

**1 Qu Feifei,Zhong Lu,Jin-Woo Kim , Zheng Weiyu.(2019)
Identify and Monitor Growth Faulting Using
InSAR over Northern Greater Houston, Texas,
USA. Remote Sens. 2019, 11, 1498.**

El estudio tuvo como objetivo posicionar, mapear y monitorear la tasa, el alcance y la evolución temporal de las fallas sobre GH(Greater Houston), utilizando la técnica InSAR multitemporal(MTI) .La técnica radar de apertura sintética interferométrica (InSAR) es una técnica establecida y confiable para estudiar desplazamientos superficiales. La técnica InSAR tiene la capacidad de recuperar la deformación histórica, identificar anomalías de la superficie de tamaños pequeños, revelar la dimensión espacial de desplazamientos del suelo y detección de bordes de deformación en una alta resolución espacial de metros y una medición de centímetro a milímetro.El método MTI, maximiza la señal y la correlación de fase interferométrica, tiene la capacidad de identificar y monitorear fallas ,proporcionar una descripción precisa y detallada de las fallas activas. En la investigación utilizaron el enfoque MTI , incorporando tanto PS como SBAS para maximizar la correlación de fase interferométrica,al combinar las técnicas InSAR de PS y SBAS se maximiza la densidad espacial de la señal utilizable.La discontinuidad en el gradiente de deformación a través de las líneas de falla ofrece la oportunidad de mapear fallas en los mapas de deformación de InSAR, porque dos lados de las fallas generalmente se cruzan y presentan diferentes tasas de deformación .El parámetro de velocidad en InSAR ,puede describir la geometría de la ruptura de la falla durante algún terremoto, aunque, también se puede emplear para evaluar la deformación de longitud de onda larga asociada con la acumulación de deformación interseísmica. Las mediciones de InSAR permitieron ubicar tanto los rastros de fallas previamente conocidos como la nucleación de nuevas fracturas que no fueron reveladas previamente por otras técnicas. El rastro de la falla en la superficie fue mapeadas por InSAR ,la activación de las fallas estaba relacionada con la explotación excesiva del agua subterránea del acuífero Jasper en el condado de Montgomery,además ,realizaron la evaluación de las características de la falla (profundidad de bloqueo y tasa de deslizamiento) a través del modelado de mapas de deformación derivados de MTI.Procesaron un conjunto de imágenes SAR de datos ALOS PALSAR usando el método MTI y generaron dos mapas anuales de deformación de la línea de visión(LOS) (pistas 175 y 176) durante 2007 y 2011. La región GH se encontraba cubierta por 23 imágenes de dos pistas adyacentes ALOS PALSAR de banda L adyacentes (la longitud de onda es de 23.6 [cm]): 175 (12 escenas, rango de fechas:20070926–20110104) y 176 (11 escenas, rango de fechas: 20070713–20110121). La fase topográfica se eliminó de los interferogramas utilizando un DEM .Incluyeron algunos interferogramas con líneas de base espaciales y / o temporales más grandes y construyeron 68 interferogramas totalmente usando el Software Doris.Luego eliminaron el error de línea base mediante el filtrado de paso alto de los datos de fase sin envolver, seguido de un

filtrado espacial de paso bajo. Un área se encontraba cubierta por ambas pistas ALOS vecinas (es decir, la superposición de dos escenas). Todas las observaciones realizadas con los satélites de ALOS, Envisat y ERS mostraron que dos bloques de una falla siempre presentaban diferentes movimientos, que pueden debilitar o modificar la tendencia de desplazamiento local, lo que resulta de gradientes de subsidencia pronunciados en las posiciones de falla mapeadas. Los gradientes medidos relacionados con fallas se estima que fueron productos de erosión diferencial continua y / o deposición a través de rastros de fallas. Las fallas mapeadas se presentaron de forma paralela a la línea de la costa del Golfo, cayendo de noroeste a sureste, mostrando coherencia con los escarpes del terreno circundante y un patrón de fallas regionales. La detección de fallas se puede lograr a través de diversos medios. Las fotos aéreas a menudo son útiles para identificar los puntos de contacto entre el lado más seco hacia arriba y el lado más húmedo hacia abajo de una falla debido a los cambios en la vegetación. Sin embargo, las aplicaciones de fotografías aéreas son limitadas en áreas de rápida expansión, con relieve topográfico significativo, y / o vegetación densa o cubierta arbórea. Por lo tanto, los estudios de terreno proveen la posibilidad de identificar y mapear fracturas por fallas superficiales en gran parte del norte de GH.

2 Xu, Xiaohua Ward, Lauren Jiang, Junle Smith-Konter, Bridget Tymofyeyeva, Ekaterina Lindsey, Eric Sylvester, A.G. Sandwell, David. (2018). Surface Creep Rate of the Southern San Andreas Fault Modulated by Stress Perturbations From Nearby Large Events. Geophysical Research Letters. 45. 10.1029/2018GL080137.

La investigación se centro en conocer el desplazamiento lento superficial a lo largo de la falla del sur de San Andrés utilizando datos de Radar de Apertura Sintética Interferométrica durante un periodo de 25 años (ERS 1992–1999, ENVISAT 2003–2010 y Sentinel-1 2014 - presente). Primeramente realizaron la documentación respecto al aumento en la tasa de fluencia promedio, después del terremoto de la mina Héctor 7.1 [Mw] de 1999 a 7.2[Mw] del terremoto de Major Cucapah 2010, en segundo lugar, atribuyeron todos esos cambios en la tasa de fluencia a las variaciones de estrés de Coulomb de esos tres grandes terremotos. Cabe señalar que la fluencia, de acuerdo a los autores, se puede medir usando varias herramientas que muestrean diferentes escalas de espacio y tiempo. Los geólogos pueden determinar la tasa promedio de fluencia de una falla midiendo las compensaciones de estructuras naturales y artificiales y fechando la duración del período de fluencia. Los creepmeters¹ son altamente precisos y pro-

¹Creepmeters, instrumento que monitorea el desplazamiento lento de la superficie de una falla geológica activa en la tierra.

porcionan un registro continuo de fluencia pero están limitados espacialmente a unos pocos metros a cada lado de una traza de falla. El Radar de Apertura Sintética interferométrica (InSAR) puede proporcionar un mayor mapeo completo de la fluencia distribuida pero es susceptible a ruidos atmosféricos. Por lo tanto, cuando es usado InSAR, es necesario realizar un análisis de series temporales o de apilamiento para resolver bajas tasas de fluencia inferiores a aproximadamente 5[mm/año], y la resolución temporal generalmente está limitada por la cadencia de las adquisiciones SAR. Los autores resaltan que las tasas de fluencia reportadas a lo largo de la falla del sur de San Andrés son variables dependientes de la ubicación, así como las escalas espaciales y temporales de las observaciones ya que las mediciones más recientes de ERS InSAR de las tasas de fluencia para el período de tiempo entre los terremotos de 1992 Landers y la mina Mina Héctor tienen valores significativamente más altos, la falta de coincidencia entre esos valores modernos más altos de las observaciones de InSAR y los valores más bajos anteriores podrían ser errores causados por las mediciones de la escala del LOS² del satélite ERS³ en el movimiento horizontal de deslizamiento sin poder determinar la señal vertical a través de la falla. El procesamiento InSAR y la estimación de la tasa de fluencia la realizaron utilizando GMTSAR, un paquete software que utiliza herramientas de mapeo genérico (GMT), los interferogramas se filtraron con el filtro Gaussiano a una longitud de onda de 100[m] y luego realizaron el desenvolvimiento de fase con SNAPHU⁴. El error troposférico se redujo mediante el apilamiento combinado con una corrección dependiente de la elevación. Los errores residuales de longitud de onda larga, lo corrigieron utilizando un modelo de velocidad GPS. En el procesado descompusieron las velocidades LOS en direcciones verticales y paralelas a las fallas. La tasa de fluencia y la incertidumbre estimaron retrocediendo linealmente los datos en cuadros de 2 (perpendicular a la falla) por 4 km (paralelo de falla). Dado que los datos de ERS solo tienen una dirección de búsqueda, primero proyectaron las mediciones de nivelación vertical que estaban disponibles en cinco posiciones (Painted Canyon, Box Canyon, North Shore, Corvina Beach y Bat Caves) junto con este segmento en la dirección descendente de LOS. Luego los restaron de las mediciones de InSAR y proyectaron los resultados nuevamente en la dirección paralela a la falla. Realizaron el reanálisis de 25 años de datos InSAR para examinar las variaciones espaciales y temporales en la velocidad de fluencia. Llegando a concluir que el aumento considerable en la tasa de fluencia promedio después del terremoto de Landers de 1992 y una disminución de 2 a 7 veces en velocidad de desplazamiento desde el marco temporal de ERS hasta el presente, calcularon los cambios de estrés de Coulomb asociados con los grandes terremotos que rodean la SSAF (Falla) y considerar las interacciones entre cuasiestático y procesos dinámicos y sus implicaciones para el comportamiento de fluencia de falla observado. El artículo concluye en que análisis de espacio y las técnicas geodésicas terrestres durante las próximas décadas permitirán un mayor refinamiento de estas variaciones en escalas de

²LOS, line of sight. Línea de visión única.

³European Remote Sensing Satellite (ERS)

⁴SNAPHU, Statistical-Cost, Network-Flow Algorithm for Phase Unwrapping

tiempo que van desde días hasta décadas. Las observaciones actuales de la tasa de fluencia de fallas y el estrés inferido proporcionarán casos de prueba críticos para comprender las condiciones de la zona de falla cerca de la superficie y la dinámica de escalada de fallas a múltiples escalas.

3 Wei, Matt Sandwell, David Fialko, Yuri Bilham, Roger. (2011). Slip on faults in the Imperial Valley triggered by the 4 April 2010 Mw 7.2 El Mayor-Cucapah earthquake revealed by INSAR. Geophys. Res. Lett. 38. 10.1029/2010GL045235.

El objetivo de la investigación fue documentar el deslizamiento de la superficie de múltiples fallas en el Valle Imperial, una región de Estados Unidos, ubicada al sur de California, asociado con el terremoto “Mayor-Cucapah” de 7.2 Mw, ocurrido el 4 de abril de 2010, usando imágenes de interferometría de radar de los satélites ENVISAT y ALOS, estudios de campo y datos de creepmeters. Los datos SAR (Radar de Apertura Sintética) fueron procesados con GMT-SAR, un paquete software que utiliza herramientas de mapeo genérico (GMT). Obtuvieron mejores medidas de deslizamiento, menos ruidosas y con mayor retrodispersión con datos de la banda C de 5.6 [cm] de longitud de onda, del satélite ENVISAT, que ALOS de banda L de 23.6 [cm] de longitud de onda, especialmente en áreas secas del lecho de un lago, cercano a un área de falla. Usaron datos ALOS donde los datos ENVISAT ascendentes o descendentes no se encontraban disponibles además utilizaron datos descendentes de ALOS y datos descendentes de ENVISAT para distinguir la activación horizontal de las compensaciones verticales en la falla de San Andrés. Para mantener la resolución espacial, todos los procesamiento se realizaron en coordenadas de radar usando un filtro gaussiano con ganancia de 0.5 a 100 [m] de longitud de onda. A lo largo de cada falla, donde identificaron deslizamientos con datos InSAR, extrajeron perfiles de fase en varias ubicaciones de las mayores compensaciones. Cada uno de los perfiles mide 400 metros de ancho y 4 km de largo. Estimaron el desplazamiento como la diferencia entre el valor máximo y mínimo de la mejor curva de ajuste dentro de los 200 m de una falla. Buscaron grietas a lo largo de un área estudiada entre la sede de Salton Sea Park y Bat Cave Buttes donde los interferogramas muestran pequeñas discontinuidades de fase, y donde tres creepmeters también indica deslizamiento significativo (5 mm). La búsqueda de grietas frescas fueron guiadas por la alta resolución topográfica de imágenes LiDAR (resolución de 0.5 [m]) de la traza de falla. En general, la consistencia entre deslizamiento determinada por InSAR y las mediciones de campo con excepciones menores mostraron que InSAR es una herramienta útil para medir fallas a escala de centímetros. El deslizamiento determinado por InSAR es en promedio 50% más grande que el deslizamiento determinado a partir de mediciones de campo, lo que podría significar que una fracción de la deformación se

encontraba lejos del rastro principal.

4 Wei, Matt Sandwell, David Fialko, Yuri. (2009). A silent Mw 4.7 slip event of October 2006 on the Superstition Hills fault, southern California. J. Geophys. Res. 114. 10.1029/2008JB006135.

El artículo tuvo tres objetivos. El primero fue estimar la magnitud y profundidad de la fluencia a lo largo de la Falla Superstition Hills (SHF) asociado a los movimientos lentos de octubre de 2006, mediante el uso de pilas de imágenes SAR con el fin de: 1) demostrar que el deslizamiento se localiza en una traza de falla estrecha; 2) medir las variaciones a lo largo del deslizamiento en el arrastre de falla; 3) invertir en dirección a la profundidad del deslizamiento lento ocurrido. El segundo objetivo fue documentar el historial de deslizamiento del SHF durante un intervalo de tiempo largo, que abarca desde 1992 hasta 2007 y comparar esas mediciones InSAR con mediciones de campo del registro de deslizamiento lento a largo plazo. El tercer objetivo fue probar un modelo de fluencia de dos capas para deslizamiento asísmico⁵ en el SHF. Realizaron pruebas de campo después del evento del 6 de octubre de 2006 para caracterizar pequeñas grietas en la superficie. Los datos de InSAR del satélite ERS-1/2 que cubren un período de tiempo de más de 15 años limitan la tasa de fluencia a largo plazo de la falla de Superstition Hills y 2 años de datos de Envisat limitan el desplazamiento durante el evento de octubre de 2006. Ambos datos ERS-1/2 y Envisat, fueron recopilados por la Agencia Espacial Europea y obtenidos a través del archivo del Consorcio de Radar de Apertura Sintética Interferométrica de Norteamérica Occidental (WInSAR). Con los datos ERS-1/2, procesaron dos cuadros, 2925 y 2943, juntos para estimar mejor el error de longitud de onda larga. Los datos de Envisat se utilizan para obtener imágenes del evento de fluencia de 2006 (pista ascendente 77, cuadro 657; pista descendente 356, cuadro 2943). Los datos de InSAR fueron procesados usando el software SIOSAR, usaron datos SRTM⁶ para eliminar el efecto topográfico. La deformación a lo largo del extremo más meridional del SHF no lo recuperaron completamente porque todos los interferogramas presentaron decorrelación en las áreas agrícolas de el Valle Imperial. Con la combinación de GPS e InSAR caracterizaron la deformación de la superficie, llegando a estimar deslizamiento versus profundidad. Usaron un método de eliminación y restauración para combinar GPS e InSAR junto con el apilamiento para minimizar los errores de InSAR. Realizaron modificaciones al procesamiento estándar de InSAR la cual consistió en lo siguiente: (1) obtener la diferencia de fase del modelo de línea de visión (LOS) del modelo de velocidad

⁵Deslizamiento entre las placas que ocurre tan lentamente que no produce sismos, pero que sí relaja los esfuerzos tectónicos, por lo que disminuye las probabilidades de que se produzcan los fuertes. También llamado terremoto lento.

⁶Shuttle Radar Topography Mission

SCEC⁷ (SCEC) y obtuvieron un mapa en coordenadas de radar; (2) calcular la dispersión de amplitud de todas las imágenes SAR alineados para usarlo como una función de peso para el filtrado espacial de los interferogramas; (3) aplicar filtrado paso bajo a cada interferograma de una sola mirada utilizando un filtro gaussiano con una ganancia de 0.5 a una longitud de onda de 100 m; (4) apilar el residuo de fase de los interferogramas y eliminar la superficie plana de la pila; y (5) restaurar la fase LOS desde el modelo de velocidad SCEC. Analizaron el desplazamiento a lo largo de la falla primeramente comparando el deslizamiento de falla medido con el interferograma apilado descendente, cubriendo un período de tiempo de 2 años con datos medidos en campo. El resultado de InSAR fue consistente con la medición de campo para los eventos de deslizamiento en 1999 y 2006, que respalda la validez del método. Muchos de los deslizamientos inferidos de las mediciones de InSAR para el evento de 1999 fue significativamente mayor que el deslizamiento reportado de las mediciones de campo, probablemente porque la zona de deformación era más ancha que las grietas vistas en el campo, o desplazamiento adicional ocurrió poco después de las medidas hechas en campo. Dividieron el deslizamiento promedio a lo largo de la falla SHF para cada interferograma por el intervalo de tiempo del interferograma, para asegurarse de que el resultado representará el deslizamiento promedio, excluyeron los interferogramas con un intervalo de tiempo menor a 2 años. Por lo general, es necesario apilar varios interferogramas para reducir el error atmosférico. Sin embargo, para el propósito de los autores, el error atmosférico fue insignificante porque la señal de fluencia se encontraba dentro de 1 km de la falla y los cambios en la contribución atmosférica no eran típicamente grandes en esa escala de longitud. Al usar InSAR, detectaron al menos tres eventos de deslizamiento. El evento de fluencia en 1992 fue provocado por el terremoto Landers, el evento en 1999 fue provocado por el terremoto de Héctor Mine, y el evento de 2006 no tuvo un mecanismo de activación obvio. La máxima tasa de deslizamiento superficial en el SHF fue de aproximadamente 10 [mm / a] entre 1992 y 2007, y el desplazamiento máximo de la superficie debido al evento de 2006 fue de aproximadamente 27 [mm]. Tanto el evento de fluencia de 2006 como el deslizamiento a largo plazo, que incluyeron varios eventos de desplazamiento lento, tuvieron un deslizamiento máximo en la superficie y decayó a cero a una profundidad de 2 a 4 [km], donde el grosor del sedimento varía entre 3 [km] y 5 [km]. La fluencia superficial fue controlada por la profundidad de los sedimentos, tal vez debido a las altas presiones de poro en los sedimentos no consolidados.

⁷Southern California Earthquake Center

**5 Lyons, Suzanne Sandwell, David. (2003).
Fault Creep along the Southern San Andreas
from Interferometric Synthetic Aperture Radar,
Permanent Scatterers, and Stacking. J. Geo-
phys. Res. 108. 10.1029/2002JB001831.**

En el artículo los autores realizan un práctico mapeo de arrastres a lo largo de fallas principales de deslizamiento utilizando la técnica Radar de Apertura Sintética Interferométrica (InSAR). Utilizaron dos enfoques para extraer la señal de fluencia de falla con 37 imágenes SAR del satélite ERS, a lo largo de la falla del sur de San Andrés. Utilizaron el apilamiento de amplitud para identificar dispersores permanentes, que luego se utilizaron para ponderar el interferograma antes del filtrado espacial. En segundo lugar, la fase sin envolver lo apilaron para reducir el ruido troposférico y otros ruidos de onda corta. Este procesamiento combinado permitió recuperar la señal de deslizamiento a través de la falla debido a la fluencia superficial. Los mapas de desplazamiento de 60 interferogramas revelaron una acumulación de tensión difusa. La formación de interferogramas generalmente implica los siguientes pasos: multiplicación cruzada del aspecto único alineado imágenes SAR complejas; eliminación de todos los efectos de fase conocidos debido a la curvatura de la Tierra, la topografía, la geometría orbital, etc.; y el filtrado de múltiples vistas de la parte real e imaginaria del interferograma para aumentar la relación señal-ruido. En lugar de aislar los dispersores permanentes utilizando un umbral y tratarlos como una serie de puntos conocidos, modificaron el paso de filtrado utilizando la función de dispersión en cada píxel. Multiplicaron partes reales y partes imaginarias de cada píxel por el dispersor funcional de cada píxel y luego filtraron cada componente con un filtro gaussiano orientado aproximadamente a lo largo de la falla, de modo que el ancho del filtro a lo largo de la falla, $\sigma_{par}(\lambda_{0.5} = 285[m])$, fuera mayor que el ancho del filtro perpendicular a la falla, $\sigma_{perp}(\lambda_{0.5} = 84[m])$. Los píxeles con valores bajos de dispersión recibieron más "confianza" y ponderado más que aquellos con alta dispersión antes del filtrado espacial del interferograma. La ponderación aumenta las partes reales e imaginarias de la amplitud de áreas estables antes del filtrado, pero no altera la fase del píxel. Realizaron una comparación de interferogramas para ilustrar la mejora cualitativa en recuperación de fase utilizando el método de ponderación y filtrado versus el uso de métodos interferométricos normales, el interferograma prueba abarca 3,5 años e incluye el terremoto de Landers. El interferograma estándar uso la técnica de filtrado gaussiano casi isotrópico ($\lambda_{0.5} = 84[m]$ acimut, $\lambda_{0.5} = 105[m]$ de alcance del suelo). Los bordes marginales fueron rugosos y altamente pixelados. El interferograma después de ponderar los componentes de amplitud por el cuadrado del índice de dispersión y con el filtro gaussiano orientado a lo largo de la falla, las franjas en el interferogramas fueron áreas mucho más definidas y más coherentes que antes, además que el patrón marginal fue casi continuo a través de la falla, con una menor pixelación. Para buscar evidencia de deslizamiento activado a

lo largo del segmento de la falla de San Andrés debido a los sismos de Landers y la mina Hector, dividieron el conjunto de interferogramas en tres períodos de tiempo: a) Landers (1992–96); b) intersísmico (1993–1999) y Mina Hector (1997–2000). Doce interferogramas abarcaron más de un período de tiempo, por lo que no lo usaron en las pilas. El modelo de velocidad SCEC (Southern California Earthquake Center) se agregó a cada pila antes de modelar. Para la pila de Landers, utilizaron cuatro interferogramas abarcando tanto el terremoto como tres años y medio de movimiento postseísmico (22 de abril de 1992 al 10 de febrero 1996). La velocidad promedio de la línea de visión (LOS) durante ese período de 3.5 años indicó movimientos de línea de visión (LOS) de 5 [mm/año] (lejos del satélite o noroeste) y 5 [mm/año] LOS (hacia el satélite o sureste). El brusco salto a través de la falla indicó que algunas secciones de la falla con deformación irreparable experimentaron deslizamientos durante el terremoto de Landers, mientras que otras regiones a lo largo de la falla se bloquearon en la superficie. Para conocer de forma más cuantitativa la distribución espacial del deslizamiento a lo largo de la falla, extrajeron 38 perfiles a través de la región de falla. Debido a que la fluencia parecía variar en magnitud de noroeste a sureste, dividieron los perfiles en seis grupos, estos grupos de perfil los usaron para modelar el movimiento de la falla en profundidad. Para áreas de decorrelación en los interferogramas, el uso de los dipensores permanentes mejoró ligeramente la coherencia, la cual aumentó el área donde se puede desenvolver la fase. Como la pila de interferogramas es la unión de la fase desenvuelta de los elementos, ligeras mejoras en coherencia puede conducir a mejoras significativas en la pila. Al realizar un promedio en el multilook mejora la coherencia, pero esto reduce la resolución espacial de los mapas de desplazamiento de LOS. Cerca del Mar de Salton, encontraron evidencia de desencadenamiento de deslizamientos a lo largo de toda la sección de la falla San Andrés debido al terremoto de Landers de 1992, en el extremo sureste de la falla, encontraron una región descargada (evacuado) cerca del canal de Coachella que parece ser causado por la eliminación excesiva de agua subterránea a lo largo de la sección del canal.

6 Sandwell, David Price, Evelyn. (1998). Phase gradient approach to stacking interferograms. Journal of Geophysical Research. 103. 30183-30204. 10.10291998JB900008.

La publicación se centró en el estudio del gradiente de fase, la cual es usada para construir promedios y diferencias en los interferogramas sin realizar el desenvolvimiento de la fase, con ello se aumenta la claridad de las franjas del interferograma y se disminuyen los errores debidos al retraso troposférico e ionosférico promediando varios interferogramas. La suma de interferogramas puede generar mapas topográficos de alta resolución mientras que las diferen-

cias de interferogramas pueden revelar deformaciones tectónicas y alteraciones atmosféricas-ionosféricas. El aspecto más importante del gradiente de fase radica en que el gradiente de fase es debido a las escalas de topografía con la línea de base perpendicular y ese gradiente de fase suele ser una función continua de y (acimut) y x (rango), mientras que la fase envuelta consta de muchos saltos de 2π . Debido a estas propiedades, los gradientes de fase se pueden escalar y sumar sin desenvolver la fase, lo cual es notoriamente difícil cuando la relación señal-relación (SNR) es baja o cuando hay discontinuidades de fase debido a la escala, el sombreado o el desplazamiento en las fallas. En la investigación se seleccionaron seis cuadros de la misión Tándem, se promedió y diferencio seis interferogramas que tienen un conjunto de líneas de base perpendiculares que van de 18[m] a 406[m], el área de estudio fue el sitio del terremoto de Landers de 1992, seleccionaron el área debido a la superficie seca, la cual es ideal para retener una alta correlación en la interferometría de paso repetido. Cinco imágenes esclavas se alinearon en rango, azimut a una sola imagen maestra para poder construir interferogramas a partir de cualquier pareja. Los interferogramas formados podían contener ruido de fase significativamente, especialmente por el tiempo largo de separación entre las imágenes esclavas y la maestra o por la existencia de interrupciones en la superficie de la vegetación o la presencia de humedad. Diseñaron un filtro de convolución que es casi isotrópico en las coordenadas de rango de terreno y azimut, con un ancho de filtro en rango de 8[m] y 16[m] en azimut que corresponde a un 0.5 de ganancia a una longitud de onda de 42[m] de alcance (105[m] de tierra) y 84[m] en azimut. El filtro tuvo una dimensión de 5 píxeles en rango y 17 píxeles en acimut, la operación de gradiente siguió el filtro gaussiano de paso bajo. Para evitar el problema de cobertura diseñaron un filtro derivado, usando el método de Parks-McClella, un algoritmo iterativo para encontrar el filtro óptimo de respuesta de impulso finito (FIR) de Chebyshev, filtro implementado en la caja de herramientas de procesamiento de MATLAB. Después del filtrado y la diferenciación, los gradientes de fase fueron diezmos⁸ por 2 píxeles en el rango y 4 píxeles en azimut que reflejan las longitudes de onda de corte del filtro gaussiano. Finalmente eliminaron las estimaciones de gradiente de fase donde la velocidad de fase excedió 1.2 rad por pixel y donde la correlación fue menos de 0.2. Esto eliminó áreas de decorrelación temporal y de escalas. Para tres pares Tándem la correlación fue alta, la correlación fue menor para los otros tres interferogramas, especialmente en la parte sur del área que contiene las montañas de San Bernardino con vegetación. Los resultados, para la época, sugirieron que el gradiente de fase es una buena forma de tratar a los interferogramas de ERS. Para comprender mejor el enfoque de gradiente, se sugiere completar: a) Análisis de más de 20 imágenes repetidas en lugar de solo 6; b) eliminar tanta señal conocida como sea posible antes de filtrar el interferograma, esto podría hacerse usando un modelo digital de elevación con baja resolución, así se podría estimar de forma más precisa la correlación, errores menores debido a diferenciación numérica, retener los datos de velocidad alta de fase en las montañas, y más exacto el desenvolvimiento de fase en longi-

⁸Diezmado, que consiste en eliminar 1 de cada M muestras consecutivas.

tudes de onda largas y cerca de los bordes del área;c)Investigar más a fondo los efectos de la escala en la recuperación topográfica de gradientes de fase apilados. La escala es un problema particularmente difícil porque siempre elimina datos del mismo signo; la escala es un problema particularmente difícil porque siempre elimina datos del mismo signo; esto afecta el enfoque de desenvolvimiento de la fase de Fourier;d)Diseñar un filtro posterior al apilamiento que muestre el ruido del interferograma residual.Debido al análisis de coherencia se sugiere que incluso interferogramas muy ruidosos contienen alguna información en longitudes de onda largas,esto podría recuperarse después de la eliminación cuidadosa de la señal topográfica seguido de un filtro de paso bajo;e)explorar una larga serie de interferogramas de diferencia para aislar los tres tipos de señales temporales (es decir, solo evento, evento gradual y cambio secular);finalmente ,e)dado que siempre habrá residuo orbital residual y error atmosférico a nivel de centímetro ,si se deseara observar cambios a nivel milimétrico, se puede complementar el estudio usando mediciones GPS de deformación del suelo y retraso atmosférico-ionosférico para corregir los interferogramas.Con las pruebas realizadas en el artículo concluyeron que el desenvolvimiento de fases sigue siendo un problema importante, que los autores resolvieron eliminando primero todas las señales conocidas de los mapas de fase y luego apilaron tantos datos como sea posible para proporcionar estimaciones completas 2-D del gradiente de fase,aunque todavía no se sabe cómo lidiar con zonas de escala,los interferogramas pueden resolver características con longitudes de onda superiores a 200 m, InSAR proporcionará la mayor cantidad de información útil en la banda de longitud de onda de 200 a 20,000 m.Se sugiere tener varias imágenes repetidas de varios años para ganar algo de confianza en el enfoque general.