda con el patrón identificado en diversos estudios y las velocidades medias son consistentes (Bonì et al., 2015; Bru et al., 2021; Ezquerro et al., 2020; Fernández et al., 2018; Herrera et al., 2009; Hu et al., 2022).

4. CONCLUSIONES

La técnica de procesamiento multitemporal DInSAR es una herramienta que permite estudiar desplazamientos de la superficie terrestre con precisión milimétrica. La subsidencia del terreno observada en el valle de Guadalentín, Murcia, es la mayor subsidencia por explotación de acuíferos en Europa. El estudio realizado indica un desplazamiento vertical total de $-477,26$ mm entre febrero de 2015 y 2020 en la zona de máxima subsidencia. Este desplazamiento se corresponde con una velocidad máxima de $-96,60$ mm/año, siendo $-7,95$ mm/año la media de la zona estudiada.

La calibración de los resultados se realiza con un número muy escaso de estaciones GNSS con datos temporalmente inconsistentes entre sí, por lo que no se puede asegurar del todo la fiabilidad de esta calibración de las velocidades. Sería necesario instalar más estaciones GNSS en la zona, con una distribución más amplia para obtener una calibración lo más precisa posible, y realizar una mejor monitorización en la zona.

Los datos DInSAR son consistentes con los resultados del servicio EGMS publicados hasta la fecha. Las variaciones observadas se deben a las diferentes metodologías y escalas espaciales empleadas en ambos casos. Los datos EGMS son producto de una técnica planteada para cumplir objetivos de proyecto a nivel europeo, bajo la supervisión de equipos de expertos y empleando procesos de armonización y validación *a posteriori*. El resultado del presente estudio se ha realizado a nivel local empleando una sola órbita como datos de entrada en el procesamiento, lo que es una limitación frente al producto del EGMS, sin embargo, los datos GNSS de calibración parecen tener un mejor ajuste local que los empleados en el EGMS.

La densidad de puntos PS obtenida puede resultar escasa en ciertas zonas de la escena. Las superficies artificiales son las más adecuadas para la aplicación de la metodología PSI, por lo que una técnica híbrida de estudio PS y DS puede aumentar la densidad de datos en el terreno. Esto se aprecia claramente al comparar el número de puntos obtenido aquí y el producto EGMS *Calibrated*, generado en parte a partir de metodología híbrida SqueeSAR®, técnica más moderna cuya principal mejora reside en la cantidad de puntos de análisis que detecta en zonas rurales (Minh et al., 2020). El requerimiento de puntos con una coherencia elevada y una retrodispersión estable en el tiempo (MuSigma) de la técnica PSI resulta en un número de puntos claramente inferior en este tipo de zonas.

En el caso del área de estudio, la subsidencia tiene una componente horizontal (este-oeste) que no ha sido cuantificada. Ciertas zonas se encuentran en fallas de desgarre por la gran actividad tectónica, que provocan cabalgamientos y movimientos horizontales. Se trata de una posible fuente de error en las mediciones realizadas en este trabajo, al estudiar exclusivamente la componente vertical de la subsidencia. Otras posibles limitaciones son la identificación de fenómenos de desplazamiento no lineal que con la técnica aplicada son difícilmente detectables.

Se considera que la tendencia del desplazamiento en Lorca se representa adecuadamente mediante una tendencia de subsidencia lineal, con una velocidad relativamente constante, al menos en el periodo de tiempo estudiado. Estudios como el aquí realizado y servicios innovadores como el EGMS ponen de relevancia el interés de estas técnicas en la identificación y seguimiento de fenómenos de subsidencia como el aquí estudiado, lo que resulta de gran utilidad para la toma de decisiones para la protección de los recursos hídrico y el establecimiento de medidas de protección frente a eventuales desastres asociados a estos fenómenos.

5. BIBLIOGRAFÍA

- Adam, N., Gonzalez, F. R., Parizzi, A., & Brcic, R. (2013). Wide area Persistent Scatterer Interferometry: Current developments, algorithms and examples. *International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS)*, 1857–1860. <https://doi.org/10.1109/IGARSS.2013.6723164>
- Alonso, F., Martínez-Hernández, C., Serrato, F. B., Angel, M., & Carrillo, F. (2016). Principales causas del abandono de cultivos en la Región de Murcia. *Abandono de cultivos en la Región de Murcia. Consecuencias Ecogeomorfológicas*, 203–226
- Aragón, R., García-Aróstegui, J. L., Lambán, J., Hornero, J., & Fernández-Grillo, A. I. (2014). Impacto de la explotación intensiva de aguas subterráneas en la ciudad de Murcia (España), análisis hidrogeológico. *Proc. 23th International Congress of IAH-ALHSUD*, 11–14 Octubre, Zacatecas, Mexico, 2622–2624 (on CDROM)
- ASF Data. (2022). <https://search.asf.alaska.edu/#/>
- Bamler, R., & Hartl, P. (1998). Synthetic aperture radar interferometry. *Inverse Problems*, 14(4), R1–R54. <https://doi.org/10.1088/0266-5611/14/4/001>
- Béjar-Pizarro, M., Guardiola-Albert, C., García-Cárdenas, R. P., Herrera, G., Barra, A., Molina, A. L., Tessitore, S., Staller, A., Ortega-Becerril, J. A., & García-García, R. P. (2016). Interpolation of GPS and geological data using InSAR deformation maps: Method and application to land subsidence in the alto guadalentín aquifer (SE Spain). *Remote Sensing*, 8(11). <https://doi.org/10.3390/rs8110965>
- Berardino, P., Fornaro, G., Lanari, R., & Sansosti, E. (2002). A new algorithm for surface deformation monitoring based on small baseline differential SAR interferograms. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 40(11), 2375–2383. <https://doi.org/10.1109/TGRS.2002.803792>
- Blasco, J. M. D., Foumelis, M., Stewart, C., & Hooper, A. (2019). Measuring urban subsidence in the Rome Metropolitan Area (Italy) with Sentinel-1 SNAP-StaMPS Persistent Scatterer Interferometry. *Remote Sensing*, 11(2). <https://doi.org/10.3390/rs11020129>
- Blewitt, G., Hammond, W. C., & Kreemer, C. (2018). Harnessing the GPS Data Explosion for Interdisciplinary Science. *Eos*, 99. <https://doi.org/10.1029/2018EO104623>
- Bock, Y., Wdowinski, S., Fang, P., Zhang, J., Williams, S., Johnson, H., Behr, J., Genrich, J., Dean, J., van Domselaar, M., Agnew, D., Wyatt, F., Stark, K., Oral, B., Hudnut, K., King, R., Herring, T., Dinardo, S., Young, W., Gurtner, W. (1997). Southern California Permanent GPS Geodetic Array: Continuous measurements of regional crustal deformation between the 1992 Landers and 1994 Northridge earthquakes. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 102(B8), 18013–18033. <https://doi.org/10.1029/97jb01379>
- Bonì, R., Herrera, G., Meisina, C., Notti, D., Béjar-Pizarro, M., Zucca, F., González, P. J., Palano, M., Tomás, R., Fernández, J., Fernández-Merodo, J. A., Mulas, J., Aragón, R., Guardiola-Albert, C., & Mora, O. (2015). Twenty-year advanced DInSAR analysis of severe land subsidence: The Alto Guadalentín Basin (Spain) case study. *Engineering Geology*, 198, 40–52. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2015.08.014>
- Bru, G., Ezquerro, P., Guardiola-Albert, C., Béjar-Pizarro, M., Herrera, G., Tomás, R., Navarro-Hernández, M. I., López-Sánchez, J. M., Ören, A. H., Çaylak, B., Elçi, A., Shatanawi, K., Mohammad, A. H., Abu Hajar, H. A., Bonì, R., & Meisina, C. (2021). Land subsidence caused by aquifer overexploitation using GEP tools: A-DInSAR on the cloud. *3rd Congress in Geomatics Engineering*, 127–136. <https://doi.org/10.4995/cigeo2021.2021.12722>
- Calatrava, J., Barberá, G. G., & Castillo, V. M. (2011). Farming practices and policy measures for agricultural soil conservation in semi-arid Mediterranean areas: The case of the Guadalentín basin

- in southeast Spain. *Land Degradation and Development*, 22(1), 58–69. <https://doi.org/10.1002/ldr.1013>
- Centro de Descargas del CNIG (IGN). (2022). <http://centrodedescargas.cnig.es/CentroDescargas/index.jsp>
- Cerón, J. C., & Pulido-Bosch, A. (1996). Cases and solutions Groundwater problems resulting from CO2 pollution and overexploitation in Alto Guadalentín aquifer (Murcia, Spain). *Environmental Geology*, 28(4), 223–228.
- Centro Regional de Estadística de Murcia. (2022). *Portal Estadístico de la Región de Murcia*. <https://econet.carm.es/>
- Changming, L., Jingjie, Y., & Kendy, E. (2001). Groundwater exploitation and its impact on the environment in the North China Plain. *Water International*, 26(2), 265–272. <https://doi.org/10.1080/02508060108686913>
- Cigna, F., & Tapete, D. (2021). Satellite InSAR survey of structurally-controlled land subsidence due to groundwater exploitation in the Aguascalientes Valley, Mexico. *Remote Sensing of Environment*, 254. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2020.112254>
- Confederación Hidrográfica del Segura. (2015). *Plan hidrológico de la Demarcación del Segura 2015/21. Anejo 2: Inventario de recursos hídricos*.
- Copernicus Land Monitoring Service. (2022, May). *First product from the European Ground Motion Service released*. <https://land.copernicus.eu/news/first-product-from-the-european-ground-motion-service-released>
- Copernicus Sentinels POD Data Hub. (2022). <https://scihub.copernicus.eu/gnss/#/home>
- Crosetto, M., Monserrat, O., Cuevas-González, M., Devanthery, N., & Crippa, B. (2016). Persistent Scatterer Interferometry: A review. In *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* (Vol. 115, pp. 78–89). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2015.10.011>
- De Zan, F., & Guarnieri, A. M. (2006). TOPSAR: Terrain observation by progressive scans. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 44(9), 2352–2360. <https://doi.org/10.1109/TGRS.2006.873853>
- Elias, P., Kontoes, C., Papoutsis, I., Kotsis, I., Marinou, A., Paradisis, D., & Sakellariou, D. (2009). Permanent scatterer InSAR analysis and validation in the gulf of corinth. *Sensors*, 9(1), 46–55. <https://doi.org/10.3390/s90100046>
- EPN Densification Working Group Product Portal | Length of observations. (2022). <https://epnd.sgo-penc.hu/log-availability/>
- EUREF WG on European Dense Velocities. (2022). http://pnac.swisstopo.admin.ch/divers/dens_vel/index.html
- European Ground Motion Service — Copernicus Land Monitoring Service. (2022). <https://land.copernicus.eu/pan-european/european-ground-motion-service>
- European Space Agency. (2007). *InSAR Principles: Guidelines for SAR Interferometry Processing and Interpretation*. <https://earth.esa.int/web/sentinel/user-guides/sentinel-1-sar/overview>
- Ezquerro, P., Tomás, R., Béjar-Pizarro, M., Fernández-Merodo, J. A., Guardiola-Albert, C., Staller, A., Sánchez-Sobrino, J. A., & Herrera, G. (2020). Improving multi-technique monitoring using Sentinel-1 and Cosmo-SkyMed data and upgrading groundwater model capabilities. *Science of the Total Environment*, 703. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134757>

- Fernández, J., Prieto, J. F., Escayo, J., Camacho, A. G., Luzón, F., Tiampo, K. F., Palano, M., Abajo, T., Pérez, E., Velasco, J., Herrero, T., Bru, G., Molina, I., López, J., Rodríguez-Velasco, G., Gómez, I., & Mallorquí, J. J. (2018). Modeling the two- and three-dimensional displacement field in Lorca, Spain, subsidence and the global implications. *Scientific Reports*, 8(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-018-33128-0>
- Ferretti, A., Passera, E., & Renalt, C. (2021). *Algorithm Theoretical Basis Document*. <https://land.copernicus.eu/user-corner/technical-library/egms-algorithm-theoretical-basis-document>
- Ferretti, A., Prati, C., & Rocca, F. (2001). Permanent Scatterers in SAR Interferometry. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 39(1). <https://doi.org/10.1109/36.898661>
- Ferretti, A., Fumagalli, A., Novali, F., Prati, C., Rocca, F., & Rucci, A. (2011). A new algorithm for processing interferometric data-stacks: SqueeSAR. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 49(9), 3460–3470. <https://doi.org/10.1109/TGRS.2011.2124465>
- Ferretti, A., Prati, C., & Rocca, F. (2000). Nonlinear subsidence rate estimation using permanent scatterers in differential SAR interferometry. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 38(5), 2202–2212. <https://doi.org/10.1109/36.868878>
- Ferretti, A., Savio, G., Barzaghi, R., Borghi, A., Musazzi, S., Novali, F., Prati, C., & Rocca, F. (2007). Submillimeter accuracy of InSAR time series: Experimental validation. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 45(5), 1142–1153. <https://doi.org/10.1109/TGRS.2007.894440>
- Fielding, E. J., Blom, R. G., & Goldstein, R. M. (1998). Rapid subsidence over oil fields measured by SAR interferometry. *Geophysical Research Letters*, 25(17), 3215–3218. <https://doi.org/10.1029/98GL52260>
- Figueroa-Miranda, S., Tuxpan-Vargas, J., Ramos-Leal, J. A., Hernández-Madrigal, V. M., & Villaseñor-Reyes, C. I. (2018). Land subsidence by groundwater over-exploitation from aquifers in tectonic valleys of Central Mexico: A review. In *Engineering Geology* (Vol. 246, pp. 91–106). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2018.09.023>
- Foroughnia, F., Nemati, S., Maghsoudi, Y., & Perissin, D. (2019). An iterative PS-InSAR method for the analysis of large spatio-temporal baseline data stacks for land subsidence estimation. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 74, 248–258. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2018.09.018>
- Fruneau, B., Achache, J., & Delacourt, C. (1996). Observation and modelling of the Saint-Étienne-de-Tinée landslide using SAR interferometry. *Tectonophysics*, 265, 181–190.
- Galloway, D. L., & Burbey, T. J. (2011). Review: Regional land subsidence accompanying groundwater extraction. *Hydrogeology Journal*, 19(8), 1459–1486. <https://doi.org/10.1007/s10040-011-0775-5>
- Galloway, D. L., & Hoffmann, J. (2007). The application of satellite differential SAR interferometry-derived ground displacements in hydrogeology. *Hydrogeology Journal*, 15(1), 133–154. <https://doi.org/10.1007/s10040-006-0121-5>
- Galloway, D. L., Hudnut, K. W., Ingebritsen, S. E., Phillips, S. P., Peltzer, G., Rogez, F., & Rosen, P. A. (1998). Detection of aquifer system compaction and land subsidence using interferometric synthetic aperture radar, Antelope Valley, Mojave Desert, California. *Water Resources Research*, 34(10), 2573–2585. <https://doi.org/10.1029/98WR01285>
- Galloway, D. L. (2013). Encyclopedia of Natural Hazards. In P. T. Bobrowsky (Ed.), *Encyclopedia of Natural Hazards* (1st ed., pp. 979–986). Springer Netherlands. <https://doi.org/10.1007/978-1-4020-4399-4>

- García-Marín, R., Espejo-Marín, C., Giménez-García, R., & Ruiz-álvarez, V. (2020). Transformations in the Agricultural and Scenic Landscapes in the Northwest of the Region of Murcia (Spain): Moving towards Long Awaited (Un)Sustainability. *Land*, 9(9). <https://doi.org/10.3390/land9090314>
- Garg, S., Motagh, M., Indu, J., & Karanam, V. (2022). Tracking hidden crisis in India's capital from space: implications of unsustainable groundwater use. *Scientific Reports*, 12(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-021-04193-9>
- González P. & Fernández J. (2011). Drought-driven transient aquifer compaction imaged using multitemporal satellite radar interferometry. *Geology*, 39 (6): 551–554. <https://doi.org/10.1130/G31900.1>
- González, P., Tiampo, K., Palano, M. *et al.* (2012). The 2011 Lorca earthquake slip distribution controlled by groundwater crustal unloading. *Nature Geoscience*, 5, 821–825. <https://doi.org/10.1038/ngeo1610>
- Guo, J., Zhou, L., Yao, C., & Hu, J. (2016). Surface subsidence analysis by multi-temporal InSAR and GRACE: A case study in Beijing. *Sensors (Switzerland)*, 16(9). <https://doi.org/10.3390/s16091495>
- Guzy, A., & Malinowska, A. A. (2020). State of the art and recent advancements in the modelling of land subsidence induced by groundwater withdrawal. In *Water (Switzerland)* (Vol. 12, Issue 7). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/w12072051>
- Haghshenas Haghghi, M., & Motagh, M. (2019). Ground surface response to continuous compaction of aquifer system in Tehran, Iran: Results from a long-term multi-sensor InSAR analysis. *Remote Sensing of Environment*, 221, 534–550. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2018.11.003>
- Hanssen, R. F. (2001). *Radar interferometry: Data interpretation and error analysis*. Kluwer Academic Publishers. <https://doi.org/10.1007/0-306-47633-9>
- Hawkins, A. B. (2005). Engineering Geology: Subsidence. In R. C. Selley, L. R. M. Cocks, & I. R. Plimer (Eds.), *Encyclopedia of Geology* (pp. 9–14). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B0-12-369396-9/00229-X>
- Herrera, G., Fernández, J. A., Tomás, R., Cooksley, G., & Mulas, J. (2009). Advanced interpretation of subsidence in Murcia (SE Spain) using A-DInSAR data-modelling and validation. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 9, 647–661. <https://doi.org/10.5194/nhess-9-647-2009>
- Hobbs, S. E., & Monti-Guarnieri, A. (2018). Geosynchronous Continental Land-Atmosphere Sensing System (G-CLASS): Persistent radar imaging for earth science. *International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS)*, 2018-July, 8621–8624. <https://doi.org/10.1109/IGARSS.2018.8519212>
- Hoffmann, J., & Zebker, H. A. (2003). Prospecting for horizontal surface displacements in Antelope Valley, California, using satellite radar interferometry. *Journal of Geophysical Research: Earth Surface*, 108(F1), n/a-n/a. <https://doi.org/10.1029/2003jf000055>
- Hu, L., Navarro-Hernández, M. I., Liu, X., Tomás, R., Tang, X., Bru, G., Ezquerro, P., & Zhang, Q. (2022). Analysis of regional large-gradient land subsidence in the Alto Guadalentín Basin (Spain) using open-access aerial LiDAR datasets. *Remote Sensing of Environment*, 280, 113218. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2022.113218>
- Ibáñez, J. J. (2012, June 5). *Sobre-explotación de Acuíferos, Subsidencia del Terreno y Repercusiones de los Terremotos*. Madri+d. <https://www.madrimasd.org/blogs/universo/2012/06/05/140668>
- Instituto Geográfico Nacional*. (2022). <https://www.ign.es/web/gds-gnss-tiempo-real>
- Instituto Nacional de Estadística*. (Spanish Statistical Institute). (2022). https://www.ine.es/nomen2/index.do?accion=busquedaAvanzada&entidad_amb=no&codProv=3

- 0&codMuni=24&codEC=0&codES=0&codNUC=0&denominacion_op=like&denominacion_txt=&L=0
- Johnson, C. W., Fu, Y., & Bürgmann, R. (2017). Seasonal water storage, stress modulation, and California seismicity. *Science*, *356*(6343), 1161–1164. <https://doi.org/10.1126/science.aak9547>
- Kostoglodov, V., Valenzuela, R. W., Gorbатов, A., Mimiaga, J., Franco, S. I., Alvarado, J. A., & Pelaê Ez, R. (2001). Deformation in the Guerrero seismic gap, Mexico, from leveling observations. *Journal of Geodesy*, *75*, 19–32. <https://doi.org/10.1007/s001900000144>
- Krieger, G., Queiroz De Almeida, F., Huber, S., Villano, M., Younis, M., Moreira, A., Castillo, J. del, Rodriguez Cassola, M., Prats, P., Petrolati, D., Ludwig, M., Buck, C., Suess, M., & Gebert, N. (2017). *Advanced L-Band SAR System Concepts for High-Resolution Ultra-Wide-Swath SAR Imaging*.
- Kundu, B., Vissa, N. K., & Gahalaut, V. K. (2015). Influence of anthropogenic groundwater unloading in Indo-Gangetic plains on the 25 April 2015 Mw 7.8 Gorkha, Nepal earthquake. *Geophysical Research Letters*, *42*(24), 10607–10613. <https://doi.org/10.1002/2015GL066616>
- Liu, G., Buckley, S. M., Ding, X., Chen, Q., & Luo, X. (2009). Estimating spatiotemporal ground deformation with improved permanent-scatterer radar interferometry. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, *47*(8), 2762–2772. <https://doi.org/10.1109/TGRS.2009.2016213>
- MAGNET + Global GPS Network Map*. (2022). http://geodesy.unr.edu/NGLStationPages/gpsnetmap/GPSNetMap_MAG.html
- Massonnet, D., & Feigl, K. L. (1998). Radar interferometry and its application to changes in the earth's surface. *Reviews of Geophysics*, *36*(4), 441–500. <https://doi.org/10.1029/97RG03139>
- Massonnet, D., Rossi, M., Carmona, C., Adragna, F., Peltzer, G., Feigl, K., & Rabaute, T. (1993). The displacement field of the Landers earthquake mapped by radar interferometry. *Nature*, *364*, 138–142. <https://doi.org/https://doi.org/10.1038/364138a0>
- Massonnet, D., & Souyris, J. C. (2008). *Imaging with Synthetic Aperture Radar*. EPFL Press. <https://doi.org/10.1201/9781439808139>
- Minh, D. H. T., Hanssen, R., & Rocca, F. (2020). Radar interferometry: 20 years of development in time series techniques and future perspectives. *Remote Sensing*, *12*(9). <https://doi.org/10.3390/RS12091364>
- Mittermayer, J., Krieger, G., Bojarski, A., Zonno, M., Villano, M., & Moreira, A. (2021). A MirrorSAR Case Study Based on the X-Band High Resolution Wide Swath Satellite (HRWS). *EUSAR 2021; 3th European Conference on Synthetic Aperture Radar*, 1–6.
- Monti Guarnieri, A., & Rocca, F. (2017). Options for continuous radar Earth observations. *Science China Information Sciences*, *60*(6). <https://doi.org/10.1007/s11432-016-9067-7>
- Monti-Guarnieri, A. V., Brovelli, M. A., Manzoni, M., Mariotti D'Alessandro, M., Molinari, M. E., & Oxoli, D. (2018). Coherent change detection for multipass SAR. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, *56*(11), 6811–6822. <https://doi.org/10.1109/TGRS.2018.2843560>
- National Research Council. (1991). *Mitigating Losses from Land Subsidence in the United States*. The National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/1796>
- Open Access Hub*. (2022). <https://scihub.copernicus.eu/>
- Orbit - Sentinel-1*. (2022). <https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/missions/sentinel-1/satellite-description/orbit>

- Ouchi, K. (2013). Recent trend and advance of synthetic aperture radar with selected topics. *Remote Sensing*, 5(2), 716–807. <https://doi.org/10.3390/rs5020716>
- Perissin, D., & Ferretti, A. (2007). Urban-target recognition by means of repeated spaceborne SAR images. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 45(12), 4043–4058. <https://doi.org/10.1109/TGRS.2007.906092>
- Phien-wej, N., Giao, P. H., & Nutalaya, P. (2006). Land subsidence in Bangkok, Thailand. *Engineering Geology*, 82(4), 187–201. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2005.10.004>
- Poland, J. F., Joseph F., & International Hydrological Programme. Working Group 8.4. (1984). *Guidebook to studies of land subsidence due to ground-water withdrawal*. Unesco.
- Poland, J. F., & Davis, G. H. (1969). *Land subsidence due to withdrawal of fluids* (pp. 187–270). <https://doi.org/10.1130/REG2-p187>
- Rateb, A., & Abotalib, A. Z. (2020). Inferencing the land subsidence in the Nile Delta using Sentinel-1 satellites and GPS between 2015 and 2019. *The Science of the Total Environment*, 729, 138868. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138868>
- Rosen, P. A. (2000). Synthetic aperture radar interferometry. *Proceedings of the IEEE*, 88(3), 333–380. <https://doi.org/10.1109/5.838084>
- SARscape - sarmap*. (2022). <https://www.sarmap.ch/index.php/software/sarscape/>
- Search Earthquake Catalog*. (2022). <https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/search/>
- Stramondo, S., Saroli, M., Tolomei, C., Moro, M., Doumaz, F., Pesci, A., Loddo, F., Baldi, P., & Boschi, E. (2007). Surface movements in Bologna (Po Plain - Italy) detected by multitemporal DInSAR. *Remote Sensing of Environment*, 110(3), 304–316. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2007.02.023>
- Tiwari, D. K., Jha, B., Kundu, B., Gahalaut, V. K., & Vissa, N. K. (2021). Groundwater extraction-induced seismicity around Delhi region, India. *Scientific Reports*, 11(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-021-89527-3>
- Tomás, R., Herrera, G., Cooksley, G., & Mulas, J. (2011). Persistent Scatterer Interferometry subsidence data exploitation using spatial tools: The Vega Media of the Segura River Basin case study. *Journal of Hydrology*, 400(3–4), 411–428. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2011.01.057>
- Tomás, R., Márquez, Y., Lopez-Sanchez, J. M., Delgado, J., Blanco, P., Mallorquí, J. J., Martínez, M., Herrera, G., & Mulas, J. (2005). Mapping ground subsidence induced by aquifer overexploitation using advanced Differential SAR Interferometry: Vega Media of the Segura River (SE Spain) case study. *Remote Sensing of Environment*, 98(2–3), 269–283. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2005.08.003>
- Torres, R., Snoeij, P., Geudtner, D., Bibby, D., Davidson, M., Attema, E., Potin, P., Rommen, B. Ö., Floury, N., Brown, M., Traver, I. N., Deghaye, P., Duesmann, B., Rosich, B., Miranda, N., Bruno, C., L'Abbate, M., Croci, R., Pietropaolo, A., Rostan, F. (2012). GMES Sentinel-1 mission. *Remote Sensing of Environment*, 120, 9–24. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2011.05.028>
- Tsokas, A., Rysz, M., Pardalos, P. M., & Dipple, K. (2022). SAR data applications in earth observation: An overview. In *Expert Systems with Applications* (Vol. 205). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2022.117342>
- UNESCO Land Subsidence International Initiative – UNESCO Land Subsidence International Initiative*. (2022). <https://www.landsubsidence-unesco.org/>
- Van Leijen, F. (2014). *Persistent Scatterer Interferometry based on geodetic estimation theory*. <https://doi.org/10.4233/uuid:5dba48d7-ee26-4449-b674-caa8df93e71e>

- Vasco, D. W., Farr, T. G., Jeanne, P., Doughty, C., & Nico, P. (2019). Satellite-based monitoring of groundwater depletion in California's Central Valley. *Scientific Reports*, 9(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-019-52371-7>
- Xue, F., Lv, X., Dou, F., & Yun, Y. (2020). A Review of Time-Series Interferometric SAR Techniques: A Tutorial for Surface Deformation Analysis. In *IEEE Geoscience and Remote Sensing Magazine* (Vol. 8, Issue 1, pp. 22–42). Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc. <https://doi.org/10.1109/MGRS.2019.2956165>
- Yu, H., Gong, H., Chen, B., Liu, K., & Gao, M. (2020). Analysis of the influence of groundwater on land subsidence in Beijing based on the geographical weighted regression (GWR) model. *Science of the Total Environment*, 738. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139405>
- Zebker, H. A., Rosen, P. A., & Artifacts in Interferometric SAR, A. (1996). *Atmospheric Artifacts in Interferometric SAR Surface Deformation and Topographic Maps*.
- Zhou, X., Chang, N. bin, & Li, S. (2009). Applications of SAR interferometry in earth and environmental science research. In *Sensors* (Vol. 9, Issue 3, pp. 1876–1912). <https://doi.org/10.3390/s90301876>

ANEXO I: PROCESAMIENTO PSI

Se muestran los tiempos de ejecución de las fases del proceso PSI (*Tabla A.1*), lista total de los archivos empleados en el procesamiento (*Tabla A.2*) y parámetros empleados (*Tabla A.3*, *Tabla A.4*, *Tabla A.5*, *Tabla A.6*).

Tabla A.1. Tiempos de procesamiento

PROCESO	TIEMPO (min)
Import	938
Connection Graph	5
Interferometric Process	491
Inversion: First Step	358
Inversion: Second Step	160
Geocoding	12

Tabla A.2. Listado archivos procesamiento (imagen máster en negrita)

DATE	FILE NAME	DATE	FILE NAME
27-FEB-2015	sentinel1_8_20150227_061013821_IW_D_VV_slc_list	23-JUN-2018	sentinel1_8_20180623_061037226_IW_D_VV_slc_list
11-MAR-2015	sentinel1_8_20150311_060954748_IW_D_VV_msc_slc_list	05-JUL-2018	sentinel1_8_20180705_061037628_IW_D_VV_slc_list
23-MAR-2015	sentinel1_8_20150323_061011825_IW_D_VV_slc_list	11-JUL-2018	sentinel1_8_20180711_060950721_IW_D_VV_slc_list
04-APR-2015	sentinel1_8_20150404_060955529_IW_D_VV_slc_list	17-JUL-2018	sentinel1_8_20180717_061038624_IW_D_VV_slc_list
16-APR-2015	sentinel1_8_20150416_061012417_IW_D_VV_slc_list	23-JUL-2018	sentinel1_8_20180723_060951768_IW_D_VV_slc_list
28-APR-2015	sentinel1_8_20150428_061013380_IW_D_VV_slc_list	29-JUL-2018	sentinel1_8_20180729_061039274_IW_D_VV_slc_list
22-MAY-2015	sentinel1_8_20150522_061014624_IW_D_VV_slc_list	04-AUG-2018	sentinel1_8_20180804_060952337_IW_D_VV_slc_list
03-JUN-2015	sentinel1_8_20150603_061015480_IW_D_VV_slc_list	10-AUG-2018	sentinel1_8_20180810_061039956_IW_D_VV_slc_list
15-JUN-2015	sentinel1_8_20150615_061016257_IW_D_VV_slc_list	16-AUG-2018	sentinel1_8_20180816_060952992_IW_D_VV_slc_list
27-JUN-2015	sentinel1_8_20150627_061017085_IW_D_VV_slc_list	22-AUG-2018	sentinel1_8_20180822_061040616_IW_D_VV_slc_list
09-JUL-2015	sentinel1_8_20150709_061016242_IW_D_VV_slc_list	28-AUG-2018	sentinel1_8_20180828_060953565_IW_D_VV_slc_list
21-JUL-2015	sentinel1_8_20150721_061017417_IW_D_VV_slc_list	03-SEP-2018	sentinel1_8_20180903_061041437_IW_D_VV_slc_list
02-AUG-2015	sentinel1_8_20150802_061012610_IW_D_VV_slc_list	09-SEP-2018	sentinel1_8_20180909_060954159_IW_D_VV_slc_list
14-AUG-2015	sentinel1_8_20150814_061013227_IW_D_VV_slc_list	15-SEP-2018	sentinel1_8_20180915_061041756_IW_D_VV_slc_list
26-AUG-2015	sentinel1_8_20150826_061013832_IW_D_VV_slc_list	21-SEP-2018	sentinel1_8_20180921_060954488_IW_D_VV_slc_list
07-SEP-2015	sentinel1_8_20150907_061014284_IW_D_VV_slc_list	27-SEP-2018	sentinel1_8_20180927_061042064_IW_D_VV_slc_list
19-SEP-2015	sentinel1_8_20150919_061014562_IW_D_VV_slc_list	03-OCT-2018	sentinel1_8_20181003_060954857_IW_D_VV_slc_list
01-OCT-2015	sentinel1_8_20151001_061014784_IW_D_VV_slc_list	09-OCT-2018	sentinel1_8_20181009_061023008_IW_D_VV_msc_slc_list
13-OCT-2015	sentinel1_8_20151013_061015057_IW_D_VV_slc_list	15-OCT-2018	sentinel1_8_20181015_060955067_IW_D_VV_slc_list
12-DEC-2015	sentinel1_8_20151212_061008434_IW_D_VV_slc_list	21-OCT-2018	sentinel1_8_20181021_061042463_IW_D_VV_slc_list

24-DEC-2015	sentinel1_8_20151224_061007780_IW_D_VV_slc_list	27-OCT-2018	sentinel1_8_20181027_060955129_IW_D_VV_slc_list
05-JAN-2016	sentinel1_8_20160105_061007495_IW_D_VV_slc_list	02-NOV-2018	sentinel1_8_20181102_061042373_IW_D_VV_slc_list
17-JAN-2016	sentinel1_8_20160117_061007083_IW_D_VV_slc_list	08-NOV-2018	sentinel1_8_20181108_060954738_IW_D_VV_slc_list
29-JAN-2016	sentinel1_8_20160129_061006569_IW_D_VV_slc_list	14-NOV-2018	sentinel1_8_20181114_061042075_IW_D_VV_slc_list
10-FEB-2016	sentinel1_8_20160210_061006350_IW_D_VV_slc_list	20-NOV-2018	sentinel1_8_20181120_060954700_IW_D_VV_slc_list
05-MAR-2016	sentinel1_8_20160305_061006623_IW_D_VV_slc_list	26-NOV-2018	sentinel1_8_20181126_061041650_IW_D_VV_slc_list
17-MAR-2016	sentinel1_8_20160317_061006739_IW_D_VV_slc_list	02-DEC-2018	sentinel1_8_20181202_060954267_IW_D_VV_slc_list
29-MAR-2016	sentinel1_8_20160329_061007129_IW_D_VV_slc_list	08-DEC-2018	sentinel1_8_20181208_061041367_IW_D_VV_slc_list
10-APR-2016	sentinel1_8_20160410_061007564_IW_D_VV_slc_list	14-DEC-2018	sentinel1_8_20181214_060953686_IW_D_VV_slc_list
22-APR-2016	sentinel1_8_20160422_061007973_IW_D_VV_slc_list	20-DEC-2018	sentinel1_8_20181220_061040853_IW_D_VV_slc_list
04-MAY-2016	sentinel1_8_20160504_061000216_IW_A_VV_msc_slc_list	26-DEC-2018	sentinel1_8_20181226_060953463_IW_D_VV_slc_list
16-MAY-2016	sentinel1_8_20160516_061012046_IW_D_VV_slc_list	01-JAN-2019	sentinel1_8_20190101_061040498_IW_D_VV_slc_list
28-MAY-2016	sentinel1_8_20160528_061001634_IW_D_VV_msc_slc_list	07-JAN-2019	sentinel1_8_20190107_060952958_IW_D_VV_slc_list
09-JUN-2016	sentinel1_8_20160609_061024389_IW_D_VV_slc_list	13-JAN-2019	sentinel1_8_20190113_061039984_IW_D_VV_slc_list
03-JUL-2016	sentinel1_8_20160703_061003777_IW_D_VV_msc_slc_list	25-JAN-2019	sentinel1_8_20190125_061039678_IW_D_VV_slc_list
15-JUL-2016	sentinel1_8_20160715_061004277_IW_D_VV_msc_slc_list	31-JAN-2019	sentinel1_8_20190131_060952276_IW_D_VV_slc_list
27-JUL-2016	sentinel1_8_20160727_061018801_IW_D_VV_slc_list	06-FEB-2019	sentinel1_8_20190206_061038959_IW_D_VV_slc_list
08-AUG-2016	sentinel1_8_20160808_061005753_IW_D_VV_msc_slc_list	12-FEB-2019	sentinel1_8_20190212_060951800_IW_D_VV_slc_list
20-AUG-2016	sentinel1_8_20160820_061006389_IW_D_VV_msc_slc_list	18-FEB-2019	sentinel1_8_20190218_061038997_IW_D_VV_slc_list
01-SEP-2016	sentinel1_8_20160901_061006652_IW_D_VV_msc_slc_list	24-FEB-2019	sentinel1_8_20190224_060951801_IW_D_VV_slc_list
13-SEP-2016	sentinel1_8_20160913_061007290_IW_D_VV_msc_slc_list	02-MAR-2019	sentinel1_8_20190302_061039085_IW_D_VV_slc_list
25-SEP-2016	sentinel1_8_20160925_061007724_IW_D_VV_msc_slc_list	08-MAR-2019	sentinel1_8_20190308_060951620_IW_D_VV_slc_list
01-OCT-2016	sentinel1_8_20161001_060925739_IW_D_VV_msc_slc_list	14-MAR-2019	sentinel1_8_20190314_061038954_IW_D_VV_slc_list
07-OCT-2016	sentinel1_8_20161007_061007706_IW_D_VV_msc_slc_list	20-MAR-2019	sentinel1_8_20190320_060951566_IW_D_VV_slc_list
19-OCT2016]	sentinel1_8_20161019_061007632_IW_D_VV_msc_slc_list	26-MAR-2019	sentinel1_8_20190326_061039289_IW_D_VV_slc_list
25-OCT-2016	sentinel1_8_20161025_060925787_IW_D_VV_msc_slc_list	01-APR-2019	sentinel1_8_20190401_060952101_IW_D_VV_slc_list
31-OCT-2016	sentinel1_8_20161031_061007806_IW_D_VV_msc_slc_list	07-APR-2019	sentinel1_8_20190407_061039458_IW_D_VV_slc_list
06-NOV-2016	sentinel1_8_20161106_060925716_IW_D_VV_msc_slc_list	13-APR-2019	sentinel1_8_20190413_060952391_IW_D_VV_slc_list
12-NOV-2016	sentinel1_8_20161112_061007617_IW_D_VV_msc_slc_list	19-APR-2019	sentinel1_8_20190419_061039879_IW_D_VV_slc_list
18-NOV-2016	sentinel1_8_20161118_060925278_IW_D_VV_msc_slc_list	25-APR-2019	sentinel1_8_20190425_060953028_IW_D_VV_slc_list
24-NOV-2016	sentinel1_8_20161124_061007426_IW_D_VV_msc_slc_list	01-MAY-2019	sentinel1_8_20190501_061040521_IW_D_VV_slc_list
30-NOV-2016	sentinel1_8_20161130_060925157_IW_D_VV_msc_slc_list	13-MAY-2019	sentinel1_8_20190513_061040871_IW_D_VV_slc_list
06-DEC-2016	sentinel1_8_20161206_061007039_IW_D_VV_msc_slc_list	19-MAY-2019	sentinel1_8_20190519_060954061_IW_D_VV_slc_list
12-DEC-2016	sentinel1_8_20161212_060924829_IW_D_VV_msc_slc_list	31-MAY-2019	sentinel1_8_20190531_060954600_IW_D_VV_slc_list
18-DEC-2016	sentinel1_8_20161218_061006578_IW_D_VV_msc_slc_list	06-JUN-2019	sentinel1_8_20190606_061042097_IW_D_VV_slc_list
24-DEC-2016	sentinel1_8_20161224_060924437_IW_D_VV_msc_slc_list	12-JUN-2019	sentinel1_8_20190612_060955257_IW_D_VV_slc_list

30-DEC-2016	sentinel1_8_20161230_061006216_IW_D_VV_msc_slc_list	18-JUN-2019	sentinel1_8_20190618_061042737_IW_D_VV_slc_list
05-JAN-2017	sentinel1_8_20170105_060922812_IW_D_VV_msc_slc_list	24-JUN-2019	sentinel1_8_20190624_060955976_IW_D_VV_slc_list
11-JAN-2017	sentinel1_8_20170111_061004689_IW_D_VV_msc_slc_list	30-JUN-2019	sentinel1_8_20190630_061043542_IW_D_VV_slc_list
17-JAN-2017	sentinel1_8_20170117_060922434_IW_D_VV_msc_slc_list	06-JUL-2019	sentinel1_8_20190706_060956820_IW_D_VV_slc_list
23-JAN-2017	sentinel1_8_20170123_061004365_IW_D_VV_msc_slc_list	12-JUL-2019	sentinel1_8_20190712_061044216_IW_D_VV_slc_list
29-JAN-2017	sentinel1_8_20170129_060922203_IW_D_VV_msc_slc_list	18-JUL-2019	sentinel1_8_20190718_060957401_IW_D_VV_slc_list
04-FEB-2017	sentinel1_8_20170204_061004141_IW_D_VV_msc_slc_list	24-JUL-2019	sentinel1_8_20190724_061045061_IW_D_VV_slc_list
10-FEB-2017	sentinel1_8_20170210_060921946_IW_D_VV_msc_slc_list	30-JUL-2019	sentinel1_8_20190730_060958101_IW_D_VV_slc_list
16-FEB-2017	sentinel1_8_20170216_061003763_IW_D_VV_msc_slc_list	05-AUG-2019	sentinel1_8_20190805_061045880_IW_D_VV_slc_list
22-FEB-2017	sentinel1_8_20170222_060921931_IW_D_VV_msc_slc_list	11-AUG-2019	sentinel1_8_20190811_060959032_IW_D_VV_slc_list
28-FEB-2017	sentinel1_8_20170228_061003700_IW_D_VV_msc_slc_list	17-AUG-2019	sentinel1_8_20190817_061046711_IW_D_VV_slc_list
06-MAR-2017	sentinel1_8_20170306_060921792_IW_D_VV_msc_slc_list	29-AUG-2019	sentinel1_8_20190829_061047141_IW_D_VV_slc_list
12-MAR-2017	sentinel1_8_20170312_061003939_IW_D_VV_msc_slc_list	04-SEP-2019	sentinel1_8_20190904_061000241_IW_D_VV_slc_list
18-MAR-2017	sentinel1_8_20170318_060922080_IW_D_VV_msc_slc_list	10-SEP-2019	sentinel1_8_20190910_061047744_IW_D_VV_slc_list
24-MAR-2017	sentinel1_8_20170324_061004104_IW_D_VV_msc_slc_list	16-SEP-2019	sentinel1_8_20190916_061000744_IW_D_VV_slc_list
30-MAR-2017	sentinel1_8_20170330_060922309_IW_D_VV_msc_slc_list	22-SEP-2019	sentinel1_8_20190922_061048254_IW_D_VV_slc_list
05-APR-2017	sentinel1_8_20170405_061004593_IW_D_VV_msc_slc_list	28-SEP-2019	sentinel1_8_20190928_061001376_IW_D_VV_slc_list
11-APR-2017	sentinel1_8_20170411_060922778_IW_D_VV_msc_slc_list	04-OCT-2019	sentinel1_8_20191004_061048680_IW_D_VV_slc_list
17-APR-2017	sentinel1_8_20170417_061005160_IW_D_VV_msc_slc_list	10-OCT-2019	sentinel1_8_20191010_061001220_IW_D_VV_slc_list
23-APR-2017	sentinel1_8_20170423_060923435_IW_D_VV_msc_slc_list	16-OCT-2019	sentinel1_8_20191016_061048589_IW_D_VV_slc_list
29-APR-2017	sentinel1_8_20170429_061005567_IW_D_VV_msc_slc_list	22-OCT-2019	sentinel1_8_20191022_061001438_IW_D_VV_slc_list
05-MAY-2017	sentinel1_8_20170505_060924049_IW_D_VV_msc_slc_list	28-OCT-2019	sentinel1_8_20191028_061048611_IW_D_VV_slc_list
11-MAY-2017	sentinel1_8_20170511_061006317_IW_D_VV_msc_slc_list	03-NOV-2019	sentinel1_8_20191103_061001217_IW_D_VV_slc_list
17-MAY-2017	sentinel1_8_20170517_060924641_IW_D_VV_msc_slc_list	09-NOV-2019	sentinel1_8_20191109_061048680_IW_D_VV_slc_list
23-MAY-2017	sentinel1_8_20170523_061028900_IW_D_VV_slc_list	15-NOV-2019	sentinel1_8_20191115_061001295_IW_D_VV_slc_list
29-MAY-2017	sentinel1_8_20170529_060941628_IW_D_VV_slc_list	21-NOV-2019	sentinel1_8_20191121_061048384_IW_D_VV_slc_list
04-JUN-2017	sentinel1_8_20170604_061029761_IW_D_VV_slc_list	27-NOV-2019	sentinel1_8_20191127_061000846_IW_D_VV_slc_list
10-JUN-2017	sentinel1_8_20170610_060942599_IW_D_VV_slc_list	03-DEC-2019	sentinel1_8_20191203_061047878_IW_D_VV_slc_list
16-JUN-2017	sentinel1_8_20170616_061030401_IW_D_VV_slc_list	09-DEC-2019	sentinel1_8_20191209_061000502_IW_D_VV_slc_list
22-JUN-2017	sentinel1_8_20170622_060943079_IW_D_VV_slc_list	15-DEC-2019	sentinel1_8_20191215_061047523_IW_D_VV_slc_list
28-JUN-2017	sentinel1_8_20170628_061031158_IW_D_VV_slc_list	21-DEC-2019	sentinel1_8_20191221_061000004_IW_D_VV_slc_list
04-JUL-2017	sentinel1_8_20170704_060943777_IW_D_VV_slc_list	27-DEC-2019	sentinel1_8_20191227_061047042_IW_D_VV_slc_list
10-JUL-2017	sentinel1_8_20170710_061031731_IW_D_VV_slc_list	02-JAN-2020	sentinel1_8_20200102_060959340_IW_D_VV_slc_list
16-JUL-2017	sentinel1_8_20170716_060944688_IW_D_VV_slc_list	08-JAN-2020	sentinel1_8_20200108_061046555_IW_D_VV_slc_list
22-JUL-2017	sentinel1_8_20170722_061032433_IW_D_VV_slc_list	14-JAN-2020	sentinel1_8_20200114_060958834_IW_D_VV_slc_list
28-JUL-2017	sentinel1_8_20170728_060945349_IW_D_VV_slc_list	20-JAN-2020	sentinel1_8_20200120_061046096_IW_D_VV_slc_list

03-AUG-2017	sentinel1_8_20170803_061033185_IW_D_VV_slc_list	26-JAN-2020	sentinel1_8_20200126_060958541_IW_D_VV_slc_list
09-AUG-2017	sentinel1_8_20170809_060945958_IW_D_VV_slc_list	01-FEB-2020	sentinel1_8_20200201_061045676_IW_D_VV_slc_list
15-AUG-2017	sentinel1_8_20170815_061033812_IW_D_VV_slc_list	07-FEB-2020	sentinel1_8_20200207_060958282_IW_D_VV_slc_list
21-AUG-2017	sentinel1_8_20170821_060946507_IW_D_VV_slc_list	13-FEB-2020	sentinel1_8_20200213_061045296_IW_D_VV_slc_list
27-AUG-2017	sentinel1_8_20170827_061034414_IW_D_VV_slc_list	19-FEB-2020	sentinel1_8_20200219_060958002_IW_D_VV_slc_list
02-SEP-2017	sentinel1_8_20170902_060947028_IW_D_VV_slc_list	25-FEB-2020	sentinel1_8_20200225_061045111_IW_D_VV_slc_list
08-SEP-2017	sentinel1_8_20170908_061034776_IW_D_VV_slc_list	02-MAR-2020	sentinel1_8_20200302_060957760_IW_D_VV_slc_list
14-SEP-2017	sentinel1_8_20170914_060947639_IW_D_VV_slc_list	08-MAR-2020	sentinel1_8_20200308_061045317_IW_D_VV_slc_list
20-SEP-2017	sentinel1_8_20170920_061035278_IW_D_VV_slc_list	14-MAR-2020	sentinel1_8_20200314_060957942_IW_D_VV_slc_list
26-SEP-2017	sentinel1_8_20170926_060947930_IW_D_VV_slc_list	20-MAR-2020	sentinel1_8_20200320_061045484_IW_D_VV_slc_list
02-OCT-2017	sentinel1_8_20171002_061035551_IW_D_VV_slc_list	01-APR-2020	sentinel1_8_20200401_061045662_IW_D_VV_slc_list
08-OCT-2017	sentinel1_8_20171008_060948116_IW_D_VV_slc_list	07-APR-2020	sentinel1_8_20200407_060958392_IW_D_VV_slc_list
14-OCT-2017	sentinel1_8_20171014_061035743_IW_D_VV_slc_list	13-APR-2020	sentinel1_8_20200413_061045984_IW_D_VV_slc_list
20-OCT-2017	sentinel1_8_20171020_060948277_IW_D_VV_slc_list	19-APR-2020	sentinel1_8_20200419_060958929_IW_D_VV_slc_list
26-OCT-2017	sentinel1_8_20171026_061035793_IW_D_VV_slc_list	25-APR-2020	sentinel1_8_20200425_061046487_IW_D_VV_slc_list
01-NOV-2017	sentinel1_8_20171101_060948380_IW_D_VV_slc_list	01-MAY-2020	sentinel1_8_20200501_060959516_IW_D_VV_slc_list
07-NOV-2017	sentinel1_8_20171107_061035558_IW_D_VV_slc_list	07-MAY-2020	sentinel1_8_20200507_061046914_IW_D_VV_slc_list
13-NOV-2017	sentinel1_8_20171113_060947984_IW_D_VV_slc_list	13-MAY-2020	sentinel1_8_20200513_060959929_IW_D_VV_slc_list
19-NOV-2017	sentinel1_8_20171119_061035392_IW_D_VV_slc_list	19-MAY-2020	sentinel1_8_20200519_061047752_IW_D_VV_slc_list
25-NOV-2017	sentinel1_8_20171125_060947785_IW_D_VV_slc_list	25-MAY-2020	sentinel1_8_20200525_061000787_IW_D_VV_slc_list
01-DEC-2017	sentinel1_8_20171201_061035066_IW_D_VV_slc_list	31-MAY-2020	sentinel1_8_20200531_061048495_IW_D_VV_slc_list
07-DEC-2017	sentinel1_8_20171207_060947264_IW_D_VV_slc_list	06-JUN-2020	sentinel1_8_20200606_061001584_IW_D_VV_slc_list
13-DEC-2017	sentinel1_8_20171213_061034633_IW_D_VV_slc_list	12-JUN-2020	sentinel1_8_20200612_061049264_IW_D_VV_slc_list
19-DEC-2017	sentinel1_8_20171219_060946940_IW_D_VV_slc_list	18-JUN-2020	sentinel1_8_20200618_061002070_IW_D_VV_slc_list
25-DEC-2017	sentinel1_8_20171225_061033986_IW_D_VV_slc_list	24-JUN-2020	sentinel1_8_20200624_061049931_IW_D_VV_slc_list
31-DEC-2017	sentinel1_8_20171231_060946497_IW_D_VV_slc_list	30-JUN-2020	sentinel1_8_20200630_061002742_IW_D_VV_slc_list
06-JAN-2018	sentinel1_8_20180106_061033532_IW_D_VV_slc_list	06-JUL-2020	sentinel1_8_20200706_061050506_IW_D_VV_slc_list
12-JAN-2018	sentinel1_8_20180112_060946050_IW_D_VV_slc_list	12-JUL-2020	sentinel1_8_20200712_061003538_IW_D_VV_slc_list
18-JAN-2018	sentinel1_8_20180118_061033168_IW_D_VV_slc_list	18-JUL-2020	sentinel1_8_20200718_061051277_IW_D_VV_slc_list
24-JAN-2018	sentinel1_8_20180124_060945526_IW_D_VV_slc_list	24-JUL-2020	sentinel1_8_20200724_061004211_IW_D_VV_slc_list
30-JAN-2018	sentinel1_8_20180130_061032813_IW_D_VV_slc_list	30-JUL-2020	sentinel1_8_20200730_061052179_IW_D_VV_slc_list
05-FEB-2018	sentinel1_8_20180205_060945242_IW_D_VV_slc_list	05-AUG-2020	sentinel1_8_20200805_061005038_IW_D_VV_slc_list
11-FEB-2018	sentinel1_8_20180211_061032690_IW_D_VV_slc_list	11-AUG-2020	sentinel1_8_20200811_061052764_IW_D_VV_slc_list
17-FEB-2018	sentinel1_8_20180217_060945053_IW_D_VV_slc_list	17-AUG-2020	sentinel1_8_20200817_061005663_IW_D_VV_slc_list
23-FEB-2018	sentinel1_8_20180223_061032440_IW_D_VV_slc_list	23-AUG-2020	sentinel1_8_20200823_061053456_IW_D_VV_slc_list
01-MAR-2018	sentinel1_8_20180301_060945045_IW_D_VV_slc_list	29-AUG-2020	sentinel1_8_20200829_061006499_IW_D_VV_slc_list

07-MAR-2018	sentinel1_8_20180307_061032398_IW_D_VV_slc_list	04-SEP-2020	sentinel1_8_20200904_061054020_IW_D_VV_slc_list
13-MAR-2018	sentinel1_8_20180313_060945135_IW_D_VV_slc_list	10-SEP-2020	sentinel1_8_20200910_061006949_IW_D_VV_slc_list
19-MAR-2018	sentinel1_8_20180319_061032581_IW_D_VV_slc_list	16-SEP-2020	sentinel1_8_20200916_061054471_IW_D_VV_slc_list
25-MAR-2018	sentinel1_8_20180325_060945218_IW_D_VV_slc_list	22-SEP-2020	sentinel1_8_20200922_061007287_IW_D_VV_slc_list
31-MAR-2018	sentinel1_8_20180331_061032913_IW_D_VV_slc_list	28-SEP-2020	sentinel1_8_20200928_061054840_IW_D_VV_slc_list
06-APR-2018	sentinel1_8_20180406_060945786_IW_D_VV_slc_list	04-OCT-2020	sentinel1_8_20201004_061007499_IW_D_VV_slc_list
12-APR-2018	sentinel1_8_20180412_061033326_IW_D_VV_slc_list	10-OCT-2020	sentinel1_8_20201010_061055163_IW_D_VV_slc_list
18-APR-2018	sentinel1_8_20180418_060945918_IW_D_VV_slc_list	16-OCT-2020	sentinel1_8_20201016_061007610_IW_D_VV_slc_list
24-APR-2018	sentinel1_8_20180424_061033838_IW_D_VV_slc_list	22-OCT-2020	sentinel1_8_20201022_061055013_IW_D_VV_slc_list
30-APR-2018	sentinel1_8_20180430_060946646_IW_D_VV_slc_list	28-OCT-2020	sentinel1_8_20201028_061007660_IW_D_VV_slc_list
06-MAY-2018	sentinel1_8_20180506_061034349_IW_D_VV_slc_list	03-NOV-2020	sentinel1_8_20201103_061055025_IW_D_VV_slc_list
12-MAY-2018	sentinel1_8_20180512_060947155_IW_D_VV_slc_list	09-NOV-2020	sentinel1_8_20201109_061007563_IW_D_VV_slc_list
18-MAY-2018	sentinel1_8_20180518_061034995_IW_D_VV_slc_list	15-NOV-2020	sentinel1_8_20201115_061054832_IW_D_VV_slc_list
24-MAY-2018	sentinel1_8_20180524_060947958_IW_D_VV_slc_list	21-NOV-2020	sentinel1_8_20201121_061007356_IW_D_VV_slc_list
30-MAY-2018	sentinel1_8_20180530_061035595_IW_D_VV_slc_list	27-NOV-2020	sentinel1_8_20201127_061054325_IW_D_VV_slc_list
05-JUN-2018	sentinel1_8_20180605_060948559_IW_D_VV_slc_list	03-DEC-2020	sentinel1_8_20201203_061006897_IW_D_VV_slc_list
11-JUN-2018	sentinel1_8_20180611_061036519_IW_D_VV_slc_list	09-DEC-2020	sentinel1_8_20201209_061054011_IW_D_VV_slc_list
17-JUN-2018	sentinel1_8_20180617_060949472_IW_D_VV_slc_list	15-DEC-2020	sentinel1_8_20201215_061006402_IW_D_VV_slc_list
29-JUN-2018	sentinel1_8_20180629_060950112_IW_D_VV_slc_list	21-DEC-2020	sentinel1_8_20201221_061053447_IW_D_VV_slc_list

Tabla A.3. Interferometric Process

PRINCIPAL PARAMETERS	
Generate Dint Multilooked for Quick View	False
Rebuild All	False
Atmosphere External Sensors	NOT SELECTED
Corregistration With DEM	True
OTHER PARAMETERS	
Range Looks	3
Azimuth Looks	1

Tabla A.4. Inversion: First Step

PRINCIPAL PARAMETERS	
Displacement Sampling (mm/year)	1
Min Displacement Velocity (mm/year)	-100
Max Displacement Velocity (mm/year)	100
Residual Height Sampling (m)	2
Min Residual Height (m)	-70
Max Residual Height (m)	70
SubArea for Single Reference Point (sqkm)	25
SubArea Overlap (%)	30
Number of Candidates	25
Rebuild All	True
OTHER PARAMETERS	
Coherence Threshold SubArea Merging	0,66
Min. PS Density in SubArea Overlap (%)	5
MuSigma Threshold for Ref Points (%)	60
MuSigma Mask	0

Tabla A.5. Inversion: Second Step

PRINCIPAL PARAMETERS	
Atmosphere Low pass size (m)	1200
Atmosphere High pass size (days)	365
Rebuild All	False

Tabla A.6. Geocoding

PRINCIPAL PARAMETERS	
Product Temporal Coherence Threshold	0,75
Generate KML	True
Refinement Radius (m)	22.5
Refinement Res Phase Poly Degree	3
Vertical Displacement	True
Slope Displacement	False
OTHER PARAMETERS	
Geocode using MuSigma Threshold	True
MuSigma Threshold	4