
Series Temporales Interferométricas PSI - SBAS

6.1. Persistent Scatterer Interferometry (PSI)

Para comenzar con el procesamiento de series temporales en el caso específico de Persistent Scatterer Interferometry (PSI), se seleccionaron celdas que tuviesen un índice de amplitud hasta 0.4 (umbral explicado en la sección metodología 3.1.3). Considerando la dimensión de cada uno de los interferogramas (5100 filas y 1500 columnas en formato SLC) se definió solamente la utilización de un parche para realizar los procesos de identificación y selección de celdas¹.

Parámetro	Valor
Índice de Dispersión - amplitud	0.4
Parches en Rango	1
Parches en Acimut	1

Tabla 6.1: Parámetros iniciales de STaMPS/MTI para comenzar con el procesamiento de series temporales - Persistent Scatterer (PS).

En esta primera etapa, que consiste en el análisis de los valores de amplitud de los datos, se identificaron 2201401 celdas con valores por debajo del umbral establecido.

Como se puede apreciar en la tabla 6.2, posteriormente se determinaron una serie de parámetros que apuntan a la identificación y selección de una cantidad de píxeles que posean los valores de fase con una mayor correlación espacial y estabilidad en la dimensión temporal. En este caso específico, la definición de los parámetros estuvo dada por un contexto general de bajos valores de coherencia y su concentración parcial que predominantemente se encuentra en ciertas áreas cercanas al centro del cordón volcánico.

¹En STaMPS/MTI, para desarrollar los procedimientos de identificación y selección de celdas de forma más eficiente considerando los recursos informáticos disponibles, existe la opción de subdividir en una serie de matrices el conjunto de interferogramas definidos.

Parámetro	Valor
DEM	SRTM 3 arco-segundos
Error máximo del DEM	5
Tamaño de grilla para filtro de fase combinado	100 m
Tamaño de ventana de Filtro de paso combinado	64
Densidad espacial máxima de celdas con fase aleatoria por km^2	25
Umbral de desviación estándar de los valores de fase	1
Umbral para el ruido máximo de fase permitido para una celda	inf
Ventana filtrado en tiempo - distribución de ruido de fase	730 (días)
Ventana Filtro de Goldstein	32
Tamaño de grilla - Unwrapping	200
Tamaño de ventana en tiempo - Unwrapping	730 (días)
Lista de interferogramas no incluidos - Unwrapping	[5 6]

Tabla 6.2: Parámetros usados para la selección de celdas desarrollado por STaMPS/MTI, en el caso de Persistent Scatterer Interferometry (PSI).

En primera instancia, en lo que respecta a la estimación del ruido de fase, se determinó en función de los valores de los parámetros que trae por defecto STaMPS/MTI², ampliar la dimensión de la grilla y la ventana del filtrado relacionadas con la correlación espacial de los datos. Con esto, el margen espacial de identificación de términos correlacionados en esta dimensión aumentó (Sección Metodología, ecuación 3.10), determinando así una mayor inclusión de pequeños grupos de celdas aislados por valores ruidosos. Cabe destacar que para efectos de control a nivel de celdas específicas, se mantuvo el valor por defecto del parámetro de máximo error del DEM, que minimiza la influencia de éste sobre los resultados obtenidos.

En función del aumento del margen espacial aplicado en el paso anterior, para el proceso de selección se determinó un amplio umbral de densidad espacial de celdas. De esta forma, se flexibilizó el proceso de selección aumentando el número de celdas en la re-estimación de los valores de fase para cada celda referencial, lo cual disminuiría la cantidad de celdas aisladas, requisito básico para desenrollar la fase en la dimensión del espacio de una forma adecuada.

Para controlar esta flexibilización y eliminar el conjunto de celdas con valores muy ruidosos, se mantuvo el umbral de la desviación estándar asociado a la eliminación de valores ruidosos entre celdas vecinas.

Al finalizar este proceso, el número de celdas que fueron finalmente seleccionadas corresponden a 12524, las cuales se pueden apreciar en la figura 6.1 en valores de fase enrollados. Cabe señalar, que debido al bajo número de celdas finalmente seleccionadas, se aumentó la dimensión de éstas (pixel spacing), para mejorar la visualización de los datos en las figuras respectivas.

²Los parámetros específicos que trae por defecto STaMPS/MTI, están incluidos en el Apéndice A.

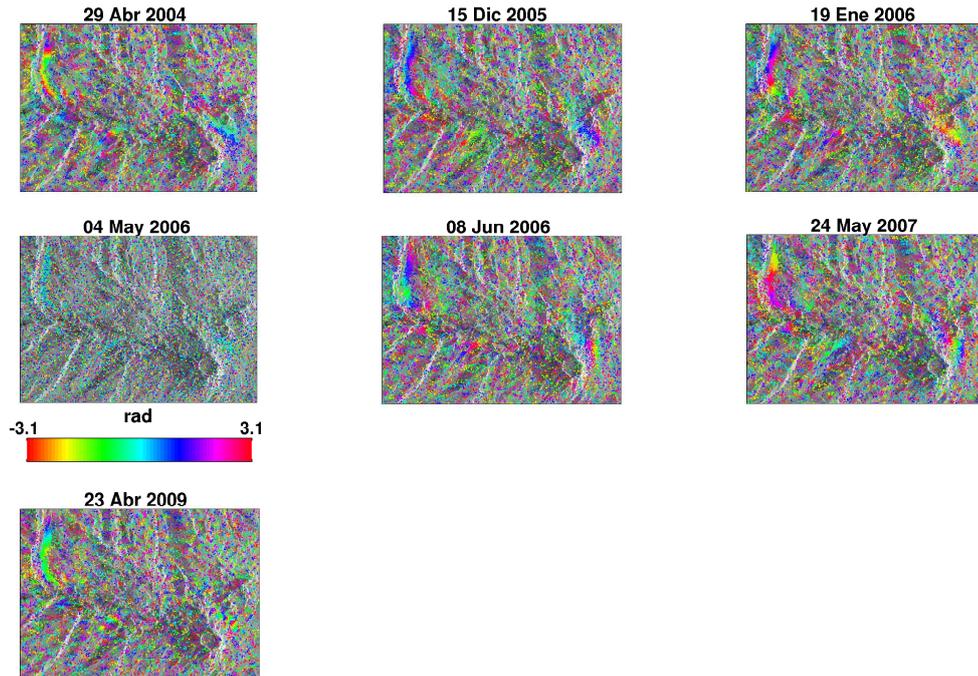


Figura 6.1: Valores de fase enrollados ($-\pi - \pi$) para Persistent Scatterer Interferometry (PSI), en coordenadas SAR.

En cuanto a la etapa de desenrollamiento de fase, en la dimensión del espacio se mantuvieron el tamaño de grillas y ventanas de filtrado que trae por defecto el software. En lo que respecta a parámetros relacionados con la dimensión del tiempo, se aumentó el intervalo temporal del filtrado de Gauss entre celdas vecinas a 730 días, para disminuir la influencia de artefactos atmosféricos característicos del área de estudio y de forma adicional porque en base a los resultados de Pritchard y Simons (2004), la tasa de deformación en el área de estudio, varió en intervalos de 2 años aproximadamente.

En la serie temporal desenrollada (figura 6.2) por el algoritmo 3D de STaMPS/MTI, menos los errores SCLA, AOE y las rampas de fase³, con base acumulativa en la imagen correspondiente al 29 de Abril del año 2004, se puede identificar parcialmente un proceso de deformación dominante en el centro del complejo volcánico durante el periodo comprendido por los datos. Por convención, en STaMPS/MTI, cuando la imagen maestra se encuentra antes que la imagen esclava (en tiempo), los valores positivos indican un vector en sentido contrario a la plataforma.

Cabe destacar, que como se muestra en la lista de parámetros mencionada (tabla 6.2), se eliminaron del proceso de Unwrapping los interferogramas N°5 y N°6 (Selección de interferogramas PSI, tabla 5.1). La razón por la cual no se les consideró en este proceso se debe fundamentalmente a que en zonas periféricas del cordón volcánico, sus valores sobrepasaron el módulo 2π en tiempo, alterando los valores finales de velocidad promedio en la LOS. Debido a esto, se estima que en la dimensión del tiempo existen problemas metodológicos en lo que respecta a la sustracción de los artefactos atmosféricos existentes.

³Los cuales se pueden ver cada uno en el Apéndice B - Sección PSI.

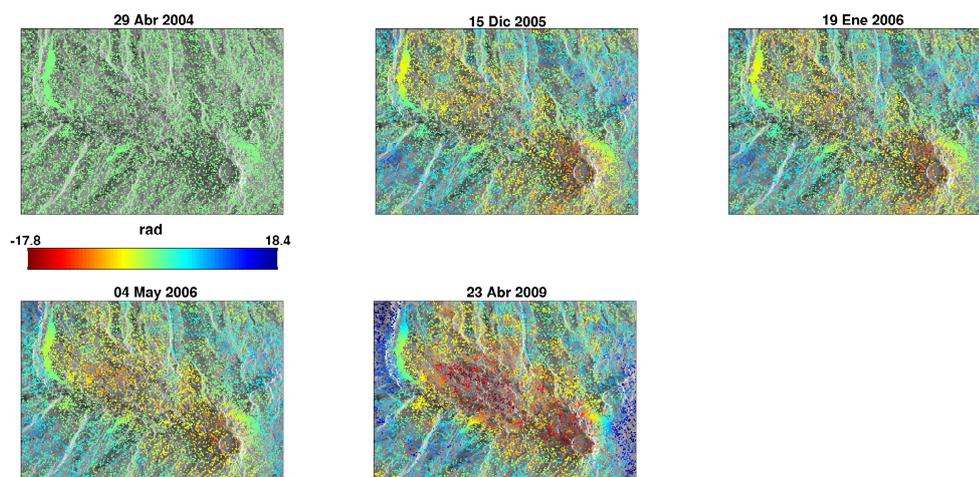


Figura 6.2: Interferogramas desenrollados, menos los errores asociados al SCLA, al AOE y las rampas de fase, en coordenadas SAR.

En cuanto a la velocidad de deformación promedio en la LOS, las celdas que presentaron los valores mas altos hacia la plataforma están localizadas principalmente en el centro del cordón volcánico, alcanzando hasta 16.3 mm/año; por otra parte, en áreas localizadas al noreste y suroeste (sectores en donde existen preferentemente altas pendientes), se registraron velocidades promedio en sentido contrario hasta los -18.7 mm/año. Resulta importante considerar, que dada la dimensión del área común abarcada, no se tienen puntos de control localizados en zonas que no hayan presentado deformación, por lo que los valores obtenidos son solo referenciales a dicha área.⁴

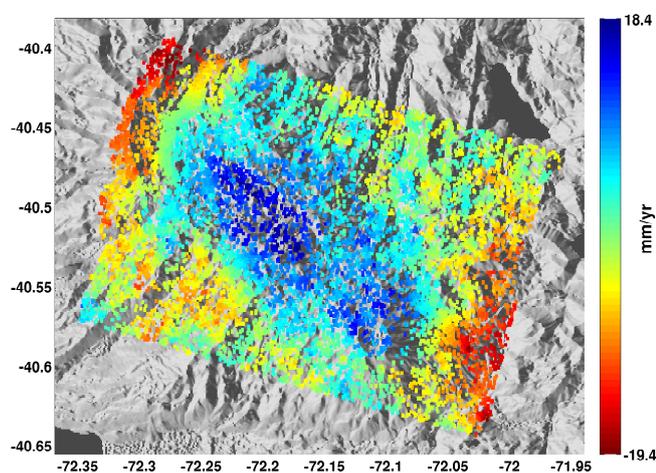


Figura 6.3: Velocidad promedio en la LOS entre el 29 de abril del año 2004 y el 23 de Abril de 2009 para Persistent Scatterer Interferometry (PSI), menos los errores asociados al SCLA y al AOE, en coordenadas geográficas.

⁴Stamps/MTI por convención, en lo que respecta a las velocidades, los valores positivos indican un vector de desplazamiento hacia al satélite; y por el contrario, valores negativos indican un alejamiento de la plataforma.

En los gráficos que se presentan a continuación, se pueden visualizar los comportamientos particulares para cada una de las celdas específicas en la dimensión del tiempo. Los valores de la serie temporal están representados por el símbolo ∇ , la deformación promedio calculada en base a mínimos cuadrados por la línea roja, y por último los umbrales de confianza de los resultados por la línea verde en el módulo 2π . Adicionalmente en la parte superior, están los valores de las líneas de base perpendiculares de cada uno de los interferogramas incluidos en esta etapa final del proceso.

En lo que respecta al gráfico 6.4, en consideración del submuestreo de datos en tiempo (baja cantidad de interferogramas finalmente ocupados) se puede apreciar una simetría en lo que respecta a las velocidades registradas, las cuales muestran parcialmente un proceso de inflación que de forma predominante se desarrolla en el centro del cordón volcánico.

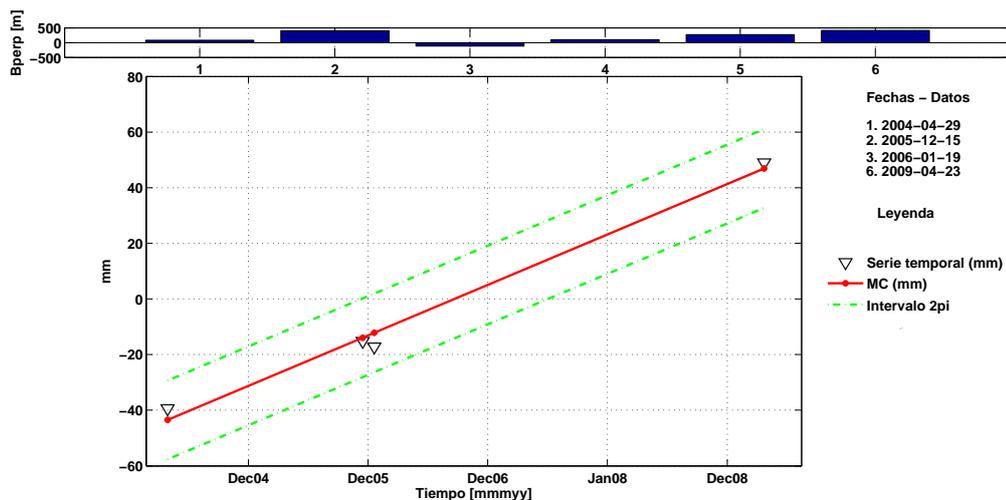


Figura 6.4: Valores de la serie temporal de deformación de la celda con coordenadas geográficas $-72,174$ Longitud O y $-40,526$ Latitud S.

En los depósitos de lavas con data del año 1921, que fueron una de las zonas que presentaron los valores de coherencia más altos en términos comparativos, como se puede apreciar en el gráfico 6.5, los resultados indican que potencialmente pertenecería al área que presenta mayor estabilidad en el tiempo, no presentándose una tendencia clara de una deformación constante.

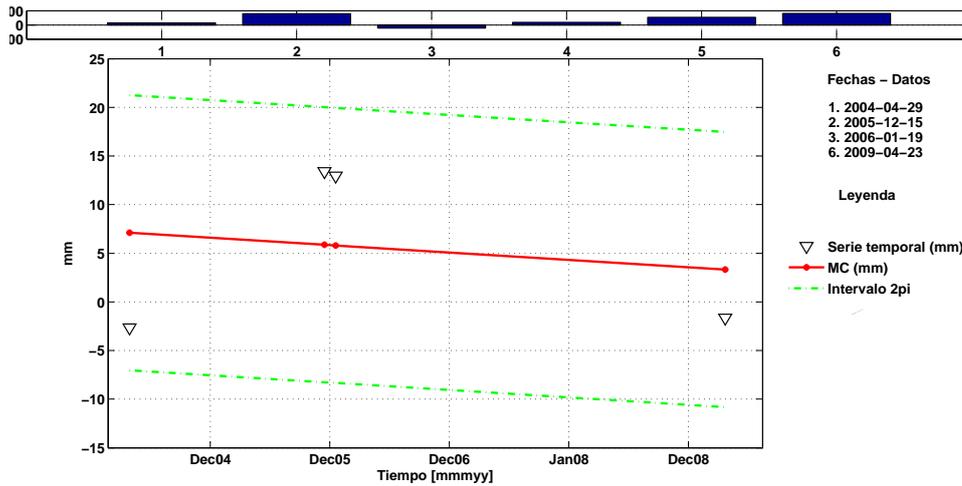


Figura 6.5: Valores de la serie temporal de deformación de la celda con coordenadas geográficas $-72,258$ Longitud O y $-40,437$ Latitud S.

Por otro lado, el gráfico 6.6, muestra los resultados obtenidos en una celda que está localizada al sureste de la caldera del volcán Puyehue. Específicamente, estos resultados describen de forma aparente un proceso de subsidencia que se ha desarrollado en dicha área. Debido básicamente, al área común seleccionada (como se ha planteado anteriormente), y al bajo número de celdas e interferogramas seleccionados, no se obtuvo una explicación conclusiva del proceso que generaría estos valores. Se estima a priori, que dada su localización (áreas de fuertes pendientes) y la ausencia de coberturas vegetacionales, pueden ser fenómenos locales, como por ejemplo deslizamientos de terreno. Por ende, dado este contexto, es necesario realizar procesos de validación para poder confirmar las tendencias descritas ⁵.

área descubierta de vegetación y de altas pendientes, y por otro lado a los parámetros utilizados como la dimensión de la grilla de filtrado de elementos espacialmente correlacionados (realizado en el análisis de fase), se va dificultando aún más

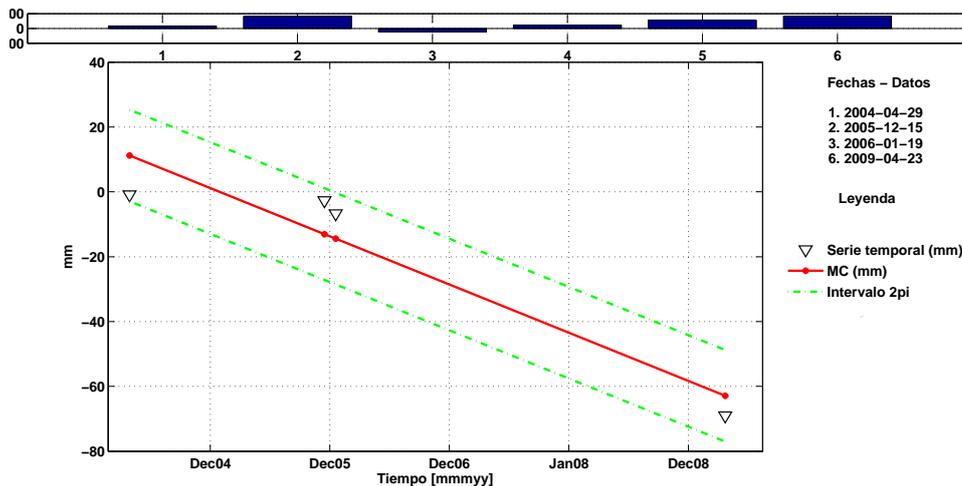


Figura 6.6: Valores de la serie temporal de deformación de la celda con coordenadas geográficas $-72,037$ Longitud O y $-40,590$ Latitud S.

⁵Cabe señalar, que sólo se tienen antecedentes que un proceso de inflación en el área.

El área periférica del cordón volcánico, presentó los valores con la mayor irregularidad o asimetría en la serie temporal. En el gráfico 6.7, se puede apreciar un ejemplo del comportamiento de los valores de la serie en una celda localizada al noreste del área de estudio, en donde existen fundamentalmente coberturas vegetacionales con una alta densidad. Se asume que este tipo celdas han sido seleccionadas porque existe una relación directa entre el valor que adquiere γ como indicador de estabilidad de fase y el número de interferogramas utilizado (Sección Metodología - ecuación 3.14). A menor cantidad de interferogramas, el indicador tiende a ser mayor, por lo que dependiendo del valor de corte (el cual, al haber una gran cantidad de celdas ruidosas, probablemente es bajo) la celda fue seleccionada sin tener valores de fase estables.

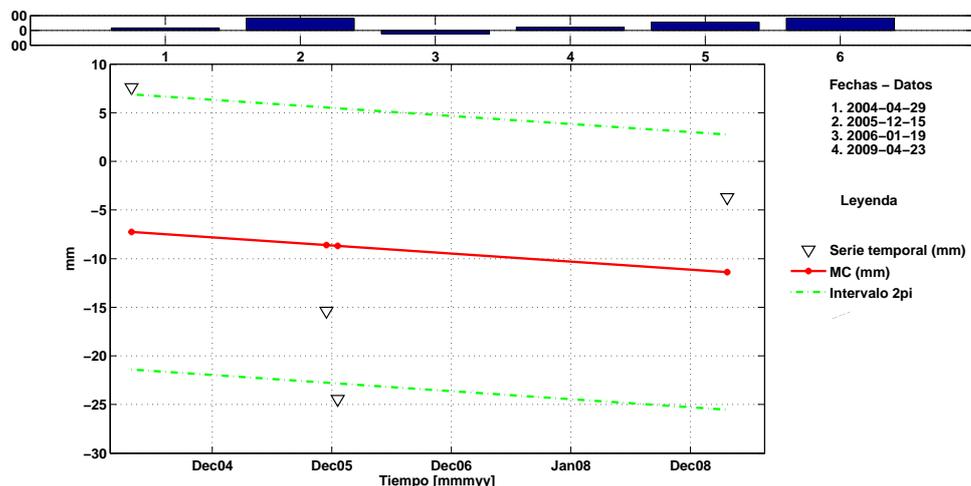


Figura 6.7: Valores de la serie temporal de deformación de la celda con coordenadas geográficas $-72,098$ Longitud O y $-40,480$ Latitud S.

6.2. Small Baseline Subset (SBAS)

6.2.1. SubConjunto N°1

Para el caso del procesamiento de series temporales para el primer subconjunto SBAS, en base a lo planteado en la metodología (3.1.3) el valor del umbral del D_A ocupado corresponde a 0.6 (ver tabla 6.3). Adicionalmente, al igual que en el caso anterior, no se subdividió en sub-matrices el área abarcada por los interferogramas seleccionados.

Parámetro	Valor
Índice de Dispersión - amplitud	0.6
Parches en Rango	1
Parches en Acimut	1

Tabla 6.3: Parámetros iniciales STaMPS/MTI para Small Baseline Subset (SBAS) - Subconjunto N°1.

En primera instancia, en lo referente a los resultados alcanzados por el análisis de los valores de amplitud de los datos, se identificaron 3061364 de potenciales candidatos a celdas SDFP.

Cabe recalcar, que este procesamiento no sólo se diferencia del algoritmo PSI, por incorporar a la realización de interferogramas umbrales de selección en lo que respecta a línea de base espacial, línea de base

temporal y diferencias de frecuencias de centroides doppler; adicionalmente todos los interferogramas diferenciales son filtrados en el espectro del rango, lo cual minimiza la decorrelación, descartando así la no superposición de frecuencias Doppler en acimut. Debido a esto, se esperó una baja importante en la cantidad de celdas seleccionadas dadas las propiedades descritas de los datos utilizados en los capítulos anteriores. En la tabla 6.4, se pueden apreciar la serie de valores otorgados a los distintos parámetros en lo que respecta al análisis de fase, de los cuales algunos fueron modificados con respecto a los que trae por defecto de STaMPS/MTI.

En este sentido, a pesar de ser el conjunto de datos con los valores de coherencia con mayor correlación espacial, no presentan valores altos en promedio, por lo que se aumentó la dimensión de la grilla y ventana del filtrado relacionadas con la determinación de los elementos espacialmente correlacionados en los valores de fase de un interferograma diferencial. Conjuntamente, se mantuvo el valor por defecto del parámetro de máximo error del DEM y se aumentó la densidad espacial de celdas con fase aleatoria, lo que genera que en un rango espacial mayor se realice el proceso de re-estimación de los valores de fase para cada celda referencial.

Parámetro	Valor
Error máximo del DEM	5
Tamaño de grilla para filtro de fase combinado	100 m
Tamaño de ventana de Filtro de paso combinado	64
Densidad espacial máxima de celdas con fase aleatoria por km^2	25
Umbral de desviación estándar de los valores de fase	inf
Umbral para el ruido máximo de fase permitido para una celda	inf
Ventana filtrado en tiempo - distribución de ruido de fase	730 (días)
Ventana Filtro de Goldstein	32
Tamaño de grilla - Unwrapping	200
Tamaño de ventana en tiempo - Unwrapping	730 (días)
Lista de interferogramas no incluidos - Unwrapping	[]

Tabla 6.4: Parámetros usados por STaMPS/MTI para determinar la LOS - Small Baseline Subset (SBAS) - Subconjunto N°1.

En lo que respecta a los umbrales de desviación estándar tanto para los valores de fase y como para el ruido de ésta calculados, se disminuyeron, considerando los valores que por defecto trae el software, debido fundamentalmente a la baja cantidad de interferogramas que forman parte del conjunto de datos.

Finalmente, el número de celdas de Fase Filtrada con baja Decorrelación (SDFP), que fueron seleccionadas en este proceso corresponden específicamente a 723, las cuales se pueden apreciar en la figura 6.8 en valores de fase enrollados. Cabe destacar, que debido al bajo número de celdas, se aumentó la dimensión de los píxeles (pixel spacing) para poder visualizar de mejor forma dichos resultados.

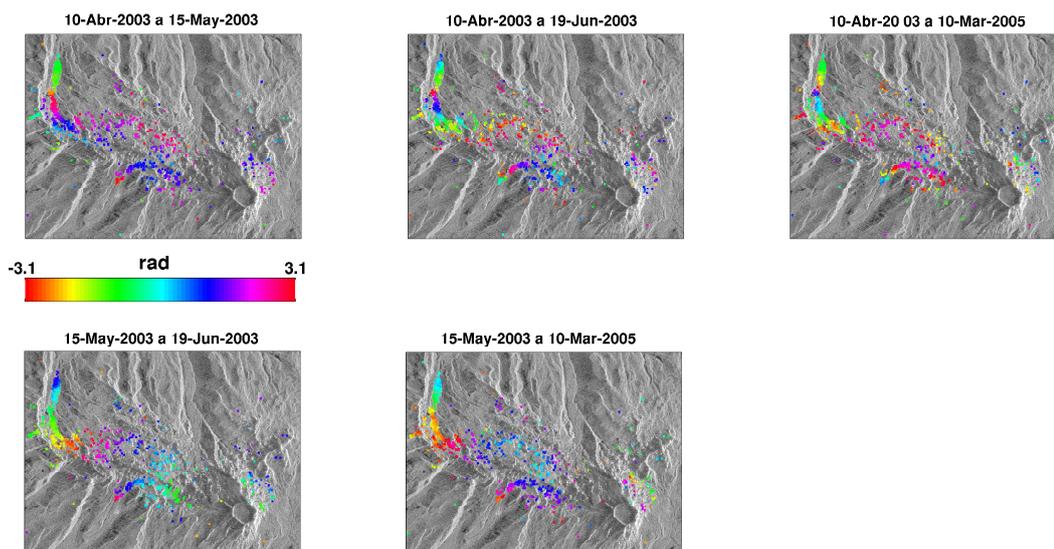


Figura 6.8: Valores de fase enrollados ($-\pi$ a π) para Small Baseline Subset (SBAS) - el Subconjunto N°1, en coordenadas SAR.

A este conjunto de celdas posteriormente se les aplicó el algoritmo 3D de STaMPS/MTI para obtener valores desenrollados de fase. En lo que respecta a los parámetros relacionados esta etapa, en la dimensión del espacio se mantuvieron el tamaño de grillas y ventanas de filtrado y en lo que respecta a la dimensión del tiempo, de la misma forma que en el caso anterior, se aumentaron los valores por defecto, dando un intervalo temporal de 730 días al filtrado de Gauss del ruido entre celdas vecinas, para disminuir la influencia de artefactos atmosféricos y por la tasa de deformación que se maneja por información complementaria.

En la serie temporal desenrollada menos los errores estimados de SCLA, AOE y las rampas orbitales de cada interferograma (figura 6.9)⁶, entre el 10 de abril del año 2003 y el 10 de marzo del año 2005, se puede apreciar un proceso de deformación aparentemente dominante en el centro del complejo volcánico. Mediante el cálculo de la fase residual entre todos los interferogramas considerados y la fase determinada por el modelo generado, se verificó que el conjunto celdas individuales no presentaron errores locales de desenrollado (no se aprecian celdas espacialmente correlaciones con valores sobre 2π - Apéndice B - Figura B.4: Residuales entre la los valores de fase desenrollados de los interferogramas y los valores del modelo de imagen maestra única - SBAS-1).

⁶Los cuales se pueden ver cada uno en el Apéndice B - Sección SBAS-1.

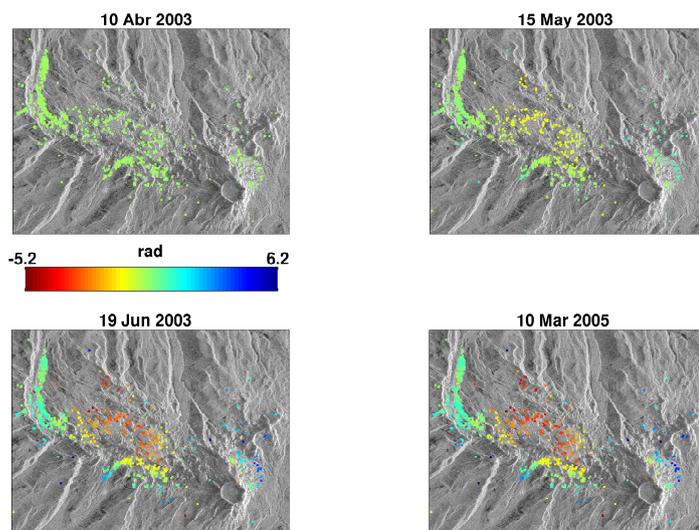


Figura 6.9: Interferogramas desenrollados correspondientes al subconjunto N°1 SBAS, menos los errores asociados al SCLA, al AOE de la imagen maestra y las rampas de fase, en coordenadas SAR.

Específicamente, los valores de velocidad promedio en la LOS, la celdas que presentaron los valores más altos hacia la plataforma están localizadas principalmente en el centro del cordón volcánico, alcanzando hasta 11.6 mm/año; por otra parte, en áreas localizadas suroeste de la caldera del volcán Puyehue, se registraron los velocidades promedio en sentido opuesto hasta los -15.5 mm/año. Estos resultados siempre en base a marco de referencia dentro del área circunscrita, que no posee áreas sin procesos de deformación.

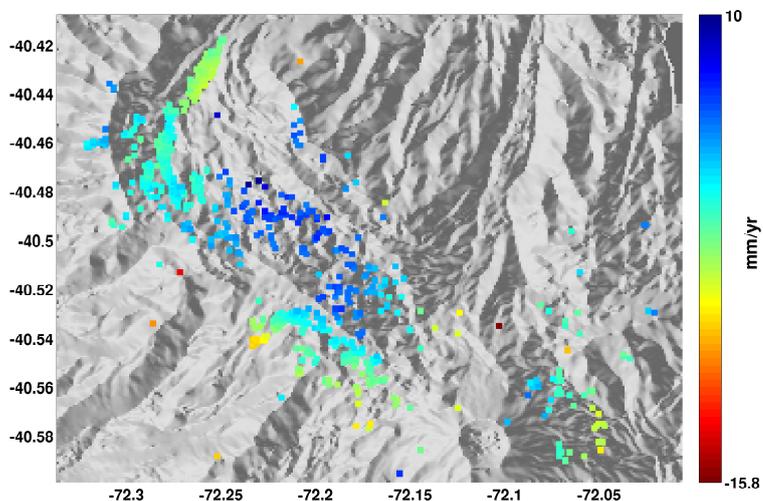


Figura 6.10: Promedio de la velocidad en la LOS para el subconjunto N°1 SBAS, menos los errores asociados al SCLA y las rampas de fase, en coordenadas geográficas.

En el caso del gráfico 6.11, que corresponde a la serie temporal de una celda localizada en el área central del cordón volcánico, en consideración de la baja cantidad de interferogramas ocupados, se puede apreciar una simetría relativamente parcial de los valores de deformación, lo cual se interpreta como un potencial

proceso de inflación de baja magnitud que se desarrolla en dicha área mencionada, cercano a un centímetro por año.

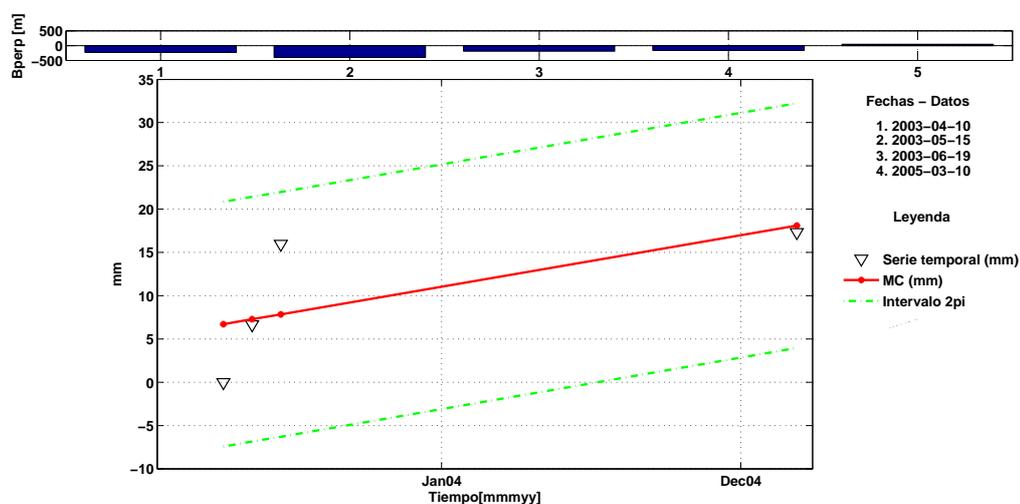


Figura 6.11: Valores de la serie temporal de deformación de la celda con coordenadas geográficas $-72,218$ Longitud O y $-40,488$ Latitud S.

Por otro lado, el gráfico 6.12 muestra los valores de una celda localizada al oeste de la caldera del volcán Puyehue, en donde se puede apreciar un movimiento relativamente constante de los valores de la deformación, que corresponden a un potencial proceso de subsidencia local, cercano a un centímetro y medio por año. Cabe señalar, que en el área en cuestión, en el procesamiento de PSI también se obtuvieron valores con esta tendencia, los cuales pueden responder a la generación de procesos locales (por ejemplo, deslizamientos de terreno).

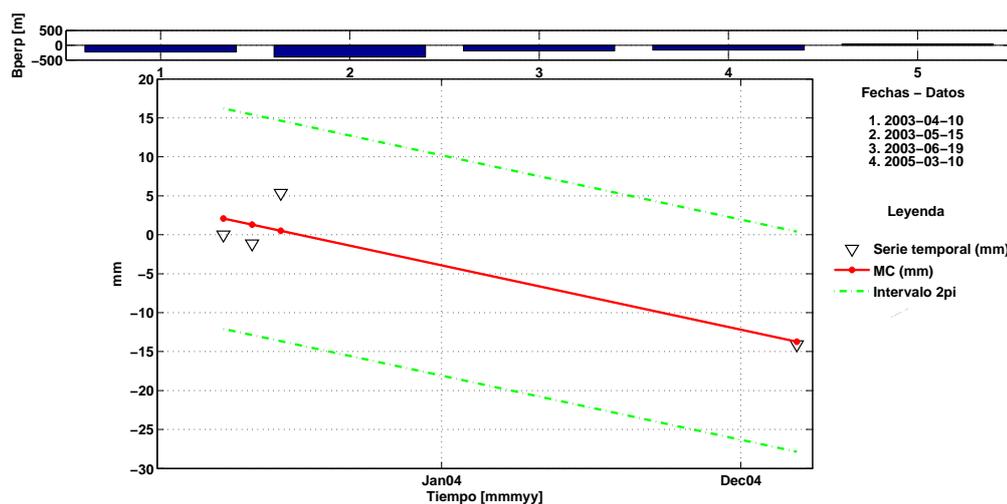


Figura 6.12: Valores de la serie temporal de deformación de la celda con coordenadas geográficas $-72,052$ Longitud O y $-40,570$ Latitud S.

Sin embargo, en el caso que se puede apreciar en el gráfico 6.13, en una celda localizada en la colada de lava (con data de 1921), el problema de la baja cantidad de datos en tiempo se potencia por la dispersión de los valores de deformación, específicamente en este caso de los valores correspondientes al 10 de abril y el 19 de junio del año 2003 (el último cabe señalar, se encuentra en el límite de $-\pi$). En consideración que esta área en específico cuenta con los valores de coherencia promedio mas altos, se considera que a priori estos valores pueden deberse a la incorporación de artefactos atmosféricos en los valores de fase, los cuales mediante el procesos de filtrado espectral, tanto en la imagen maestra como en las esclava, no pudieron ser sustraídos.

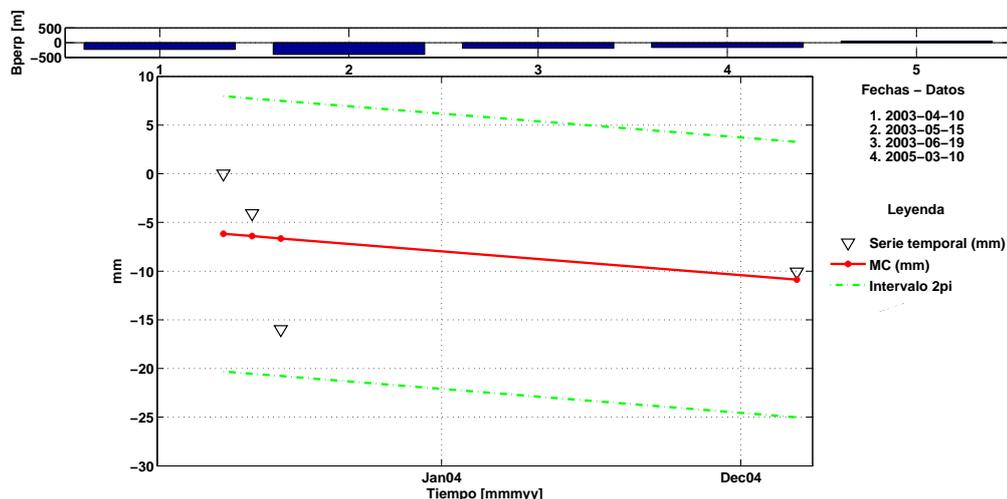


Figura 6.13: Valores de la serie temporal de deformación de la celda con coordenadas geográficas $-72,280$ Longitud O y $-40,446$ Latitud S.

6.2.2. SubConjunto N°2

Para el caso del procesamiento de series temporales para el segundo subconjunto SBAS, al igual que en el caso anterior, el umbral del índice de amplitud D_A ocupado corresponde a 0.6. En base a una serie de pruebas realizadas, y debido a que un gran porcentaje de los altos valores de coherencia se concentraron en los depósitos de lava generados por la actividad de 1921, se subdividió la matriz en 6 parches, para realizar un procesamiento sólo del área mencionada (tabla 6.5).

Parámetro	Valor
Índice de Dispersión - amplitud	0.6
Parches en Rango	3
Parches en Acimut	2

Tabla 6.5: Parámetros iniciales de STaMPS/MTI para Small Baseline Subset (SBAS) - Subconjunto 2.

En lo referente al análisis de amplitud de los datos, en principio se identificaron 400906 celdas, con valores bajo el umbral definido.

En la tabla 6.6, se pueden apreciar la serie de valores otorgados a los distintos parámetros en lo que respecta al análisis de fase. Al igual que el subconjunto N°1 de SBAS, se aumentó la dimensión de la grilla y ventana del filtrado relacionadas con la determinación de los componentes correlacionados espacialmente de los interferogramas seleccionados. Por otra parte, debido a que el depósito de lavas Rio-dacíticas posee una cobertura específica, se disminuyó la densidad espacial de celdas con fase aleatoria utilizada, lo que

determinó que la selección de celdas fuera mucho menor en cantidad que en los subconjuntos analizados anteriormente.

Parámetro	Valor
Error máximo del DEM	5
Tamaño de grilla para filtro de fase combinado	100 m
Tamaño de ventana de Filtro de paso combinado	64
Densidad espacial máxima de celdas con fase aleatoria por km^2	3
Umbral de desviación estándar de los valores de fase	1
Umbral para el ruido máximo de fase permitido para una celda	1
Ventana filtrado en tiempo - distribución de ruido de fase	730 (días)
Ventana Filtro de Goldstein	32
Tamaño de grilla - Unwrapping	200
Tamaño de ventana en tiempo - Unwrapping	730 (días)
Lista de interferogramas no incluidos - Unwrapping	[1 9 11]

Tabla 6.6: Parámetros usados para Small Baseline Subset (SBAS) - Subconjunto 2.

El número de celdas de SDFP que fueron seleccionadas finalmente en este proceso corresponden específicamente a 185, las cuales se pueden apreciar en la figura 6.14 con sus valores de fase en el módulo 2π . Cabe destacar, que este conjunto de celdas resultante es muy bajo, por lo que se aumentó, al igual que en los casos anteriores, la dimensión de los píxeles (pixel spacing) para poder visualizar de mejor forma los resultados obtenidos.

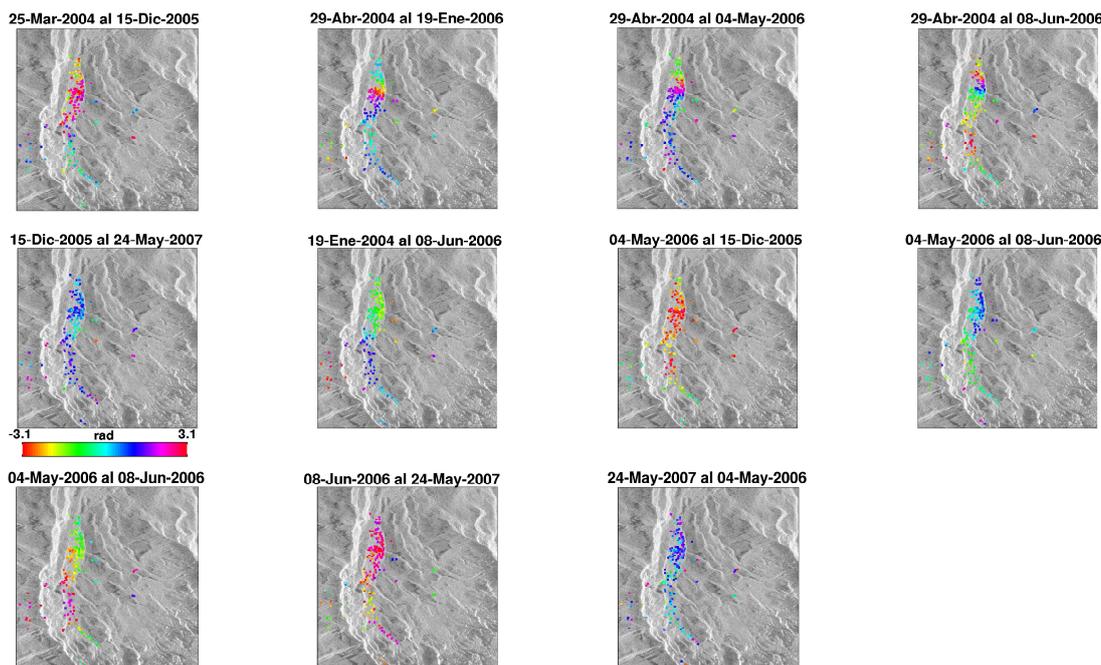


Figura 6.14: Valores de fase enrollados ($-\pi$ a π) - para el subconjunto N°2 - Small Baseline Subset (SBAS).

Posteriormente, se desenrollaron los valores de fase aplicando el algoritmo 3D de STaMPS/MTI. En cuanto a los parámetros específicos se mantuvieron los que se han ocupado en todos los casos anteriores. Cabe señalar, que en esta etapa se han sustraído los interferogramas 1, 9 y 11 (Selección de interferogramas SBAS-2 tabla 5.3), debido a que en diferentes áreas analizadas los valores de la serie temporal difieren del comportamiento estándar, alterando los valores de velocidades promedio. En la serie temporal desenrollada

menos los errores estimados de SCLA, AOE y las rampas orbitales de cada interferograma (figura 6.15)⁷, entre el 29 de abril del año 2004 y el 24 de Mayo del año 2007, se puede identificar en términos generales un cierto grado de estabilidad de los valores de deformación, presentándose pequeñas fluctuaciones locales. Finalmente, mediante la estimación de la fase residual entre los interferogramas considerados y la fase determinada por el modelo generado, se verificó que no se presentaron errores locales de desenrollado (no se aprecian celdas espacialmente correlacionadas con valores sobre 2π - Apéndice B - Figura B.8: Residuales entre la los valores de fase desenrollados de los interferogramas y los valores del modelo de imagen maestra única - SBAS-2).

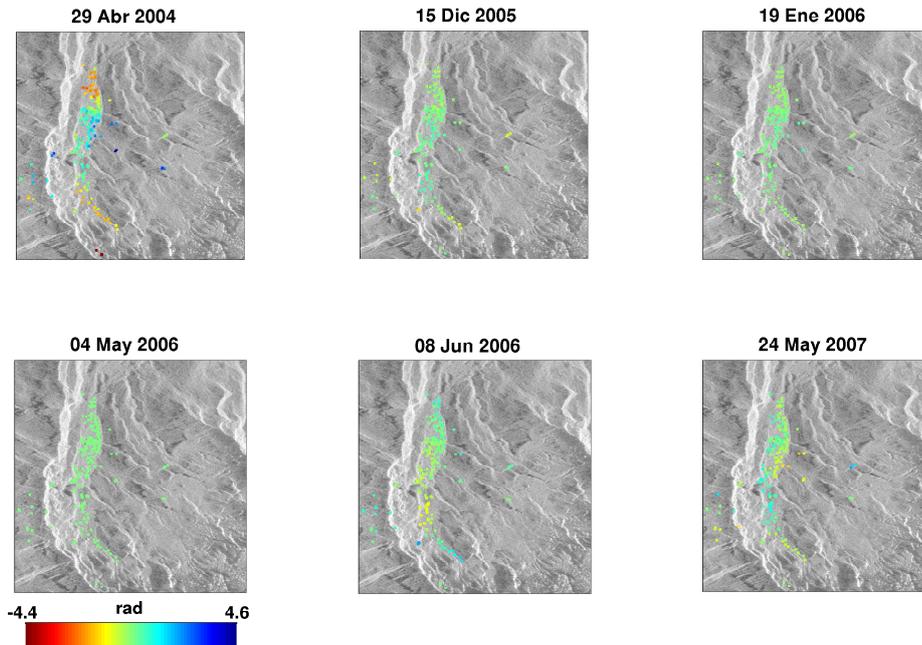


Figura 6.15: Interferogramas desenrollados correspondientes al subconjunto N°2 SBAS, menos los errores asociados al SCLA, al AOE de la imagen maestra y las rampas de fase.

En cuanto a los valores de velocidad promedio en la LOS, la celdas que presentaron los valores mas altos hacia la plataforma, tuvieron un valor máximo de 9.1 mm/año; por otro lado las celdas que presentaron velocidades en el sentido opuesto alcanzaron los -7.9 mm/año.

⁷Los cuales se pueden ver cada uno en el Apéndice B - Sección SBAS-2.

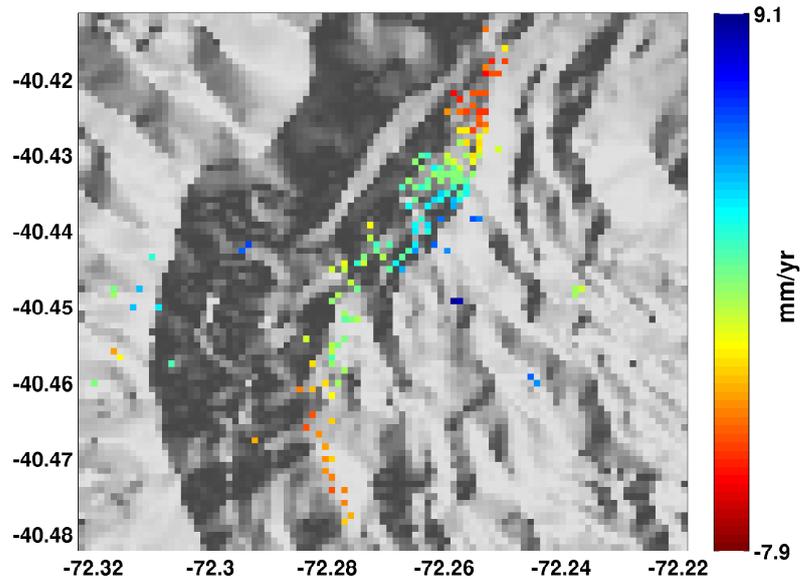


Figura 6.16: Promedio de la velocidad en la LOS para el subconjunto N°2 SBAS, menos los errores asociados al SCLA y las rampas de fase.

En términos generales, como se puede apreciar en los gráficos 6.17 y 6.18 las celdas localizadas en el depósito de lavas Rio-dacíticas, no describen un proceso de deformación con una tendencia definida, presentando valores de la serie tiempo con un comportamiento relativamente constante y cercano a 0 (en base a la referencia del área). En base a estos resultados, en el periodo comprendido por los datos, se plantea que esta zona del complejo volcánico presentó un comportamiento espacialmente correlacionado y en el caso de que se tuviera una referencia externa al área analizada, este depósito de lava eventualmente describiría valores de deformación constantes.

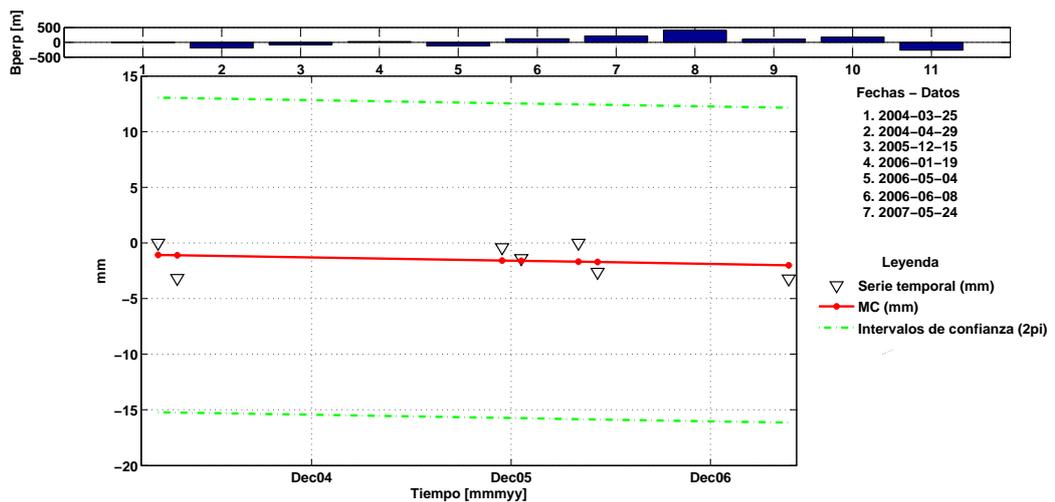


Figura 6.17: Valores de la serie temporal de la celda con coordenadas geográficas $-72,261$ Longitud O y $-40,432$ Latitud S.

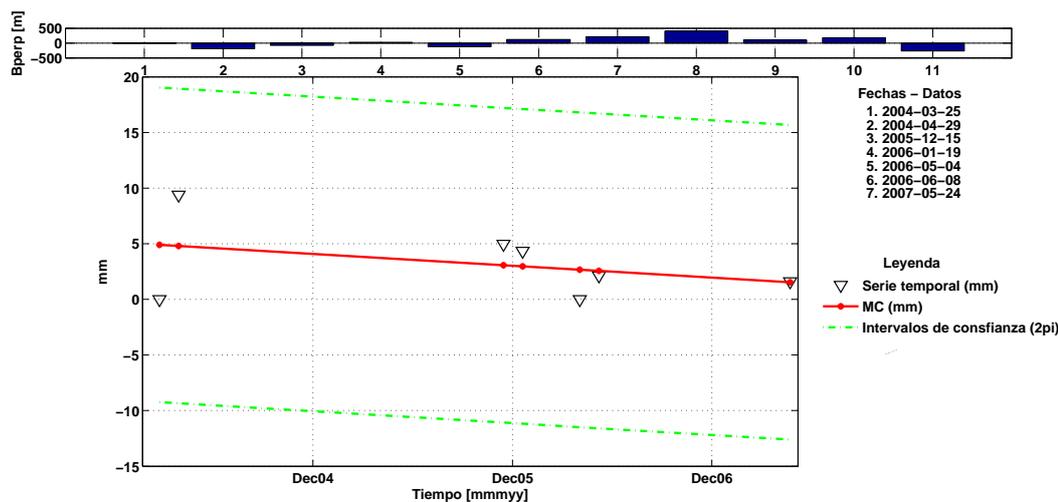


Figura 6.18: Valores de la serie temporal de la celda con coordenadas geográficas 72,253 Longitud O y -40,413 Latitud S.

6.2.3. SubConjunto N°3

En este caso, como muestra la tabla 6.7 para el análisis de valores de amplitud se definieron los mismo parámetros que se han definido para los subconjuntos SBAS anteriores.

Parámetro	Valor
Índice de Dispersión - amplitud	0.6
Parches en Rango	1
Parches en Acimut	1

Tabla 6.7: Parámetros iniciales de STaMPS/MTI para Small Baseline Subset (SBAS).

Como resultado de este análisis preliminar de los datos, se lograron identificar 2927225 celdas que tienen valores bajo el umbral definido por la parametrización de la metodología propuesta por los autores. Sin embargo, en la etapa correspondiente al análisis de fase, en base a una serie de pruebas que se basaron en la flexibilización de todos los parámetros vinculados con la selección de celdas con valores estables de fase, no se consiguieron resultados satisfactorios. En otras palabras, este tipo de procesamiento no encontró ninguna celda con valores de fase estables en el tiempo.

Discusión

En términos generales, los procesamientos realizados con los algoritmos correspondientes a Persistent Scatterer Interferometry (PSI) y Small Baseline Subset (SBAS), no lograron los resultados esperados. Esto se ve reflejado, por ejemplo, en la limitada cantidad de interferogramas diferenciales que pudieron ser finalmente utilizados por ambos métodos en el análisis de series temporales, entregando resultados parcialmente aceptables si se comparan, tanto con lo determinado en investigaciones anteriores (Fournier et al., 2010) y los parámetros específicos referenciales de las distintas etapas del software utilizado (Manual de STaMPS/MTI).

El factor de mayor importancia que genera este problema es la decorrelación temporal característica de la zona en donde se encuentra localizado el Cordón Volcánico Puyehue - Cordón Caulle (CVPCC), que está determinada por la relación existente entre la dinámica de las coberturas de la zona, fundamentalmente de las nieves estacionales y las diferentes comunidades vegetacionales, y los parámetros básicos del sensor ocupado, en este caso de ERS-2, el cual tiene una frecuencia de 5.3 GHz (banda C) y una repetición de ciclos de 35 días. Este problema, en el caso específico de SBAS, fue de tal magnitud, que generó que el conjunto original de datos se tuviera que subdividir en subconjuntos de cantidades de interferogramas más limitadas. Cabe señalar también, que en la revisión de la etapa de coregistración, no se encontraron valores de correlación altos, lo que podría potencialmente haber disminuido la precisión de este proceso, influyendo en la presencia de ruido en los interferogramas conformados.

En el análisis comparativo, en lo que respecta a la selección final de celdas, PSI al tener parámetros generales más flexibles (por ejemplo, líneas de base y líneas temporales) logró obtener una mayor cantidad de celdas, las cuales específicamente corresponden a 11362, distribuidas mayormente por toda el área seleccionada. Por otra parte, los diferentes subconjuntos de SBAS, sólo lograron seleccionar 723 y 187 celdas correspondientemente, en áreas en donde se registraron los mayores valores de coherencia. Éstas corresponden en específico, al centro del cordón volcánico y a los depósitos de lavas generados por las erupciones desarrolladas en los años 1921 y 1960.

En términos generales, los resultados obtenidos por ambos algoritmos describen que en el centro del cordón volcánico se presenta un proceso de deformación que corresponde específicamente a una inflación, con diferentes velocidades promedio según el periodo abarcado.

Otra área en donde parcialmente presentan resultados similares, es en el depósito de lava Rio-dacíticas con datación de 1921, en el cual no se registra un proceso de deformación importante, manteniendo valores bajos y con un comportamiento relativamente constante en tiempo.

Cabe destacar que estos resultados como se ha mencionado durante el desarrollo de este trabajo, no poseen valores de referencia de puntos lejanos al complejo volcánico en donde no se registre la existencia de deformación, por lo que las mediciones realizadas son de carácter relativo al área circunscrita, y pueden reflejar una correlación espacial de los valores de deformación (es decir, que existe un comportamiento homogéneo de un área si se relaciona con otro punto de referencia), e incorporar deformaciones locales asociadas a procesos generados por otro tipo de factores, como por ejemplo a deslizamientos de terreno.

Sin embargo, a pesar de tener una tendencia definida, no es posible comparar los valores de las series temporales de forma cuantitativa, básicamente por dos motivos: el primero, es porque dada la baja cantidad de celdas seleccionadas por parte de ambos algoritmos, no se registraron píxeles que sean PS y SDFP de forma simultánea; por otro lado, aunque hubiesen presentado celdas en común, el submuestreo en tiempo, dado la limitada cantidad de interferogramas ocupados, no son suficientes para poder aplicar cualquier tipo de herramienta estadística de comparación, como por ejemplo índice de correlación, etc.

Cabe señalar también, que el software utilizado presentó limitaciones en su capacidad para determinar series temporales de forma consistente en este contexto específico de decorrelación. Esto en la práctica, se manifestó en la importante sustracción de interferogramas diferenciales, los cuales en la dimensión del espacio y del tiempo, no generaron valores desenrollados correlacionados y dentro del módulo 2π correspondientemente, a pesar de que se realizaron selecciones intensivas en base a valores de amplitud (imágenes) y de coherencia (interferogramas diferenciales) en las primeras etapas de la investigación (Capítulos 4 y 5).

En base a la revisión del desarrollo y los resultados obtenidos, se plantea la necesidad de incluir en el software ocupado, modelos mas sofisticados para la determinación de artefactos atmosféricos. La variabilidad que se puede observar en áreas con valores de coherencia aceptables, muestra que el proceso de filtrado espectral, tanto en la imagen maestra como en la esclava no fueron suficientes para sustraer dichos componentes.

Por lo tanto, en base a la investigación realizada, resulta necesario continuar con la búsqueda de resultados mas consistentes en estas zonas, sobre todo con los nuevos algoritmos publicados que han sido desarrollados efectivamente para soslayar este tipo de problemas, como por ejemplo el realizado por Ferretti et al. (2011), el cual apunta a la identificación y selección de dispersores en este tipo de ambientes mediante procedimientos estadísticos complejos, o al desarrollado por Pinel-Puysségur et al. (2012), que propone un proceso de desenrollamiento de fase en 3 dimensiones, que mejora los resultados obtenidos en casos que se caracterizan por tener una decorrelación temporal alta.

Conclusiones

Los procesamientos realizados con PSI y SBAS, no lograron resultados consistentes, debido a que no pudieron soslayar la decorrelación temporal propia de la zona en donde se encuentra localizado el Cordón Volcánico Puyehue - Cordón Caulle (CVPCC). Esto se debió fundamentalmente por dos motivos: El primero, a las características específicas de los datos del sensor utilizado y el segundo, a la incapacidad de los algoritmos ocupados para determinar resultados consistentes en un contexto de decorrelación temporal.

En lo que respecta al primer factor, debido fundamentalmente a la longitud de onda (o frecuencia) y a la baja repetición de ciclos de la plataforma ERS-2, en este tipo de zona con amplias áreas boscosas y fluctuantes coberturas nivales que determinan cambios físicos frecuentes de la superficie observada, la coherencia de la señal obtenida por el sistema es muy baja, por lo que su potencialidad para desarrollar series temporales interferométricas se ve muy restringida. Cabe destacar, que dependiendo de la cobertura que tengan los depósitos generados por el último proceso eruptivo registrado, se podrían obtener resultados de mayor consistencia, debido a que los valores más altos de coherencia fueron obtenidos efectivamente en los depósitos de lavas Rio-Dacíticas con diferente datación presentes en el complejo volcánico.

A pesar de realizar procesos de selección preliminares, considerando en primera instancia los valores de amplitud y su comportamiento anual, y posteriormente los valores de coherencia de los interferogramas diferenciales realizados por cada una de las estrategias de procesamiento vistas, los algoritmos ocupados presentan limitaciones para poder funcionar en ambientes con decorrelación temporal, lo que se puede corroborar por ejemplo, en el bajo porcentaje de celdas seleccionadas (cabe recalcar, que no se logró seleccionar ninguna celda en el subconjunto SBAS -3) y en la baja cantidad de interferogramas diferenciales que pudieron ser finalmente ocupados en el análisis de series temporales, para los distintos grupos de datos.

Adicionalmente, en la etapa de desenrollado de fase, se tuvieron que sistemáticamente sustraer interferogramas debido a que en la dimensión del espacio no se conseguían valores de fase desenrollados correlacionados, y sobre todo en la dimensión del tiempo, ya que en reiterados casos, los valores de fase sobrepasaban los límites establecidos por el módulo 2π , lo que se relacionó fundamentalmente a la presencia de artefactos atmosféricos.

A pesar de las problemáticas anteriores, ambos algoritmos parcialmente detectaron en el centro del cordón volcánico, un proceso de inflación con diferentes velocidades promedio en los intervalos de tiempo analizados. Cabe destacar, que en términos comparativos con los únicos datos de referencia, los resultados obtenidos muestran diferencias considerables en cuanto al proceso de inflación. Esto se atribuye tanto a la extensión del

área común considerada, la que no incluyó puntos en zonas que no registrasen deformación, obteniendo así resultados relativos solamente a dicha área; y adicionalmente, a la baja cantidad de datos en tiempo que se incluyeron, lo cual determina la imposibilidad de identificar cambios de velocidades con mas detalle.

Por lo tanto ante esta situación, resulta necesario mejorar los procedimientos de identificación, selección y desenrollamiento de fase en 3D, para ambientes que presenten este tipo de factores incidentes. Sería apropiado considerar procesamientos de este tipo de datos, con los nuevos algoritmos que han sido desarrollados para este tipo de contextos y empezar a realizar un proceso de validación relativa mediante los resultados que se vayan obteniendo (ya que en el periodo comprendido por los datos no se tiene información de estaciones GPS con los cuales verificar la calidad de las mediciones realizadas) para poder corroborar con mayor precisión, el comportamiento que presentó el Cordón Volcánico Puyehue - Cordón Caulle (CVPCC) antes de la gran erupción correspondiente al año 2011.

8.1. Aporte

- A pesar de la robustez que han tenido algoritmos como PSI y SBAS en diferentes temáticas específicas, y principalmente en las asociadas a la identificación de procesos de deformación de sistemas volcánicos, en esta tesis se puede corroborar que ocupando los datos con las características de la plataforma ERS-2, este tipo de procedimientos no logra resultados consistentes en zonas que presenten un alto grado de decorrelación temporal, como por ejemplo es la denominada Southern Volcanic Zone (SVZ). Esto puede transformarse en un antecedente más para futuras programaciones de proyectos de Radar de Apertura Sintética (SAR) que contemplen dentro de sus actividades realizar este tipo de estimaciones y modelos.
- En segundo lugar, este trabajo aporta a la discusión en lo que respecta a la identificación de los procesos específicos que podrían modificar o ajustar para poder conseguir resultados con un grado mayor de consistencia en ambientes como por ejemplo donde está localizada el área de estudio en cuestión, en donde la decorrelación temporal sea un factor incidente.
- A pesar de que los resultados obtenidos por ambos métodos no pueden ser catalogados como robustos ni conclusivos por la baja cantidad de celdas e interferogramas seleccionados, se puede parcialmente confirmar que en el Cordón Volcánico Puyehue - Cordón Caulle (CVPCC) entre los años 2004-2009 se produjo un proceso de inflación el cual podría eventualmente relacionarse con la actividad eruptiva desarrollada entre a mediados del año 2011 y hasta principios del 2012.

8.2. Proyección

- En lo que respecta a los futuros desarrollos de este tipo de procesamientos, resulta fundamental desarrollar más investigaciones que apunten al mejoramiento de las diferentes etapas del procesamiento de series temporales en casos en donde fundamentalmente se presenten cambios significativos de las propiedades de dispersión y existan condiciones atmosféricas inestables. Específicamente, en el caso del software ocupado, el desarrollo por ejemplo de modelos atmosféricos que mejoren la sustracción de artefactos atmosféricos, y algoritmos de unwrapping en 3D que tengan capacidad de funcionar de forma eficiente con datos con un alto contenido de ruido, serían un complemento importante para poder determinar deformaciones en zonas de gran interés como por ejemplo la denominada SVZ.
- Adicionalmente a los avances y ajustes que puedan desarrollarse para las diferentes etapas de este tipo de procesamiento, uno de los principales problemas estructurales que persiste en la mayoría de los algoritmos de series temporales, es que los parámetros de estimación deben ser calculados usando todas las adquisiciones disponibles de una vez, en un solo grupo. Por lo tanto, se debe considerar en el futuro desarrollar procesos recursivos que puedan incluir sistemática y secuencialmente los datos de nuevas adquisiciones de forma que se vayan actualizando los resultados obtenidos para las diferentes áreas de interés.

Bibliografía

- R. Bamler y P. Hartl. Synthetic aperture radar interferometry. *Inverse Problems*, 14:1–54, 1998.
- P. Berardino, G. Fornaro, R. Lanari, y E. Sansosti. A new algorithm for surface deformation monitoring based on small baseline differential sar interferograms. 40(11):2375–2383, 2002. doi: 10.1109/TGRS.2002.803792.
- M. Bonano, M. Manunta, M. Marsella, y R. Lanari. The extended sbas technique for generating full resolution ers/envisat deformation time-series. páginas 4616–4619, 2010. doi: 10.1109/IGARSS.2010.5651133.
- S. Buckley. *ROI PAC Documentation Repeat Orbit Interferometry Package*, capítulo 3. Radar Interferometry Measurement of Land Subsidence., 2000.
- C. Cafforio, C. Prati, y Rocca F. Sar data focusing using seismic migration techniques. *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, 27:197–207, 1991.
- W Chen y Zebker. Network approaches to two-dimensional phase unwrapping: intractability and two new algorithms. *Journal of the Optical Society of America.*, 17:401–413, 2000.
- M. Costantini. A novel phase unwrapping method based on network programming. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 36:813–821, 1998.
- I. Cumming y F. Wong. *Digital Processing of Synthetic Aperture Radar*. Artech House Remote Sensing Library, 2005.
- I. G. Cumming, Y.L. Neo, y F. H. Wong. Interpretations of the omega-k algorithm and comparisons with other algorithms. *IGARSS 2003: IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, Vols I - VII, Proceedings*, página 1455–1458, 2003.
- J.C. Curlander y McDonough. *Synthetic Aperture Radar: Systems and Signal Processing*. John Wiley & Sons, INC, 1991.
- C Donoso. *Tipos Forestales de los Bosques Nativos de Chile*. 1981.
- Leonardo D. Euillades, Pablo A. Euillades, Antonio Pepe, Mauro H. Blanco, y Jorge H. Barón. On the generation of late ers deformation time series through small doppler and baseline subsets differential sar interferograms. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 8:238–242, 2011.
- P. Farina, D. Colombo, A. Fumagalli, F. Marks, y S. Moretti. Permanent scatterers for landslide investigations: outcomes from the esa-slam project. *Engineering Geology*, 88:200–217, 2006.

- A. Ferretti, C. Prati, y F. Rocca. Permanent scatterers in sar interferometry. 39(1):8–20, 2001. doi: 10.1109/36.898661.
- A. Ferretti, A. Fumagalli, F. Novali, C. Prati, F. Rocca, y A. Rucci. A new algorithm for processing interferometric data-stacks: Squeesar. *IEEE Journal of selected topics in applied Earth Observation and Remote Sensing*, 49:3460–3470, 2011.
- Monti-Guarnieri A. Prati C. Rocca F. Massonnet D. Ferretti, A. *InSAR Principles: Guidelines for SAR Interferometry Processing and Interpretation*. ESA Publications, ESTEC, Postbus 299, 2200 AG Noordwijk - The Netherlands, 2007.
- T.J. Fournier, M.E. Pritchard, , y S.N. Riddick. Duration, magnitude, and frequency of subaerial volcano deformation events: New results from latin america using insar and a global synthesis. *Geochemistry Geophysics Geosystem*, 11, 2010.
- R. Goldstein, H. Zebker, y C. Werner. Satellite radar interferometry: two-dimensional phase unwrapping. *Radio Science*, 23:713–720, 1988.
- R. Hanssen. *Radar Interferometry. Data interpretation and error Analysis*. Radar Interferometry. Data interpretation and error Analysis., 2001.
- A. Hooper. *Persistent Scatterer Radar Interferometry for crustal deformation studies and modeling of volcanic deformation*. Tesis de Doctorado, Stanford university, 2006.
- A. Hooper. A multi-temporal insar method incorporating both persistent scatterer and small baseline approaches. *Geophysical Research Letters*, 35, 2008.
- A. Hooper. A statistical-cost approach to unwrapping the phase of insar time series. *European Space Agency, (Special Publication)*, 2010.
- A. Hooper, H. Zebker, P. Segall, y B. Kampes. A new method for measuring deformation on volcanoes and other natural terrains using insar persistent scatterers. *Geophysical Research Letters*, 31, 2004.
- A. Hooper, P. Segall, y H. Zebker. Persistent scatterer interferometric synthetic aperture radar for crustal deformation analysis, with application to volcán alcedo, gala'pagos. *Journal Geophysical Research*, 112, 2007.
- A. Kohlhase y K. Feigl. Measuring the quality of precise orbits by applying insar: An approach to avoid orbital tuning. En *FRINGE 1999 - Workshop Report*, 1999.
- Jet Propulsion Laboratory. Nasa radar images asteroid 2007 pa8, Septiembre 2012. URL <http://www.jpl.nasa.gov/news/news.php?release=2012-350>.
- R. Lanari, F. Casu, M. Manzo, G. Zeni, P. Berardino, M. Manunta, y A. Pepe. An overview of small baseline subset algorithm: A din-sar technique for surface deformation analysis. *Pure Appl. Geophys*, 164:637–661, 2007.
- L. Lara, B. Lavenu, C. Cembrano, y D. Rodríguez. Structural controls of volcanism in transversal chains: Resheared faults and neotectonics in the cordón caulle-puyehue area (40.5°s), southern andes. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* xx, 2006.
- F.W. Leberl, W. Walcher, y R. Kalliany. Surface topography reconstruction of venus from magellan mission. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, XXXI:Part B4, 1996.
- Didier Massonnet y Kurt L. Feigl. Radar interferometry and its application to changes in the earth's surface. *Reviews of Geophysics, Issue 4*, Volume 36:pp.441–500, 1998.
- B. Pinel-Puysségur, R. Michel, y J. Avouac. Multi-link insar time series: Enhancement of a wrapped interferometric database. *IEEE Journal of selected topics in applied Earth Observation and Remote Sensing*, 5: 784–794, 2012.

- M. Pritchard y M. Simons. An insar-based survey of volcanic deformation in the southern andes. *Geophysical Research Letters*, 31, 2004.
- J.A. Richards. *Remote Sensing with Imaging Radar*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2009.
- P. Shanker. *Persistent Scatterer Interferometry in Natural Terrain*. Tesis de Doctorado, Stanford University, 2010.
- P. Shanker, F. Casu, H. A. Zebker, y R. Lanari. Comparison of persistent scatterers and small baseline time-series insar results: A case study of the san francisco bay area. 8(4):592–596, 2011. doi: 10.1109/LGRS.2010.2095829.
- M. Shirzaei y T. R. Walter. Time-dependent volcano source monitoring using interferometric synthetic aperture radar time series: A combined genetic algorithm and kalman filter approach. *Journal of Geophysical Research*, 115, B10421., 2010.
- R. Touzi, A. Lopes, J Bruniquel, y P.W. Vachon. Coherence estimation for sar imagery. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 37:135–149, 1999.
- Engineering Christian Wolff. Tutorial radar / book-2 /“radar sets“, Septiembre 2012. URL <http://www.radartutorial.eu/druck/Book2.pdf>.
- H. Zebker y W Chen. Accurate estimation of correlation in insar observations. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 2:124–127, 2005.
- H. Zebker, P. A. Rosen, R. Goldstein, A. Gabriel, y C. Werner. On the derivation of coseismic displacement fields using differential radar interferometry: The landers earthquake. *Journal of Geophysical Research*, 99:19, 617– 19, 634, 1994a.
- H. Zebker, P. Werner, C.and Rosen, y S. Hensley. Accuracy of topographic maps derived from ers-1 interferometric radar. *Geoscience and Remote Sensing*, 12, 1994b.
- H. A. Zebker y J. Villasenor. Decorrelation in interferometric radar echoes. 30(5):950–959, 1992. doi: 10.1109/36.175330.

Parámetros correspondientes al procesamiento de series temporales - STaMPS/MTI

A.1. Valores por defecto de STaMPS/MTI en las distintas etapas del procesamiento.

Parámetro	Valor
clap-alpha	1
clap-beta	0.3000
clap-low-pass-wavelength	800
clap-win	32
density-rand	2
drop-ifg-index	[]
filter-grid-size	50
filter-weighting	'P-square'
gamma - change - convergence	0.0050
max-topo-err	5
scla-deramp	'n'
scla-drop-index	[]
select-method	'DENSITY'
unwrap-gold-n-win	32
unwrap-grid-size	200
unwrap-method	'3D'
unwrap-time-win	730
weed-max-noise	Inf
weed-standard-dev	PSI=1 / SBAS=inf
weed-time-win	730

Tabla A.1: Valores por defecto de los diferentes parámetros en el procesamiento de series temporales del software STaMPS/MTI.

A.2. Descripción de los parámetros de STaMPS/MTI.

A.2.1. Estimación de ruido de fase.

- **max-topo-err:** Error máximo del DEM (m). Si se configura con valores altos, se incrementará directamente el promedio de γ ¹ de las celdas que tienen valores de fase con un comportamiento aleatorio.
- **filter-grid-size:** Tamaño de grilla para filtro de paso combinado (m). Los candidatos tanto a PS o SDFP, son remuestreados en una grilla con este espaciamiento antes de iniciar el proceso de filtrado de los valores de fase, el cual busca determinar la correlación espacial del conjunto de éstos.
- **clap-win:** Tamaño de ventana filtro de Combinación de paso bajo y fase adaptativa (CLAP). Junto con filter-grid-size, determinan el área incluida en la estimación de los valores de fase espacialmente correlacionados.
- **clap- α :** Término α del filtro CLAP. Junto con el término β , determinan la contribución relativa de los elementos de fase en la estructura del filtro.
- **clap-beta:** Término β del filtro CLAP.
- **gamma-change-convergence:** Umbral de cambio de los valores promedio de γ . Cuando se alcanza la convergencia de los valores, termina de realizar las iteraciones.

A.2.2. Selección de PS y SDFP.

- **density-rand:** Densidad espacial máxima de celdas con fase aleatoria (km^2).
- **drop-ifg-index:** Lista de interferogramas excluidos del procesamiento.

A.2.3. Eliminación PS y SDFP.

- **weed-standard-dev:** Umbral de desviación estándar de los valores de fase. Para cada celda, la desviación estándar del ruido de fase entre pares de ellas es calculado. Si la mínima desviación es mayor que el umbral, la celda será eliminada.
- **weed-max-noise:** Umbral de máximo ruido permitido para una celda. Para cada par de píxel por interferograma, es calculado el mínimo ruido posible. Los píxeles que tengan un mayor valor de ruido en los interferogramas son eliminados.
- **weed-time-win:** Ventana de suavizamiento (en días) para la estimación de la distribución del ruido de fase para cada par de píxeles vecinos. En la serie de tiempo, los valores de fase son suavizados mediante un ajuste lineal gaussiano ponderado por tramos. Este parámetro asigna la desviación estándar de la gaussiana utilizada. La fase original, menos la fase suavizada es asumida como ruido.

A.2.4. Corrección de fase.

- **merge-resample-size:** Remuestreo de celdas (m).
- **merge-standard-dev:** Desviación estándar del remuestreo de celdas estimado.

¹Índice de estabilidad de fase.

A.2.5. Fase de unwrapping.

- **unwrap-method:** Método de desenrollamiento de fase.
- **unwrap-grid-size:** Redimensionamiento de grilla muestral.
- **unwrap-gold-n-win:** Tamaño de ventana del filtro de Goldstein.
- **unwrap-time-win:** Ventana de suavizamiento (en días) para la estimación de la distribución del ruido de fase para cada par de píxeles vecinos. En la serie de tiempo, los valores de fase son suavizados mediante un ajuste lineal gaussiano ponderado por tramos. Este parámetro especifica la desviación estándar de la gaussiana utilizada. La fase original, menos la fase suavizada es asumida como ruido, el cual es usado para determinar la probabilidad de saltos de fase entre dicho par de celdas.

A.2.6. Estimación del error SCLA.

- **scla-drop-index:** Listado de interferogramas que no serán incluidos en el calculo de SCLA, pero si que fueron incluidos en los pasos anteriores.
- **scla-deramp:** Estimación de rampas de fase para cada interferograma incluido.

Estimación de diferentes componentes de fase para cada uno de los casos.

B.1. Caso - Persistent Scatterer Interferometry (PSI)

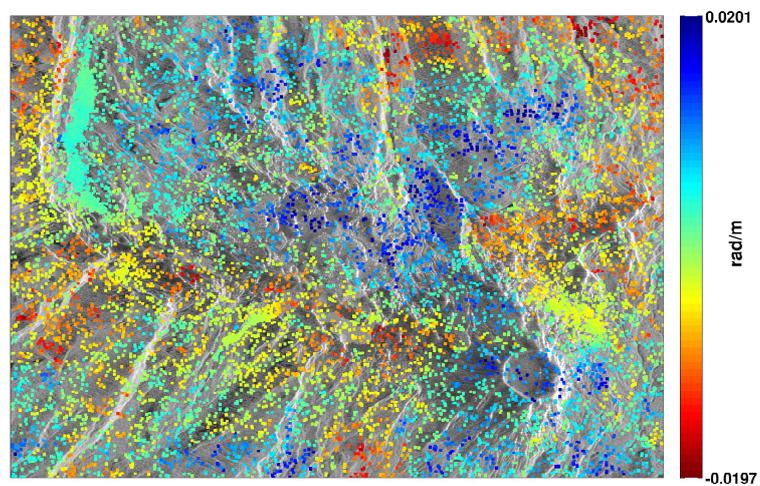


Figura B.1: Estimación del error del ángulo de vista espacialmente correlacionado en radianes/metro - PSI.

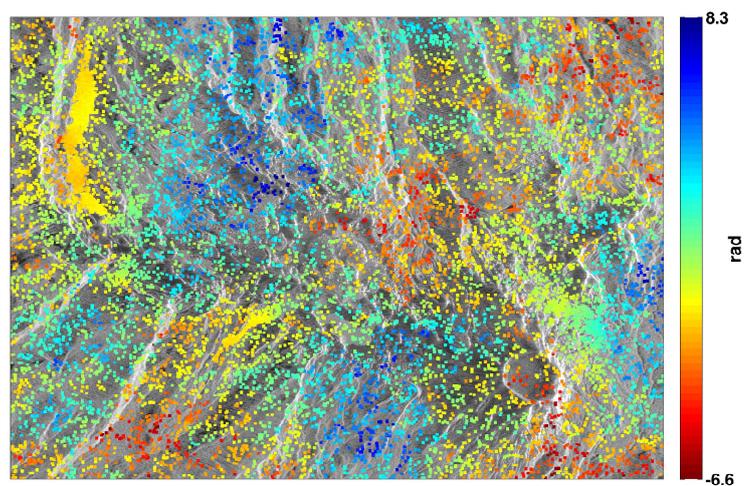


Figura B.2: Estimación de los Errores Orbitales y Atmosféricos de la imagen maestra - PSI.

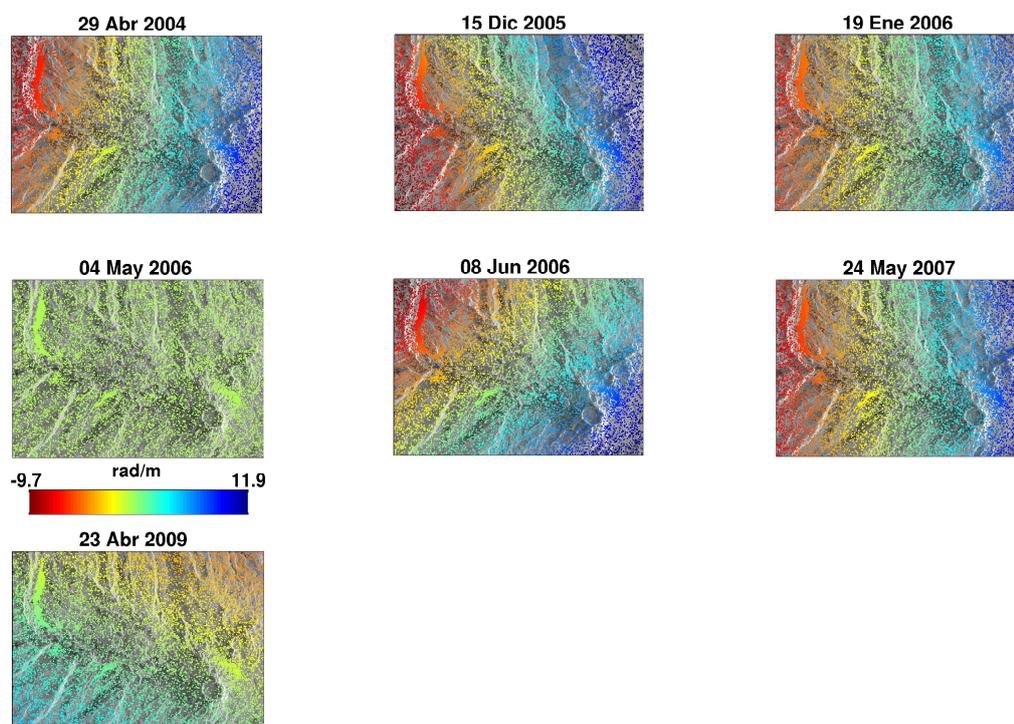


Figura B.3: Estimación de las rampas de fase para cada interferograma - PSI.

B.2. Caso Small Baseline Subset (SBAS)

B.2.1. Subconjunto - 1 SBAS

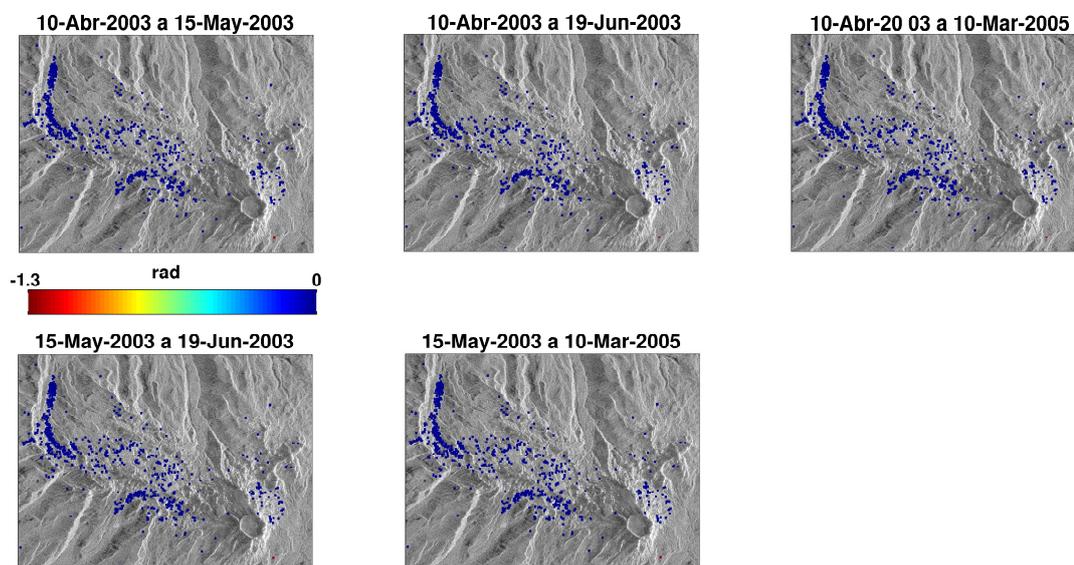


Figura B.4: Residuales entre los valores de fase desarrollados de los interferogramas y los valores del modelo de imagen maestra única- SBAS-1.

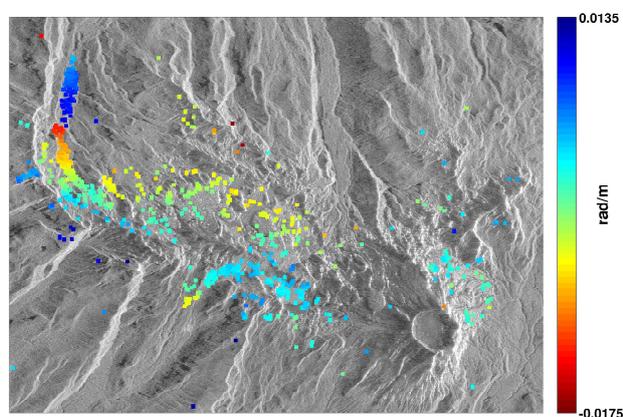


Figura B.5: Estimación del error del ángulo de vista espacialmente correlacionado - radianes/metro - SBAS-1.

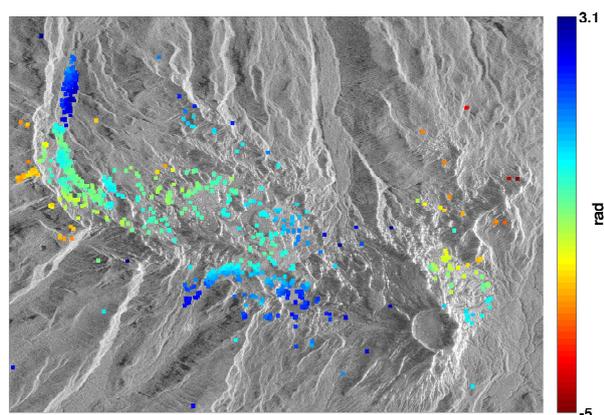


Figura B.6: Estimación de los Errores Orbitales y Atmosféricos de la imagen maestra - SBAS-1.

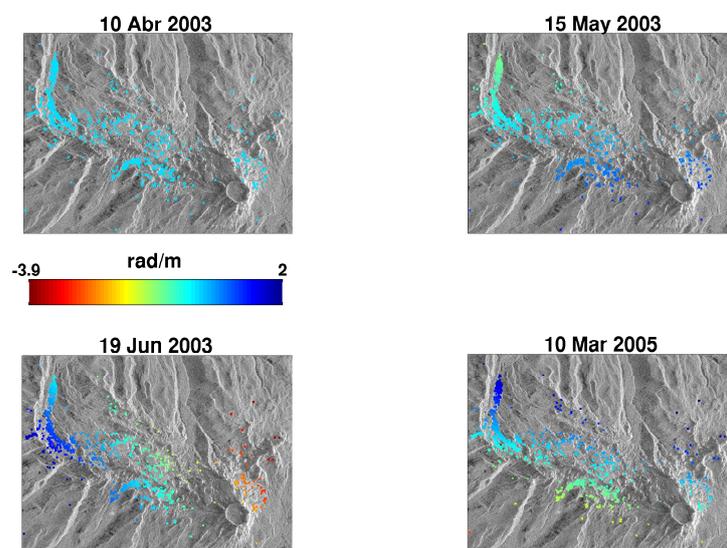


Figura B.7: Estimación de las rampas de fase para cada interferograma - SBAS-1.

B.2.2. Subconjunto - 2 SBAS

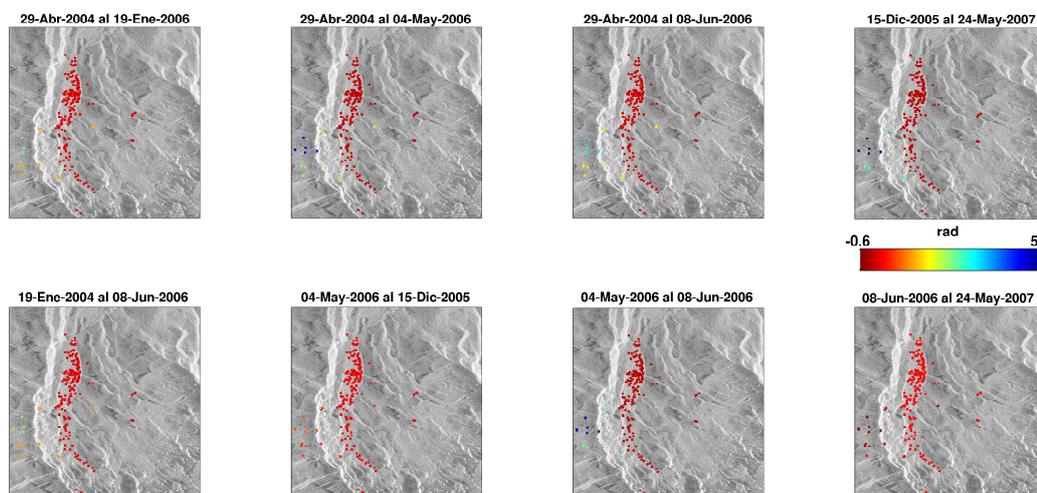


Figura B.8: Residuales entre la los valores de fase desenrollados de los interferogramas y los valores del modelo de imagen maestra única- SBAS-2.

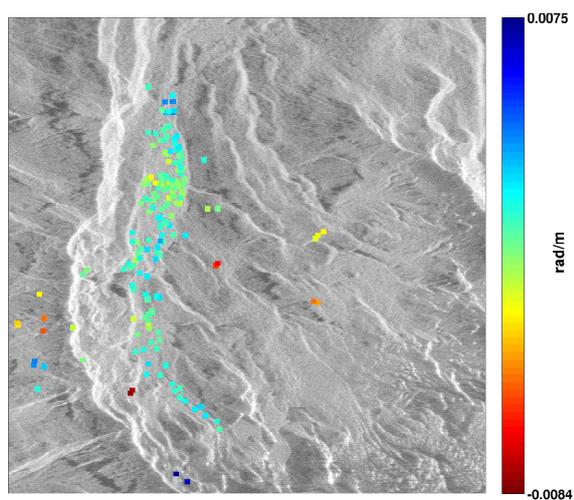


Figura B.9: Estimación del error del ángulo de vista espacialmente correlacionado en radianes/metro - SBAS-2.

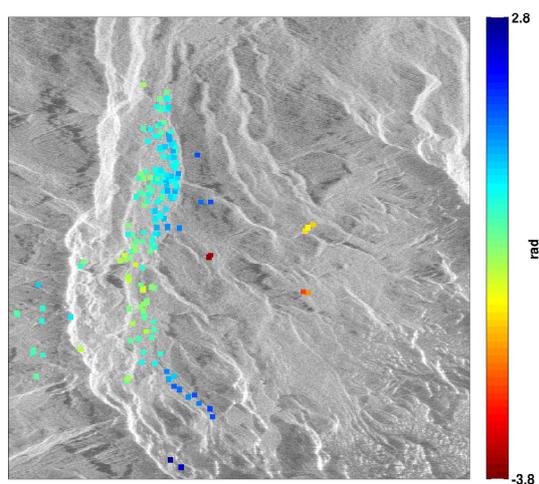


Figura B.10: Estimación de los Errores Orbitales y Atmosféricos de la imagen maestra - SBAS-2.

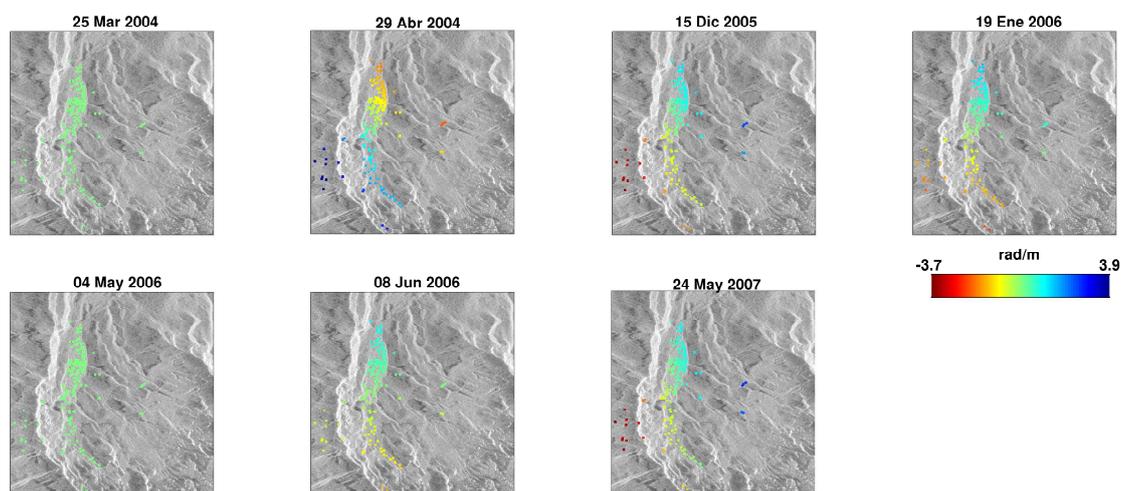


Figura B.11: Estimación de las rampas de fase para cada interferograma - caso SBAS-2.

