



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
ESPE
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y DE LA
CONSTRUCCIÓN



CARRERA DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA Y DEL MEDIO
“Metodología para identificar la deformación del relieve topográfico
aplicando Interferometría Diferencial Radar (DInSAR) en el área del
Distrito Metropolitano de Quito.”
AMBIENTE

Autoras:

Cruz Balseca Andrea Belén

Cruz Balseca Jessenia Belén

Director del proyecto:

Ing. Eduardo Kirby Powney, MSc.

Director de Carrera:

Ing. Alexander Robayo Nieto, MSc.

Docente Evaluador:

Ing. Marco Luna, PhD.

Secretaria Académica:

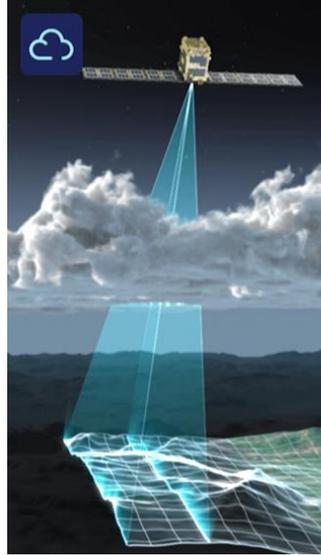
Abg. Michelle Benavides.

ANTECEDENTES

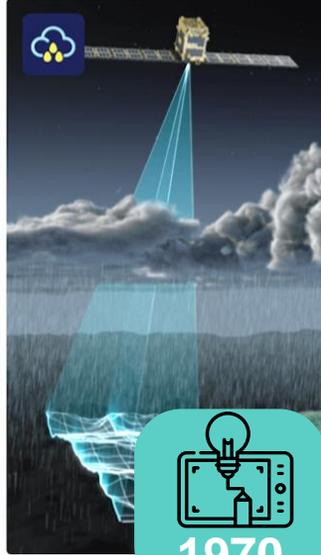


RADIO DETECTION AND RANGING

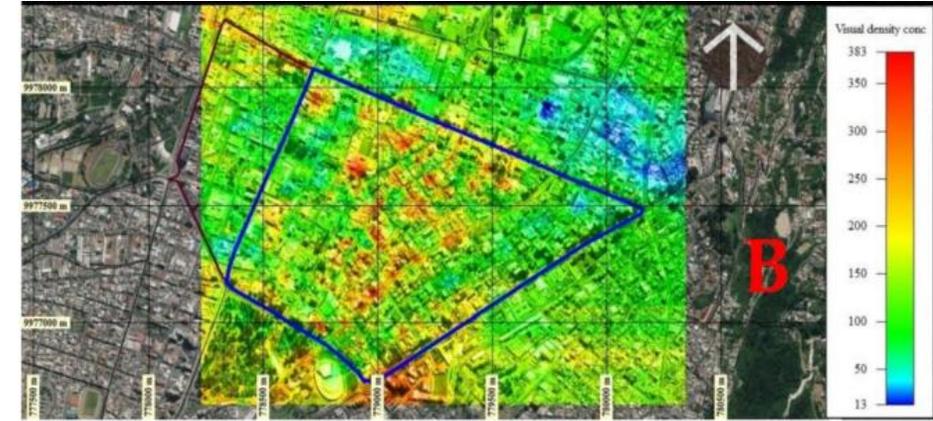
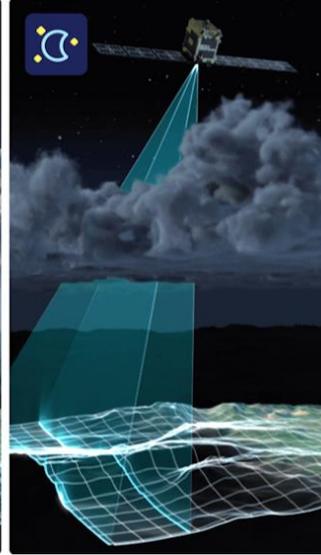
Inicios Siglo XX



Monitoreo de la superficie terrestre



1970



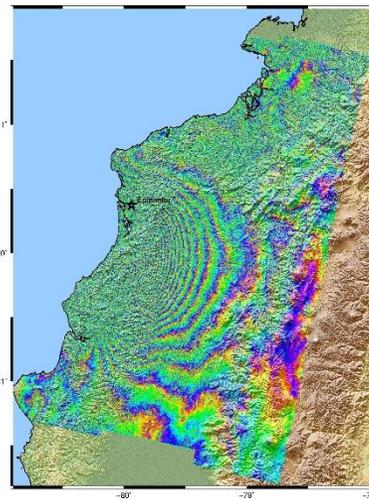
Deformaciones del terreno mediante DInSAR avanzado y análisis multitemporal.

2000- Presente

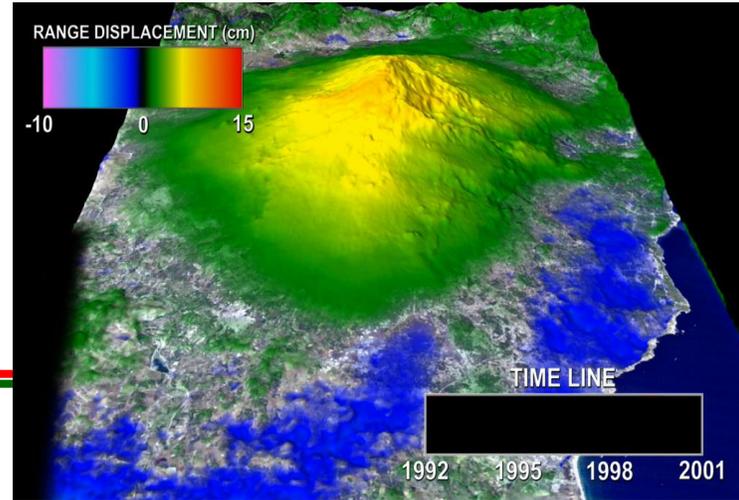
Usando imágenes de los satélites Sentinel 1A y 1B, en la ciudad de Quito.

Invencción del Radar

Durante Segunda Guerra Mundial adquirió gran importancia ámbito militar

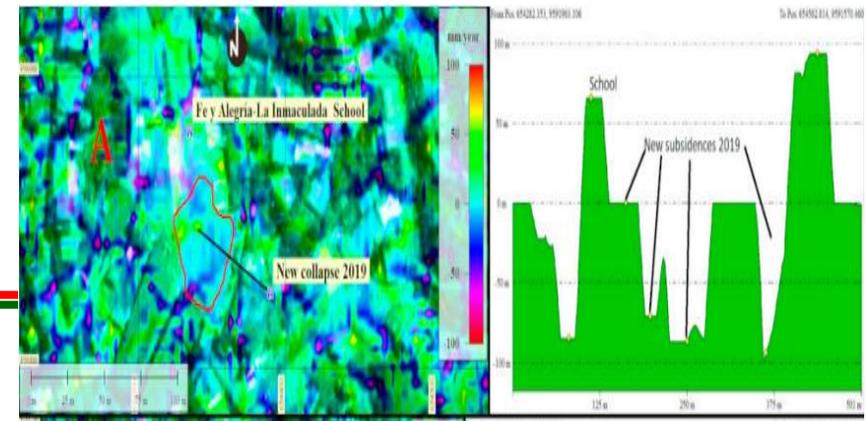


Técnica DInSAR



Hundimiento del suelo

A causa de las galerías mineras ilegales en el casco urbano de la ciudad de Zaruma, utilizando INSAR.



PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

JUSTIFICACIÓN

Causando pérdidas:

La deformación del relieve topográfico es un tipo de desastre geológico irreversible.

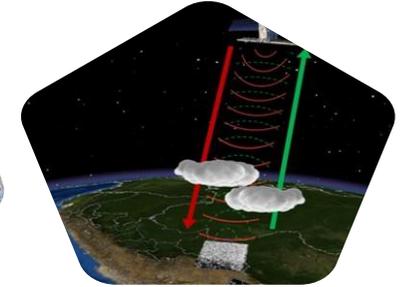


Deformación del relieve topográfico



Reducción:

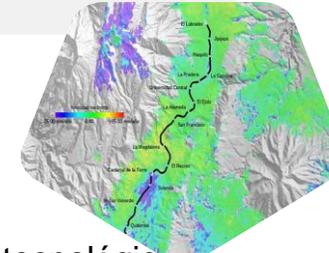
Insumos, recursos y personal



Beneficio:

Entidades privadas, públicas y gobiernos autónomos

Monitoreo de la superficie terrestre (DInSAR)



Moderna alternativa tecnológica

Información cartográfica, mapas de uso, mapas de desastres, planificación territorial



A partir de:

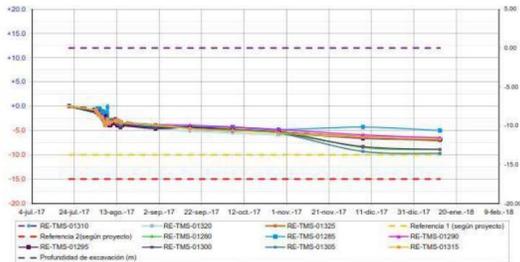
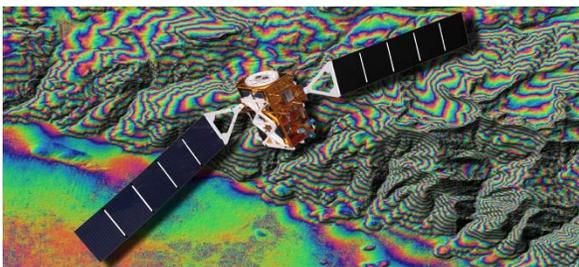
Independiente de la luz del día, de la cobertura de nubes y las condiciones meteorológicas.



Existen evidencias de deformación del suelo en las zonas edificadas del casco urbano del DMQ.

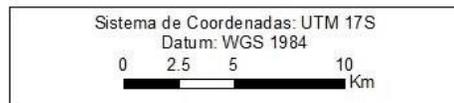
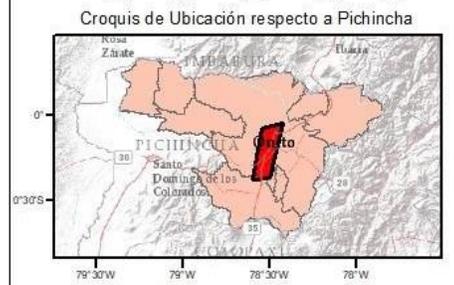
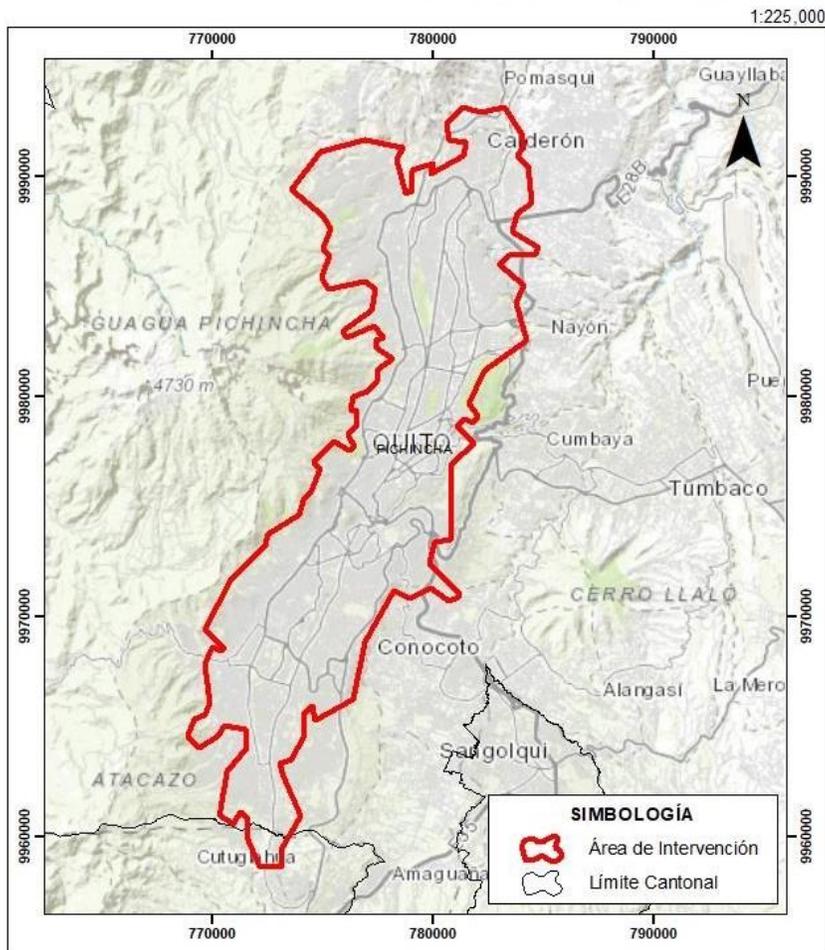


Monitoreo geotécnico: eje del túnel de la línea 1 del metro en Solanda.



ÁREA DE INTERVENCIÓN

ÁREA DE INTERVENCIÓN (DMQ)



	UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE				
	INGENIERÍA GEOGRÁFICA Y DEL MEDIO AMBIENTE				
Diseño de una metodología para determinar la deformación del relieve topográfico aplicando Interferometría Diferencial Radar (DInSAR) en el área del Distrito Metropolitano de Quito					
FECHA:	30/06/2022	ELABORADO POR:	ANDREA CRUZ JESSENIA CRUZ	REVISADO POR:	EDUARDO KIRBY
ESCALA:	1:225000				
IMPRESIÓN:					

Zona de Estudio

Región: Sierra

Provincia: Pichincha

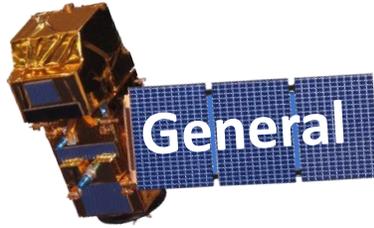
Zona: Distrito Metropolitano de Quito (DMQ)

Extensión de imágenes Sentinel-1:
60 km x 58 km



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

OBJETIVOS



General

Desarrollar una metodología para identificar las posibles zonas de deformación del relieve topográfico en el área del Distrito Metropolitano de Quito (DMQ), a partir de la aplicación de la técnica de interferometría diferencial Radar de apertura sintética (DInSAR) con imágenes Radar Sentinel-1, y por medio del uso de software copyleft y copyleft.



Específicos

Estandarizar la información secundaria satelital recopilada que cumpla con los requisitos para generar los interferogramas aplicados en el análisis de deformación por medio de la técnica DInSAR.

Corregistrar los distintos pares de imágenes SAR a partir del uso de software copyright y copyleft con la finalidad de generar el proceso interferométrico de pares de imágenes SAR.

Generar un análisis en series de tiempo a partir del desarrollo de la fase de los interferogramas con el objetivo de determinar las posibles zonas de deformación por hundimientos y/o levantamientos de la superficie terrestre.

Apilar los interferogramas diferenciales a través del promedio de las series temporales para la obtención de los mapas de deformación en línea de vista de satélite (LOS) dentro del período de investigación (2017-2018 y 2021-2022).

Evaluar las deformaciones del relieve topográfico obtenidas con DInSAR utilizando: las técnicas GNSS-GPS a través de los vértices de la red de control vertical del DMQ, y a partir de evidencias fotográficas.

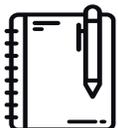


METAS

1

Sets de imágenes

Sentinel-1 SLC de libre descarga

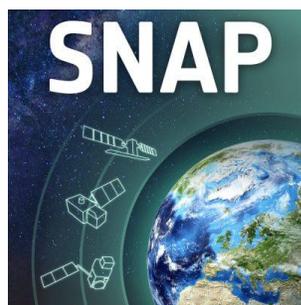


Manuales de usuario

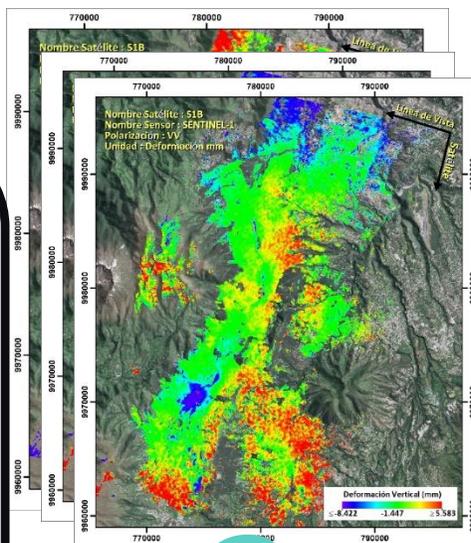


Obtención de corregritos, interferogramas, desarrollo de fase, deformación en vista de satélite y en vertical.

2



ENVI



3

Mapas de deformación

En línea de vista de satélite (LOS) y en proyección vertical



Análisis estadístico y comparativo



Deformaciones obtenidas por DInSAR vs. las mediciones realizadas en campo

4

Período de Investigación	Diferencia Deformación SNAP vs ENVI (mm)
Promedio (2017_2018)	-5.75
Promedio (2021_2022)	-4.32

ENVI LOS 2021-2022 IX-L3-2A-AJ

Media	-0.6925926
Error típico	0.13826953
Mediana	-0.5
Moda	-0.5
Desviación estándar	1.01606935
Varianza de la muestra	1.03239693
Curtosis	1.5588236
Coefficiente de asimetría	-1.0514553
Rango	4.8
Mínimo	-3.7
Máximo	1.1
Suma	-37.4
Cuenta	54
Nivel de confianza (95.0%)	0.27733355

5

Archivo fotográfico

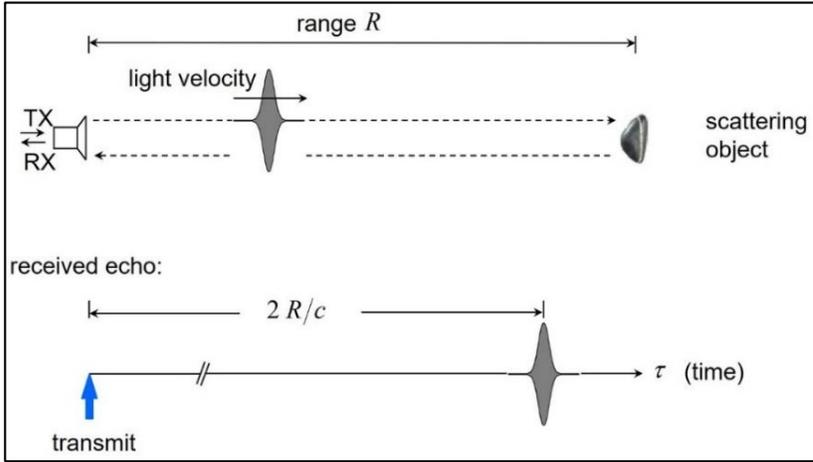


ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

FUNDAMENTOS TEÓRICOS

Radar

RADIO DETECTION AND RANGING



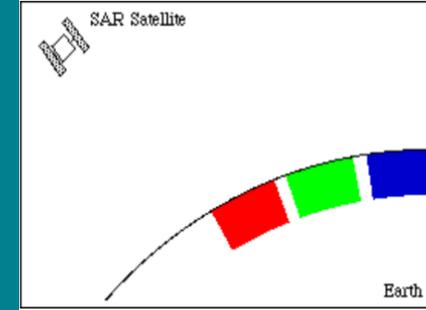
Adquisiciones de microondas activas

Amplitud



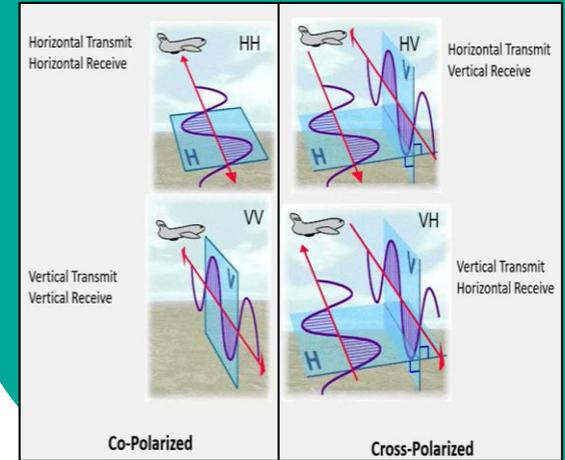
Forma la imagen SAR

Fase



Mide el alcance de los objetos en el suelo

Polarización



Dirección



Orientación de la antena

Distancia



Tiempo de vuelo de la señal hacia y desde el objetivo

Velocidad

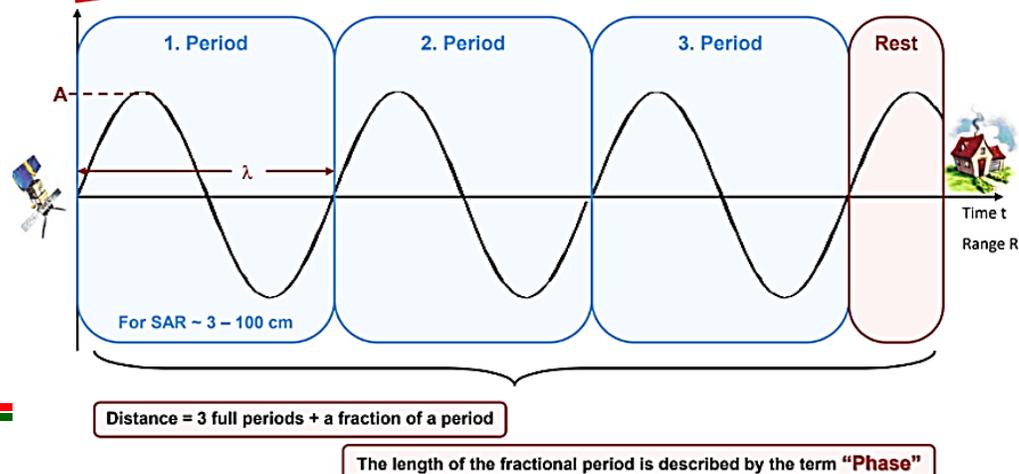


Desplazamiento Doppler del eco

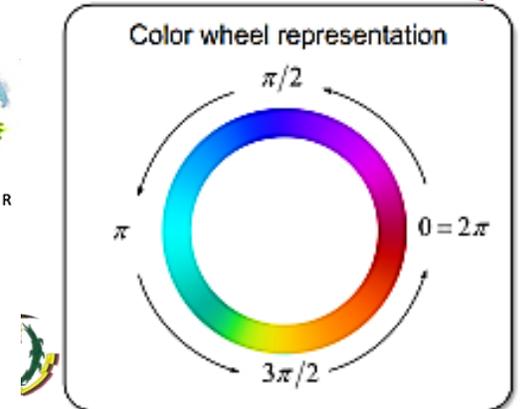
Sección Transversal de Dispersión



Comparación de la energía del eco de retorno con la de la señal transmitida

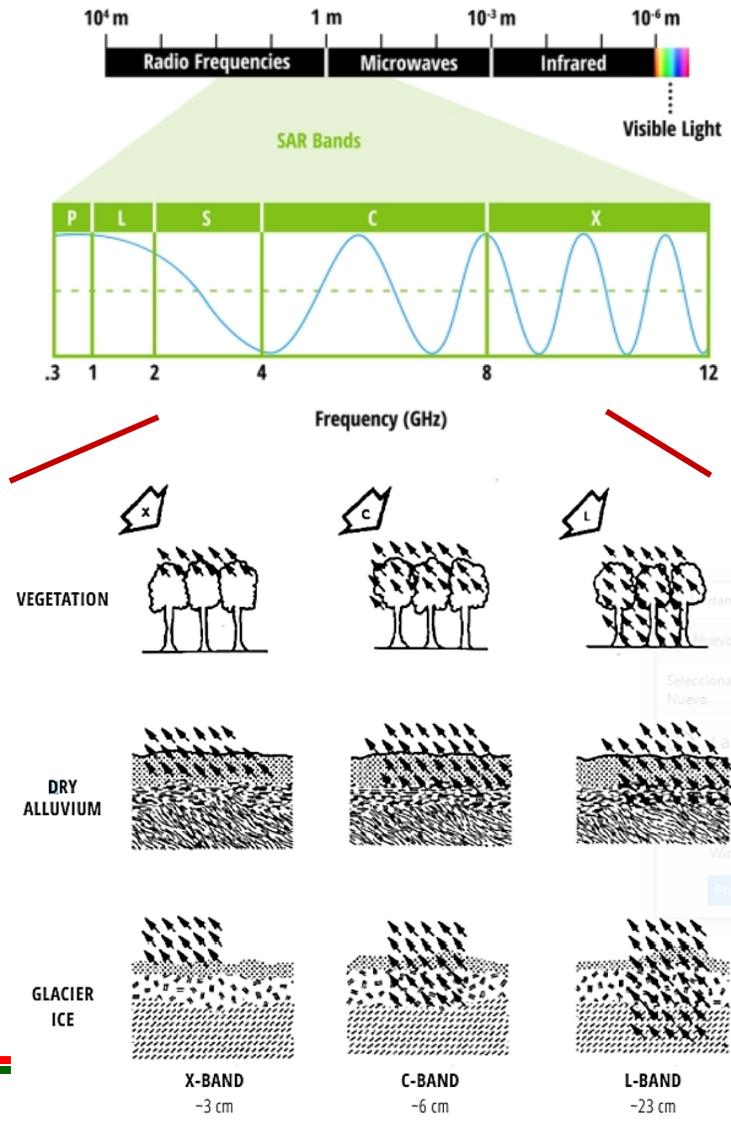


Color wheel representation

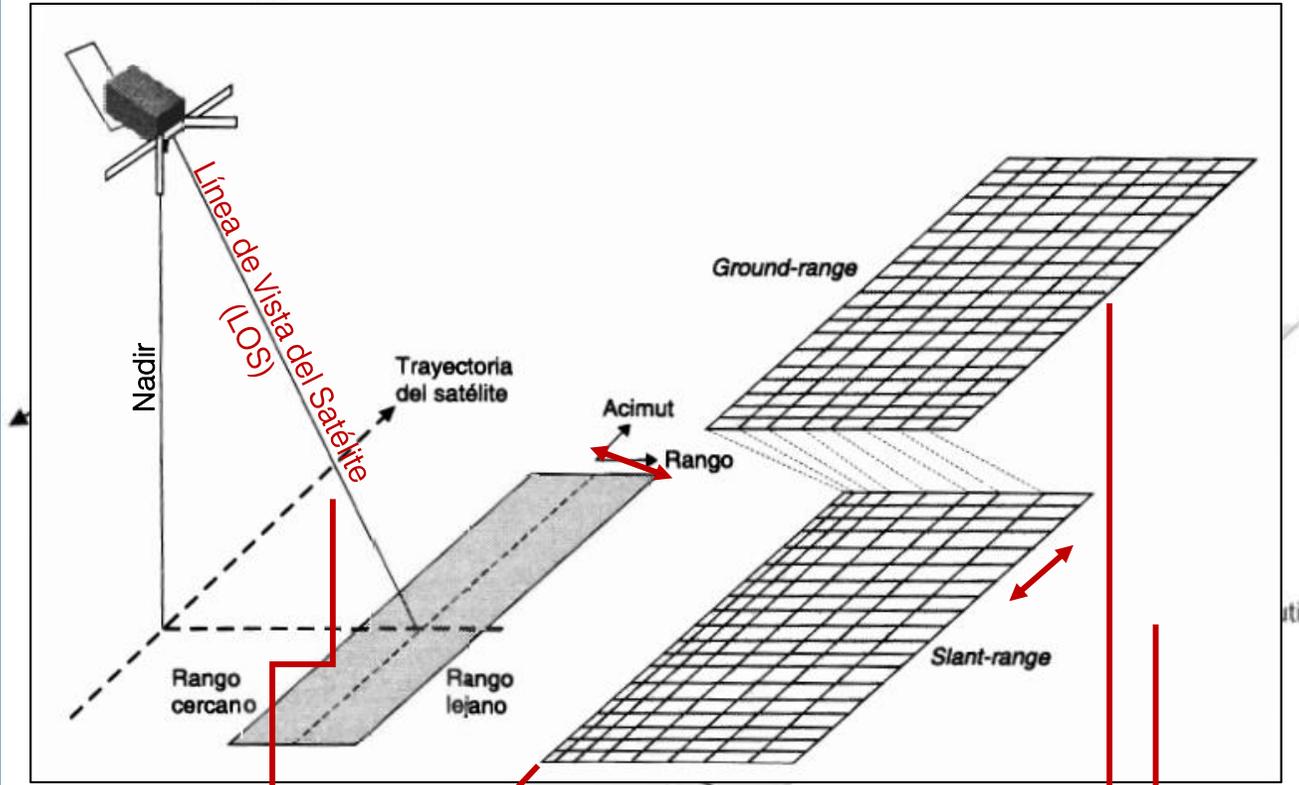


FUNDAMENTOS TEÓRICOS

Bandas del Sistema Radar



Geometría SAR



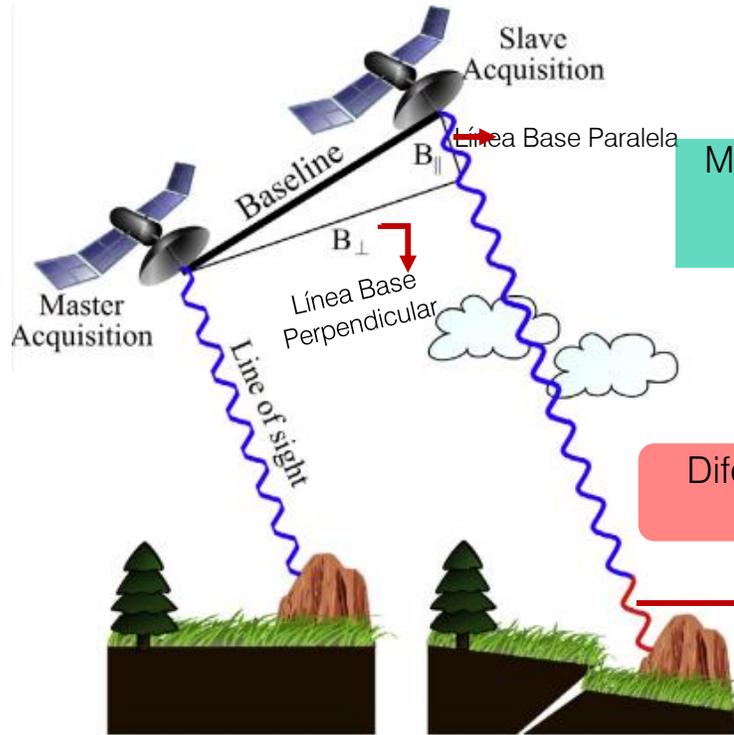
Geometría en Rango Inclinado-Slant Range
 Formato de las imágenes SAR sobre LOS entre el sensor y el objeto observado.

Resolución en Azimut
 Depende del ancho angular del haz de la antena.



FUNDAMENTOS TEÓRICOS

Interferometría Radar de Apertura Sintética (InSAR)



Mide la deformación de la superficie terrestre.

Diferencia de fase

Corregistro

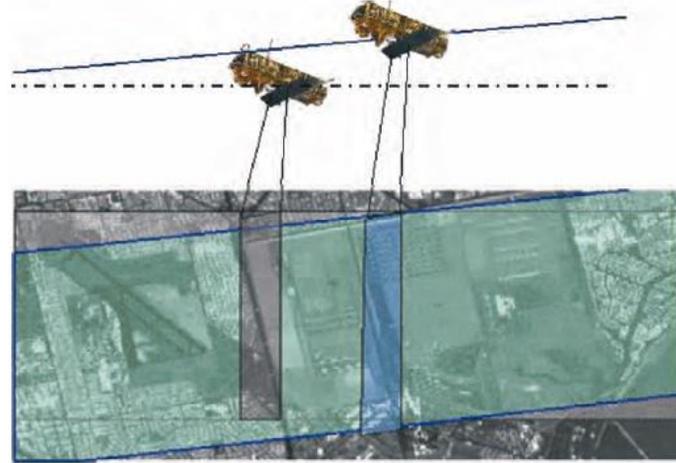


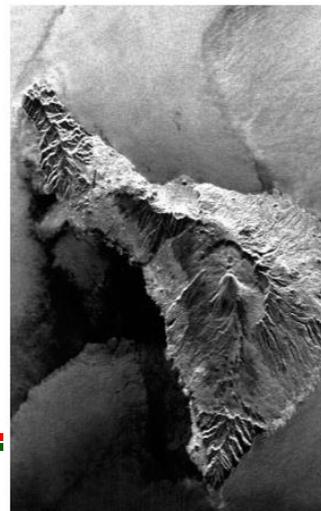
Imagen master

Imagen esclava

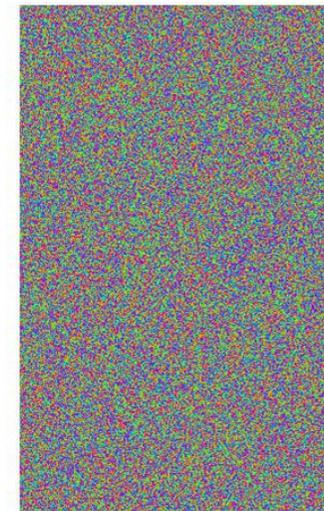
Compensar:

- Desviación de la órbita.
- Diferentes frecuencias de muestreo.
- Deformaciones por la línea de base entre las dos adquisiciones.

Intensidad



Fase



+

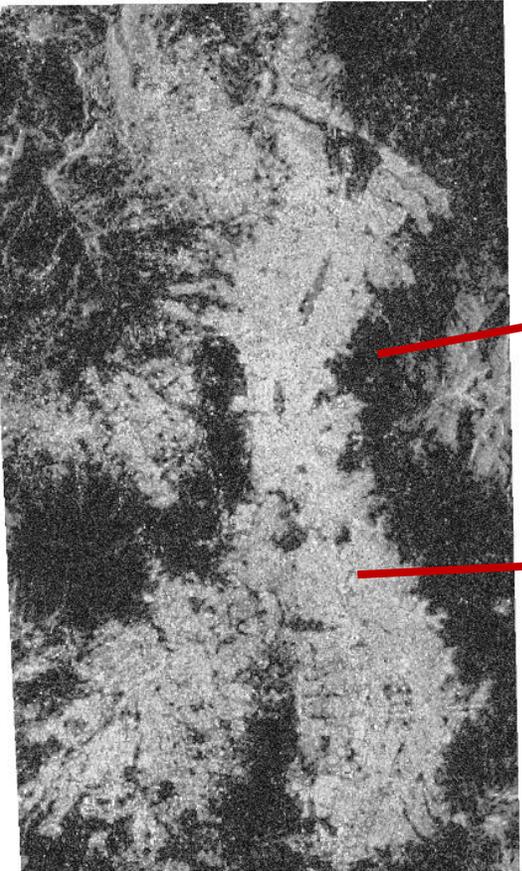
=

Interferograma



FUNDAMENTOS TEÓRICOS

Coherencia

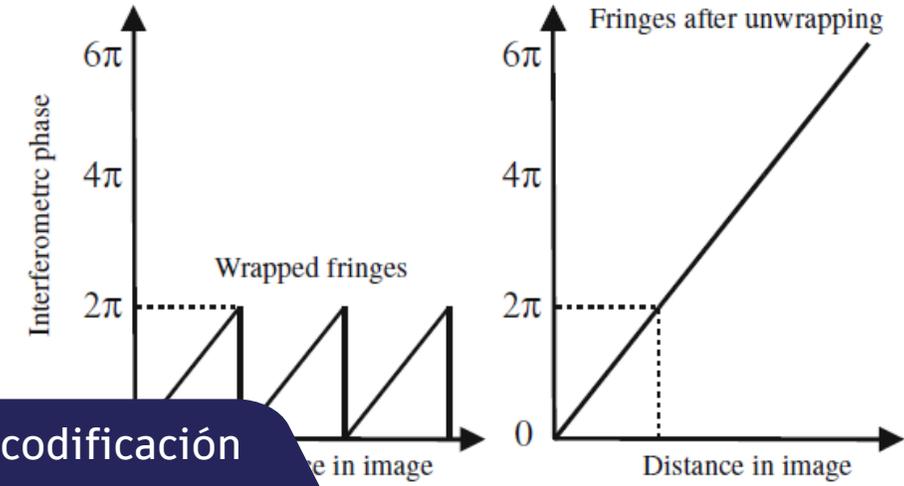


Medida de similitud entre las dos imágenes que forman un interferograma

0 **Baja Coherencia**
No hay similitudes entre las dos imágenes radar.

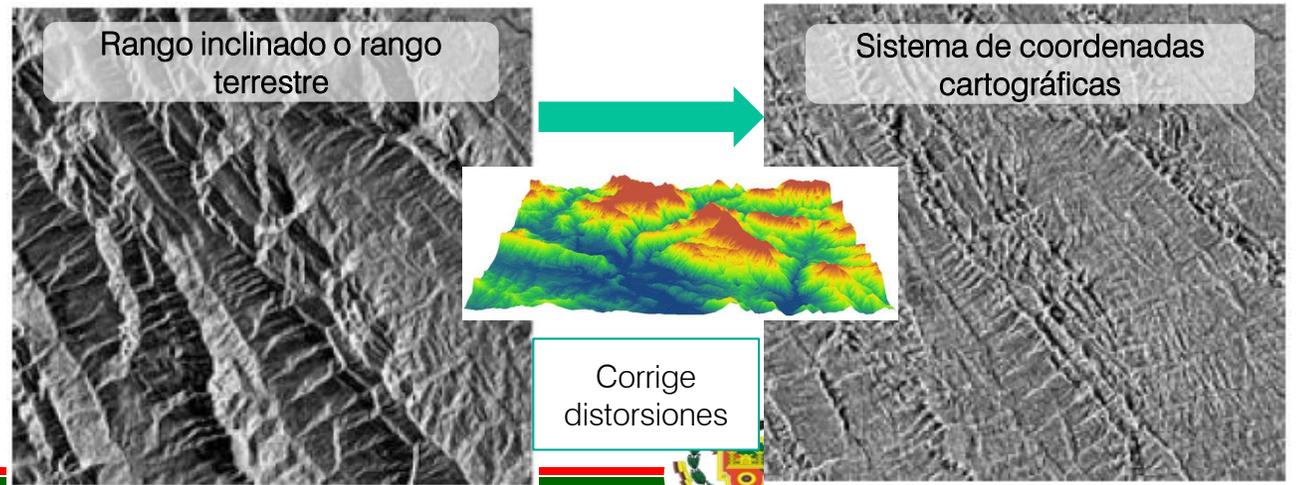
1 **Alta Coherencia**
Dos imágenes de radar perfectamente idénticas

Desenrrollo de la Fase Interferométrica



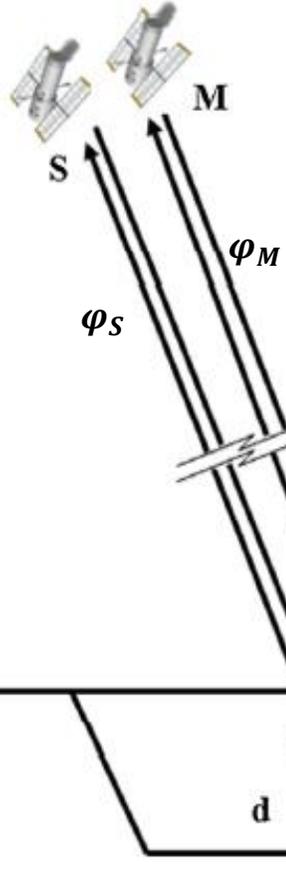
Geocodificación

Convierte una imagen SAR



FUNDAMENTOS TEÓRICOS

Interferometría Diferencial de Radar de Apertura Sintética (DInSAR)



Fase Interferométrica

$$\Delta\varphi_{Int} = \varphi_S - \varphi_M = \varphi_{displ} + \varphi_{topo} + \varphi_{Atm} + \varphi_{Orb} + \varphi_{Noise} + 2.k.\pi$$

Desplazamiento ocurrido en la superficie entre dos adquisiciones SAR

Contribución de fase topográfica

Componente de fase atmosférica

Contribución de fase orbital

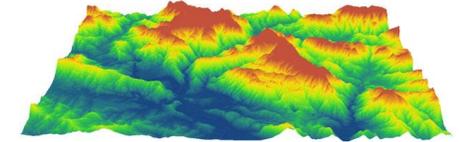
Ruido presente en la fase

Ambigüedad de fase

Fase DInSAR

$$\Delta\varphi_{D-Int} = \Delta\varphi_{Int} - \varphi_{Topo_simu}$$

Componente topográfica simulada



Principio DInSAR

$$\Delta\varphi_{D-Int} = \varphi_{displ} + \varphi_{topo_res} + \varphi_{Atm_S} - \varphi_{Atm_M} + \varphi_{Orb_S} - \varphi_{Orb_M} + \varphi_{Noise} + 2.k.\pi$$

Principales Limitaciones

Decorrelacione

Temporales y Geométricas

Desenrrrollo de fase

Estimación de la ambigüedad de fase

Contribución de

La atmósfera

φ_{Noise}



FUNDAMENTOS TEÓRICOS

Técnicas Multitemporales DInSAR

Apilamiento Diferencial SAR (Stacking DInSAR)

Estima el desplazamiento lineal de la superficie utilizando un conjunto de interferogramas diferenciales desenrollados.

$$v_{disp} = \frac{d_{cum}}{t_{cum}}$$

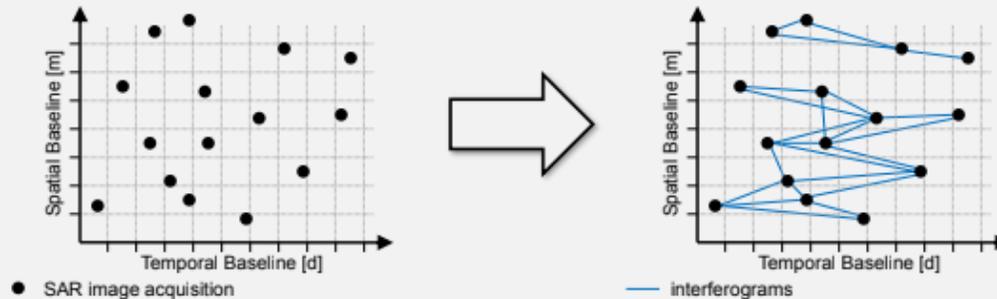
Velocidad media de desplazamiento

Minimizando errores:

- Contribución de la atmósfera
- Ruido de la fase
- Topografía residual

Small Baseline Subset (SBAS)

Combinación eficaz de interferogramas diferenciales caracterizados por una pequeña línea base espacial y temporal

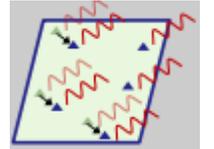


Objetivos Distribuidos

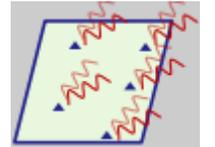


- Mayor densidad de puntos en terreno natural.
- Aplicable a grandes áreas.
- Dispersión (pasto, praderas, suelo desnudo).
- Coherencia como medida de calidad.

Decorrelación Temporal



Decorrelación Espacial

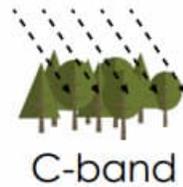


FUNDAMENTOS TEÓRICOS

SATÉLITE SENTINEL-1

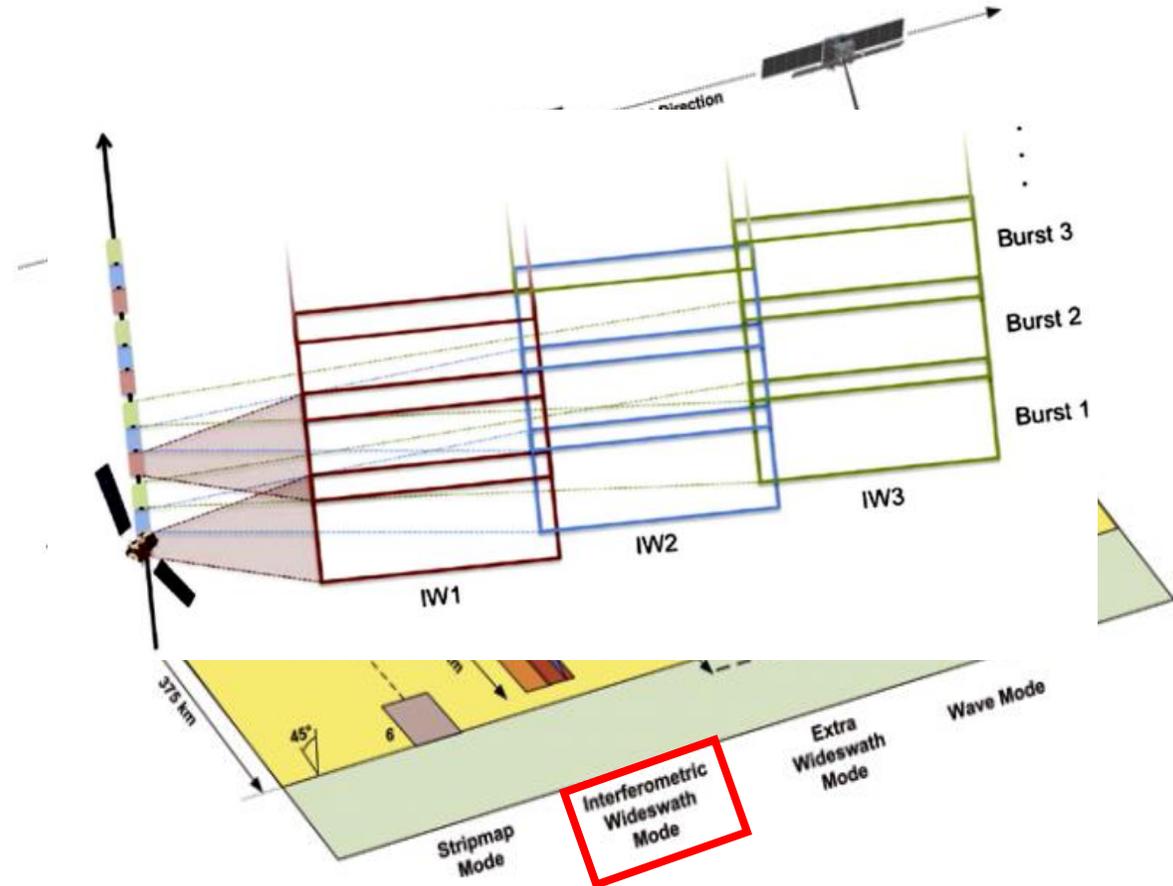
Características Generales

- Sentinel: 1A – 1B
- Órbita: Ascendente y Descendente
- Banda C: 5 cm
- Polarización: VV
- Resolución Temporal: 12 días / 6 días



Modo de Adquisición

Interferometric Wide Swath Mode (IW)



Nivel de Adquisición

Single Look Complex (SLC)

Nivel 0

Nivel 1

Nivel 2

- SLC
- GRD

- OCN

Amplitud
Representa la reflectividad de la superficie observada

Fase
En función de la distancia del sensor al objetivo.



METODOLOGÍA

Set de Imágenes SLC

Sentinel 1B

2017-2018

2021-2022

1

Pre DInSAR

2

Procesamiento DInSAR

3

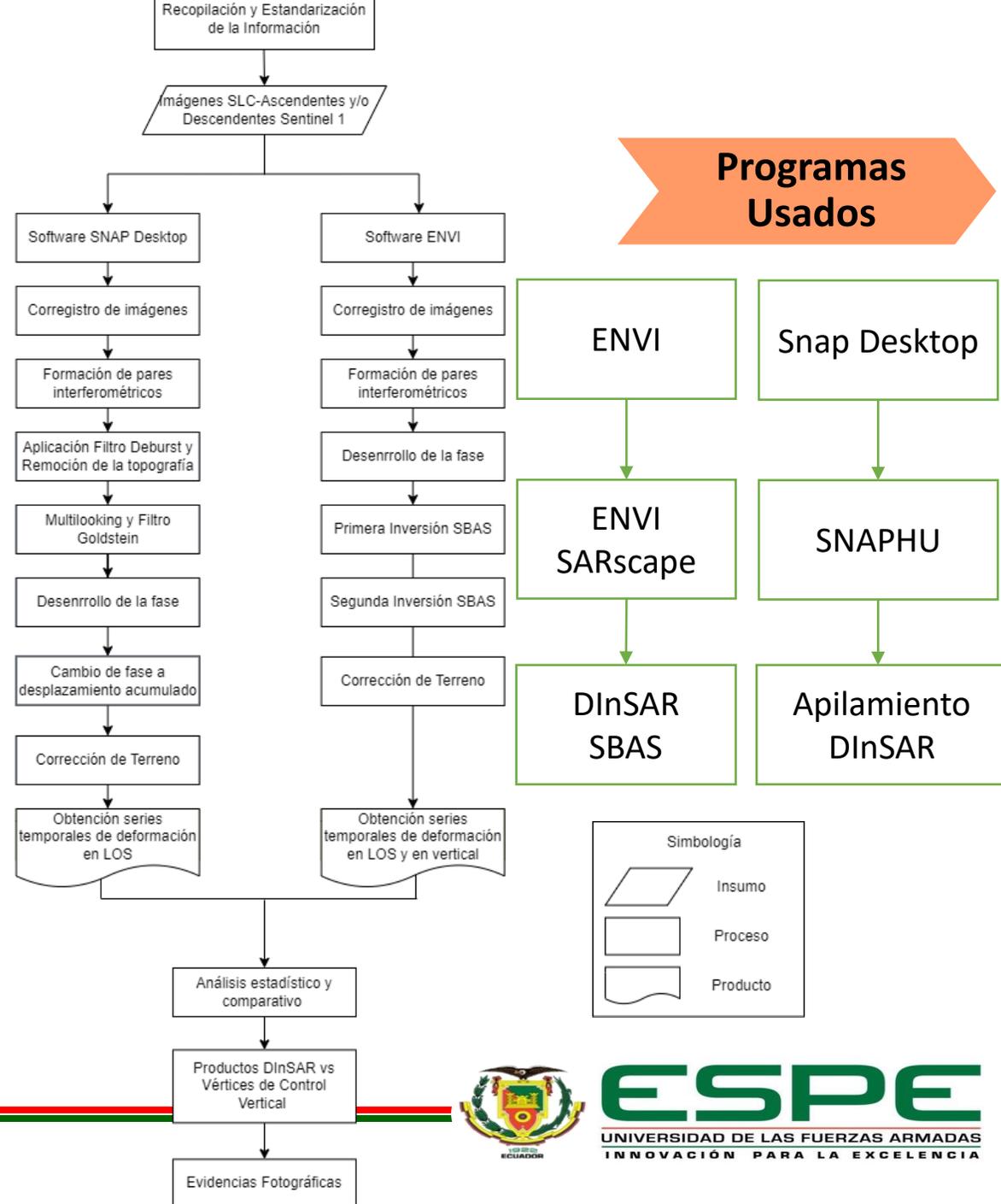
Validación DInSAR

Literatura de Notti et al., (2015); Peñaloza y Tocasuche, (2018) y Braun y Veci, (2021); enfocada en la zona de estudio y con especial atención a los fenómenos de hundimientos y levantamientos.

Fase 1: Pre DInSAR

Fase 2: Procesamiento DInSAR

Fase 3: Validación DInSAR





METODOLOGÍA

Fase 1: Pre DInSAR

Características de Imágenes SAR: Sentinel-1

Plataformas Utilizadas

Alaska Satellite Facility
Vertex

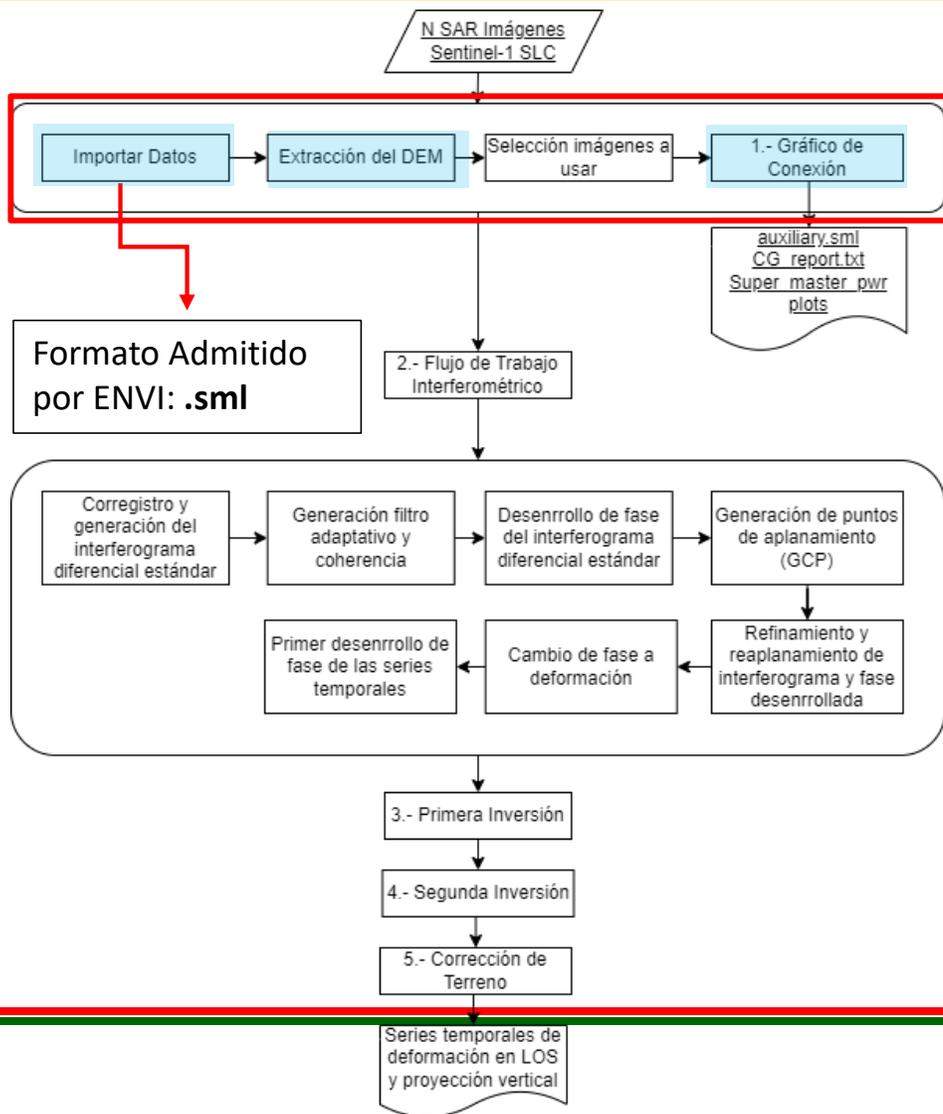
	Período 1	Período 2
Tipo	SAR	
Sistema	Sentinel-1A y 1B	
Fecha de captura	2017 – 03 – 03	2021 – 01 – 11
	2018 – 06 – 14	2022 – 01 – 30
Nº de Imágenes (ENVI)	40	54
Nº de Imágenes (SNAP)	32	29
Banda	C	
Modo de adquisición	IW TOPSAR	
Nivel de Procesamiento	Nivel 1 – SLC	
Polarización	VV	
Dirección	Descendente	
Resolución Geométrica	5 x 20 m	
Resolución Temporal	6-12 días	

Fuente: Agencia Espacial Europea (ESA)



METODOLOGÍA

Generación modelos de deformación de la superficie terrestre en software ENVI



Fase 2: Procesamiento DInSAR



03/03/2017-14/06/2018

40 set imágenes SLC Sentinel 1B

11/01/2021-30/01/2022

54 set imágenes SLC Sentinel 1B

1) Procesamiento Inicial

Gráfico de Conexión

Establece el límite de la línea temporal en días.

SBAS Connection Graph

SBAS Connection Graph

Input Files | Optional Files | Parameters | Output Files

Principal Parameters

Main Parameters	
Min Normal Baseline (%)	0
Max Normal Baseline (%)	2
Min Temporal Baseline (days)	0
Max Temporal Baseline (days)	90
Degree of Redundancy	Low
Redundacy Criteria	Min Normal Baseline
Max Connections per Acquisition	8
Allow Disconnected Blocks	False

Store Batch | Exec | Close

Determina el % máximo de la línea base crítica.



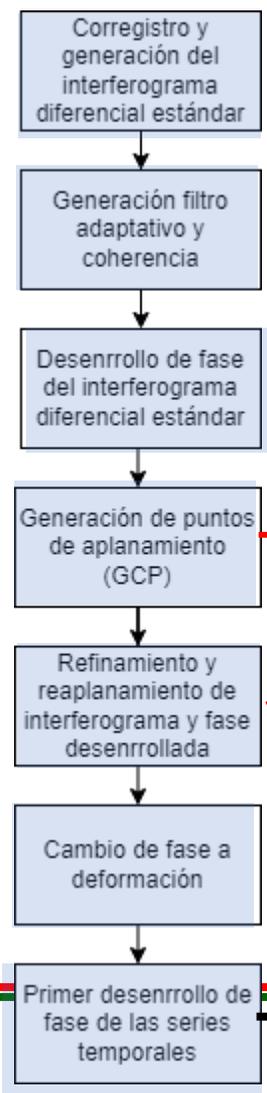
METODOLOGÍA

Fase 2: Procesamiento DInSAR

Generación modelos de deformación de la superficie terrestre en software ENVI

2) Flujo de Trabajo Interferométrico

Corregistro y generación del Interferograma Diferencial Estándar



DInSAR Displacement
Select Input

Workflow: Input, Import Generic SAR Data, Interferogram Generation, Adaptive Filter and Coherence, Phase Unwrapping, GCP Selection, Refinement and Replaning, Phase to Displacement, Output

Input File: DEM

Input Master File (Mandatory): sentinel1_142_20171110_105138384_IW_D_VV_slc_list

Area of Interest in Geographic Coordinates (Optional): [Empty]

Buttons: < Back, Next >, Next >>, Cancel

Proporciona valores absolutos de fase.

Refina la fase de los interferogramas diferenciales desenrollados.
(Fecha Consecutiva)



SBAS Geocoding

SBAS Inversion: Second Step

Second Step

Input Files: [Empty]

Optional Files: [Empty]

Parameters: Principal Parameters

Main Parameters	
Rebuild All	False
Height Precision	
Velocity Precision	
Product Temporal	
Water Mask (dB)	
Make Geocoded	0.22
Interpol Disconnected Blocks	False
Min Valid Interferograms %	65
Min Valid Acquisitions %	90
Atmosphere Low Pass Size (m)	1600
Atmosphere High Pass Size (days)	365
Refinement Radius (m)	22.5
Refinement Res Phase Poly Degree	3

Buttons: Store Batch, Exec, Close



METODOLOGÍA

Fase 2: Procesamiento DInSAR

Generación modelos de deformación de la superficie terrestre en software SNAP

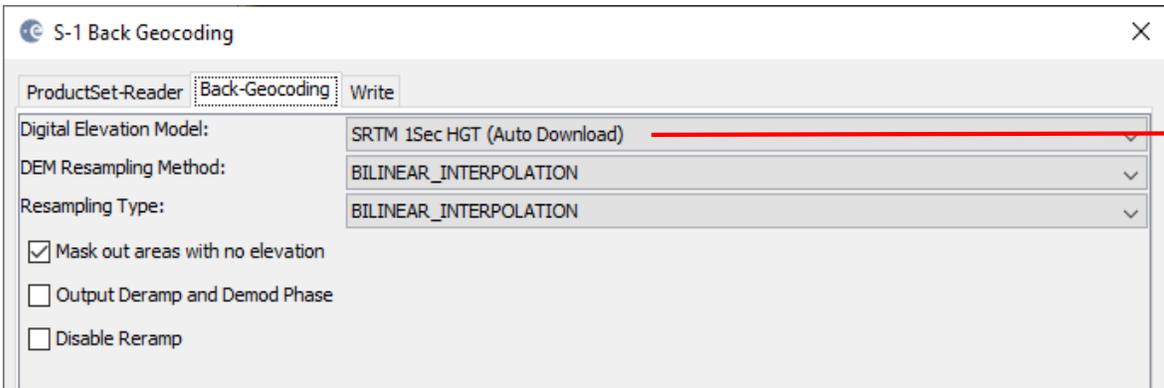
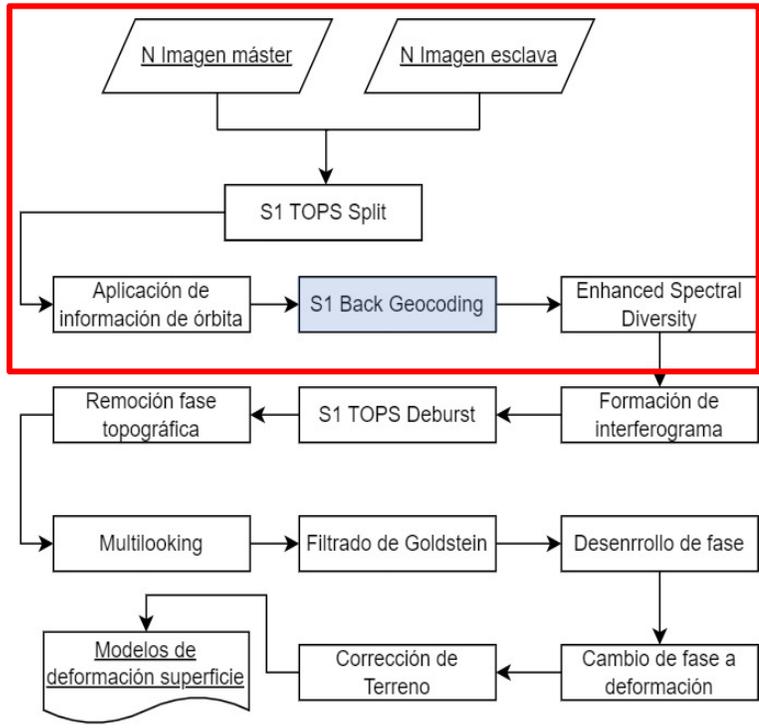
1) Corregistro

07/06/2017-26/06/2018

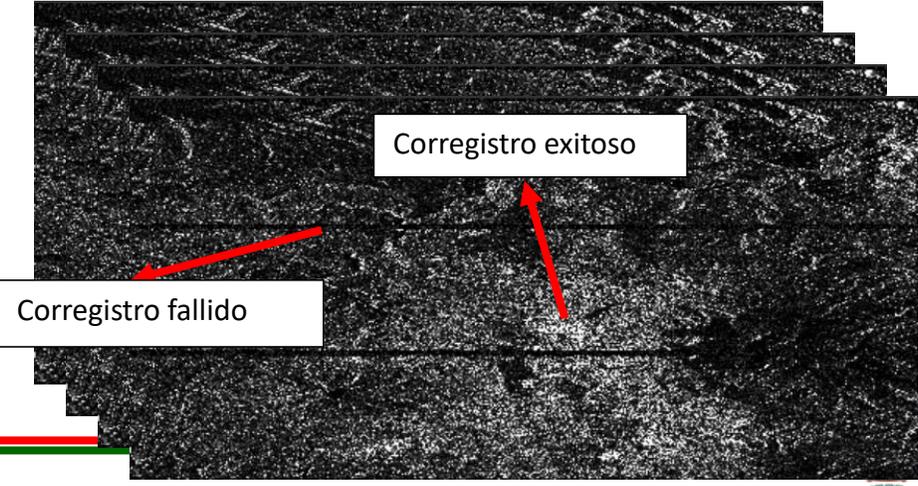
32 set imágenes SLC Sentinel 1B

17/01/2021-19/12/2022

29 set imágenes SLC Sentinel 1B



modelo global SRTM de 1 arco de segundo





METODOLOGÍA

Generación modelos de deformación de la superficie terrestre en software SNAP

2) Formación Interferogramas y Coherencias

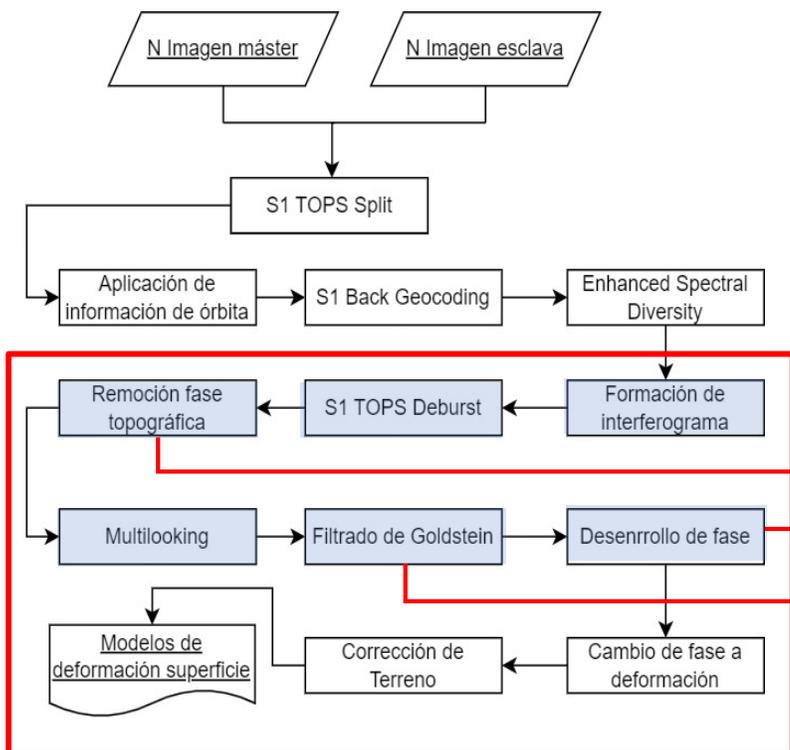
07/06/2017-26/06/2018

32 set imágenes SLC Sentinel 1B

17/01/2021-19/12/2022

29 set imágenes SLC Sentinel 1B

Fase 2: Procesamiento DInSAR



Interferogram Formation

File Help

Fase

Coherencia

Píxel cuadrado de la imagen de salida.

Interferograma diferencial acentuado

SNAPHU Export

Snaphu Unwrapping

SNAPHU Import

Desenrollo del interferograma

Para acentuar las franjas de los Interferogramas.

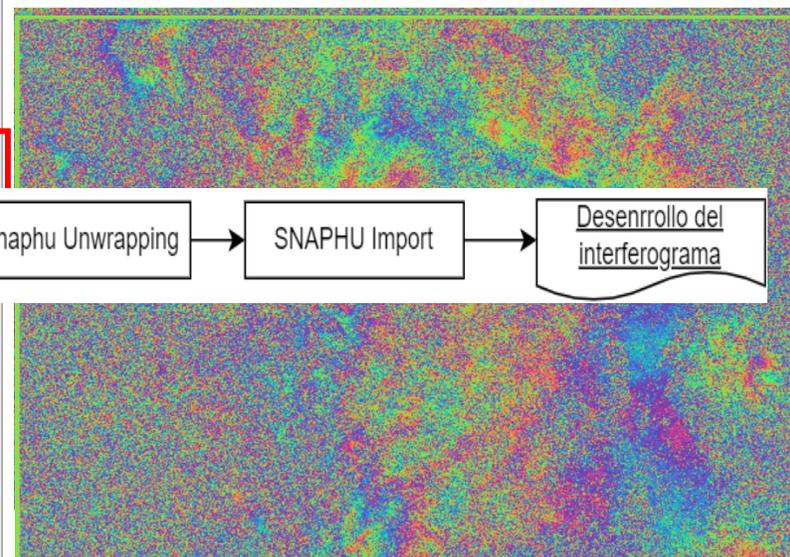
Eliminar líneas transversales de la

Reduce el moteado.

Coherence Range Window Size: 10

Coherence Azimuth Window Size: 2

Run Close





METODOLOGÍA

Fase 2: Procesamiento DInSAR

Generación modelos de deformación de la superficie terrestre en software SNAP

3) Fase a Deformación

07/06/2017-26/06/2018

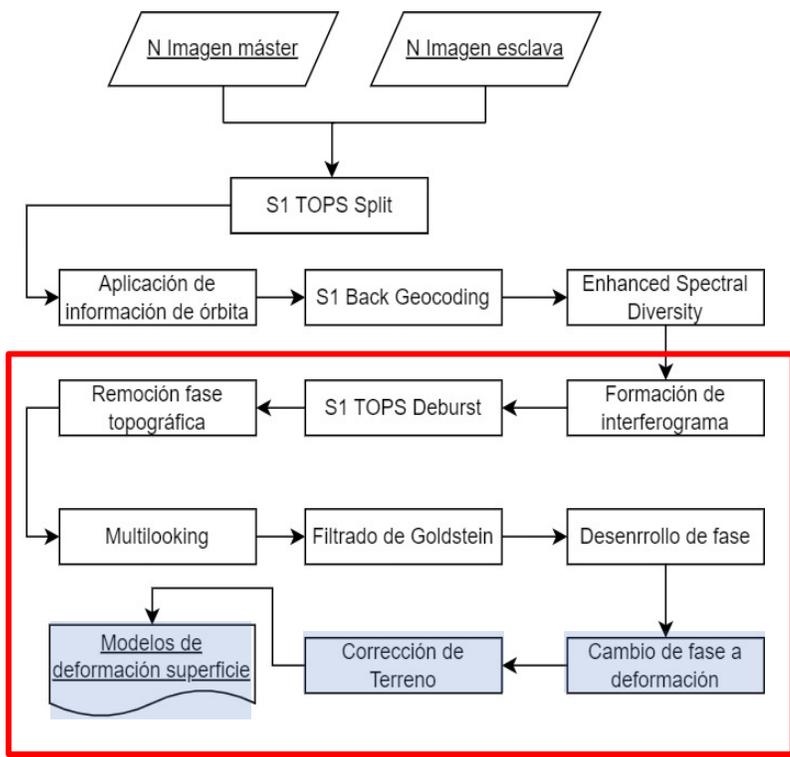
32 set imágenes SLC Sentinel 1B

17/01/2021-19/12/2022

29 set imágenes SLC Sentinel 1B



Cambio de fase de las series temporales de deformación de terreno



Create Stack

File Name	Type	Acquisition
subset_20170607_20170619_unw_dsp_TC	Unknown Sensor Type	07Jun2017
subset_20170619_20170701_unw_dsp_TC	Unknown Sensor Type	19Jun2017
subset_20170701_20170713_unw_dsp_TC	Unknown Sensor Type	01Jul2017
subset_20170713_20170725_unw_dsp_TC	Unknown Sensor Type	13Jul2017
subset_20170725_20170806_unw_dsp_TC	Unknown Sensor Type	25Jul2017
subset_20170806_20170818_unw_dsp_TC	Unknown Sensor Type	06Aug2017
subset_20170818_20170830_unw_dsp_TC	Unknown Sensor Type	18Aug2017
subset_20170830_20170911_unw_dsp_TC	Unknown Sensor Type	30Aug2017
subset_20170911_20170923_unw_dsp_TC	Unknown Sensor Type	11Sep2017
subset_20170923_20171005_unw_dsp_TC	Unknown Sensor Type	23Sep2017
subset_20171005_20171017_unw_dsp_TC	Unknown Sensor Type	05Oct2017
subset_20171017_20171029_unw_dsp_TC	Unknown Sensor Type	17Oct2017
subset_20171029_20171110_unw_dsp_TC	Unknown Sensor Type	29Oct2017
subset_20171110_20171122_unw_dsp_TC	Unknown Sensor Type	10Nov2017
subset_20171122_20171204_unw_dsp_TC	Unknown Sensor Type	22Nov2017
subset_20171204_20171216_unw_dsp_TC	Unknown Sensor Type	04Dec2017
subset_20171216_20171228_unw_dsp_TC	Unknown Sensor Type	16Dec2017
subset_20171228_20180109_unw_dsp_TC	Unknown Sensor Type	28Dec2017
subset_20180109_20180121_unw_dsp_TC	Unknown Sensor Type	09Jan2018
subset_20180121_20180202_unw_dsp_TC	Unknown Sensor Type	21Jan2018
subset_20180202_20180214_unw_dsp_TC	Unknown Sensor Type	02Feb2018
subset_20180214_20180226_unw_dsp_TC	Unknown Sensor Type	14Feb2018
subset_20180226_20180310_unw_dsp_TC	Unknown Sensor Type	26Feb2018
subset_20180310_20180403_unw_dsp_TC	Unknown Sensor Type	10Mar2018
subset_20180403_20180415_unw_dsp_TC	Unknown Sensor Type	03Apr2018
subset_20180415_20180427_unw_dsp_TC	Unknown Sensor Type	15Apr2018
subset_20180427_20180509_unw_dsp_TC	Unknown Sensor Type	27Apr2018
subset_20180509_20180521_unw_dsp_TC	Unknown Sensor Type	09May2018
subset_20180521_20180602_unw_dsp_TC	Unknown Sensor Type	21May2018
subset_20180602_20180614_unw_dsp_TC	Unknown Sensor Type	02Jun2018
subset_20180614_20180626_unw_dsp_TC	Unknown Sensor Type	14Jun2018

Band Maths Expression Editor

Data sources:

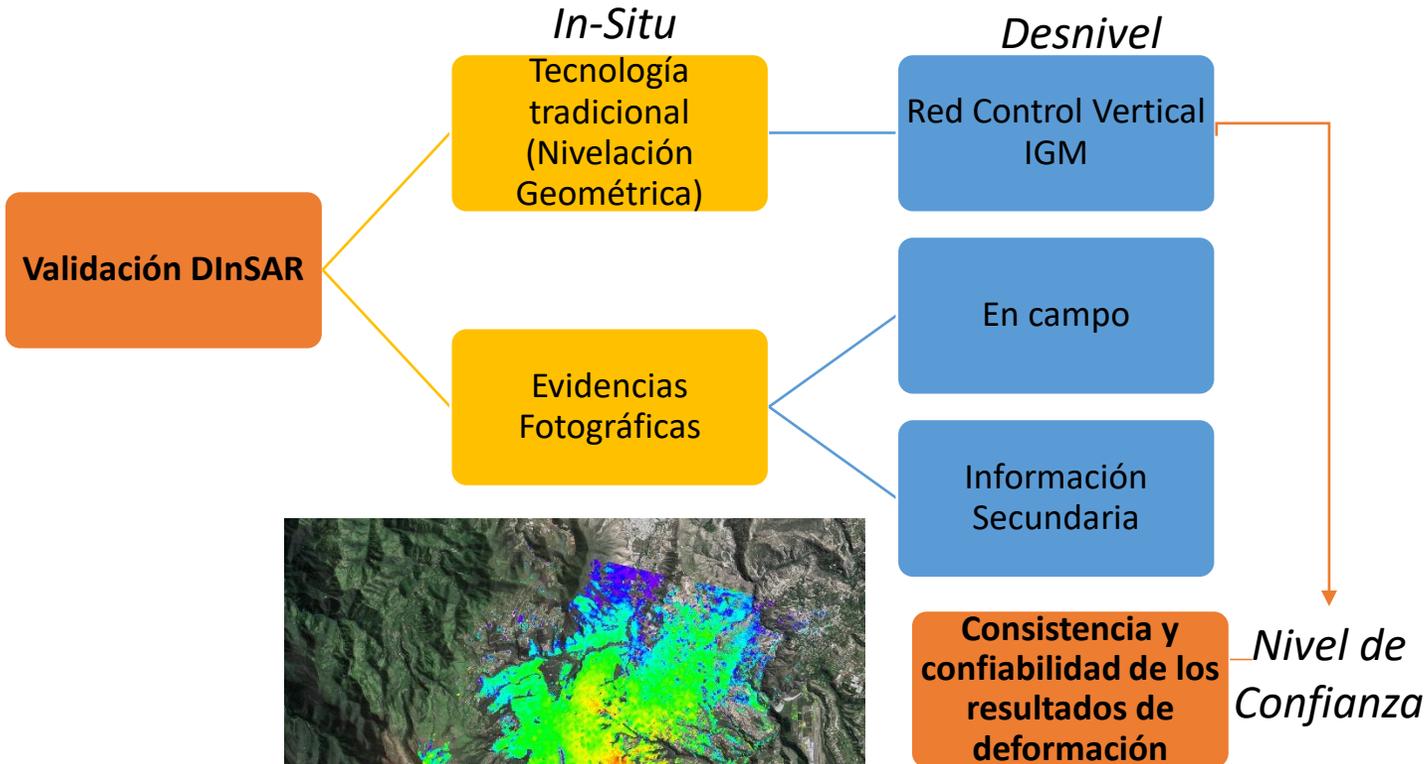
- displacement_VV_slv39_02Feb2018
- coherence_VV_slv40_02Feb2018
- displacement_VV_slv41_14Feb2018
- coherence_VV_slv42_14Feb2018
- displacement_VV_slv43_26Feb2018
- coherence_VV_slv44_26Feb2018
- displacement_VV_slv45_10Mar2018
- coherence_VV_slv46_10Mar2018
- displacement_VV_slv47_03Apr2018
- coherence_VV_slv48_03Apr2018
- displacement_VV_slv49_15Apr2018
- coherence_VV_slv50_15Apr2018
- displacement_VV_slv51_27Apr2018
- coherence_VV_slv52_27Apr2018
- displacement_VV_slv53_09May2018
- coherence_VV_slv54_09May2018
- displacement_VV_slv55_21May2018
- coherence_VV_slv56_21May2018
- displacement_VV_slv57_02Jun2018
- coherence_VV_slv58_02Jun2018
- displacement_VV_slv59_14Jun2018
- coherence_VV_slv60_14Jun2018
- displacement_avg_sum
- coherence_avg

Expression:

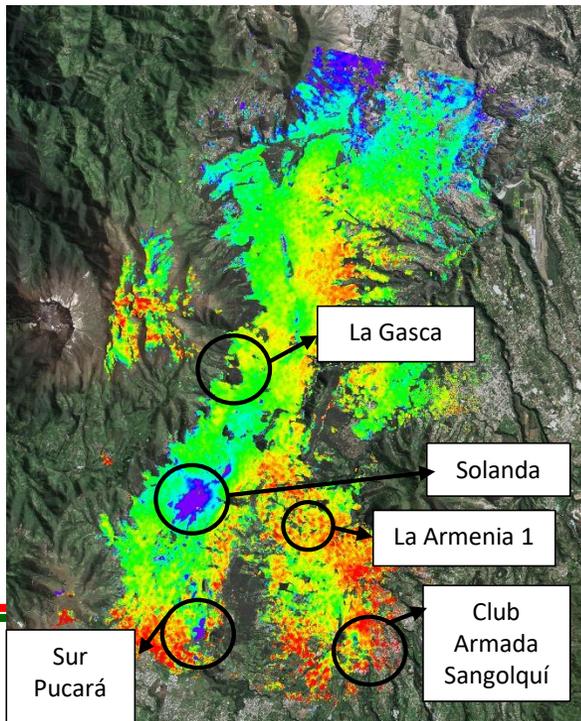
```
(displacement_VV + displacement_VV_slv1_19Jun2017 + displacement_VV_slv3_01Jul2017 + displacement_VV_slv5_13Jul2017 + displacement_VV_slv7_25Jul2017 + displacement_VV_slv9_06Aug2017 + displacement_VV_slv11_18Aug2017 + displacement_VV_slv13_30Aug2017 + displacement_VV_slv15_11Sep2017 + displacement_VV_slv17_23Sep2017 + displacement_VV_slv19_05Oct2017 + displacement_VV_slv21_17Oct2017 + displacement_VV_slv23_29Oct2017 + displacement_VV_slv25_10Nov2017 + displacement_VV_slv27_22Nov2017 + displacement_VV_slv29_04Dec2017 + displacement_VV_slv31_16Dec2017 + displacement_VV_slv33_28Dec2017 + displacement_VV_slv35_09Jan2018 + displacement_VV_slv37_21Jan2018 + displacement_VV_slv39_02Feb2018 + displacement_VV_slv41_14Feb2018 + displacement_VV_slv43_26Feb2018 + displacement_VV_slv45_10Mar2018 + displacement_VV_slv47_03Apr2018 + displacement_VV_slv49_15Apr2018 + displacement_VV_slv51_27Apr2018 + displacement_VV_slv53_09May2018 + displacement_VV_slv55_21May2018 + displacement_VV_slv57_02Jun2018 + displacement_VV_slv59_14Jun2018) / 31
```

METODOLOGÍA

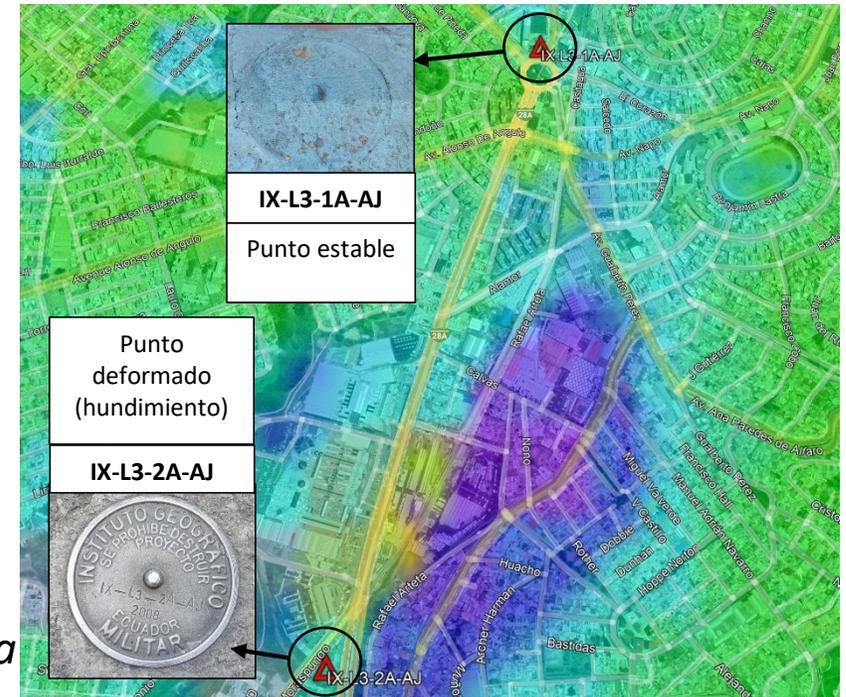
Fase 3: Validación DInSAR



Evidencias Fotográficas en 5 Zonas:



Línea de nivelación geométrica compuesta:



Vértice IX-L3-1A-AJ, materializado en una placa sobre el muro del pasamano de la entrada a la estación de transferencia del trole Villaflora.

Vértice IX-L3-2A-AJ, materializado en una placa en una plataforma de concreto sobre los tanques de combustible en la gasolinera San Bartolo, por el centro comercial El Recreo.

Se trata de un punto de primer orden, en cuanto a precisión vertical se refiere.



METODOLOGÍA

Línea de nivelación
geométrica compuesta



Trabajo de Campo

Nivelación en el punto de regreso



METODOLOGÍA

Línea de nivelación geométrica compuesta

Trabajo de Gabinete

Entidad Ejecutora:		Registro en el IG	
Proyecto: CARTA NACIONAL		Nombre del Punto: IX-L3-1A-AJ	
LOCALIZACIÓN DEL PUNTO			
País: ECUADOR	Provincia: PICHINCHA	Cantón: QUITO	Parroquia: VILLA FLORA
CONTROL HORIZONTAL			
Datum Horizontal: SIRGAS 95		Epoca de referencia: 1995.4	
Coordenadas Geográficas:		Coordenadas UTM:	
Latitud (° ' ")	S 00 14 38.4201	Zona:	17 S
Longitud (° ' ")	W 078 31 08.0517	Norte (m):	9973004.573
Altura Elipsoidal (m):	2838.534	Este (m):	776168.365
CONTROL VERTICAL:			
Datum Vertical: NIVEL MEDIO DEL MAR		Mareógrafo: LA LIBER	
Linea Nivelación: QUITO - LATACUNGA		Código de la Línea: IX-L3	Fecha de determinación: 05-07-2008
Elevación (m):	2810.8264	Tipo Nivelación: GEOMETRICA	Orden: PRIMERO
		Zona:	Norte (m):
		Este (m):	

Entidad Ejecutora:		Registro en el IG	
Proyecto: CARTA NACIONAL		Nombre del Punto: IX-L3-2A-AJ	
LOCALIZACIÓN DEL PUNTO			
País: ECUADOR	Provincia: PICHINCHA	Cantón: QUITO	Parroquia: VILLA FLORA
CONTROL HORIZONTAL			
Datum Horizontal:		Epoca de referencia:	
Coordenadas Geográficas:		Coordenadas UTM:	
Latitud (° ' ")		Zona:	
Longitud (° ' ")		Norte (m):	
Altura Elipsoidal (m):		Este (m):	
CONTROL VERTICAL:			
Datum Vertical: NIVEL MEDIO DEL MAR		Mareógrafo: LA LIBER	
Linea Nivelación: QUITO - LATACUNGA		Código de la Línea: IX-L3	Fecha de determinación: 05-07-2008
Elevación (m):	2816.3502	Tipo Nivelación: GEOMETRICA	Orden: PRIMERO
		Zona:	Norte (m):
		Este (m):	

Desnivel de las líneas de nivelación

Diferencia entre la sumatoria de las lecturas de los hilos medios corregidos atrás y adelante.

$$\Delta_{AB} = \sum l_{AT} - \sum l_{AD}$$

$$\Delta'_{AB} = \sum l'_{AT} - \sum l'_{AD}$$

Promedio Desniveles líneas nivelación

Nivelación realizada en el proyecto (2022) y del IGM (2008), para poder comparar con la deformación que se produjo entre ambos.

$$\text{Promedio Desnivel 2022} = \frac{\Delta_{AB} + \Delta'_{AB}}{2}$$

Deformación in situ de la placa de control vertical IX-L3-2A-AJ

$$\Delta \text{ Desnivel} = \text{Promedio Desnivel Trabajo de Investigación} - \text{Promedio Desnivel IGM}$$

$$\text{Diferencia de deformación SNAP vs ENVI} = \text{Deformación LOS SNAP} - \text{Deformación LOS ENVI}$$



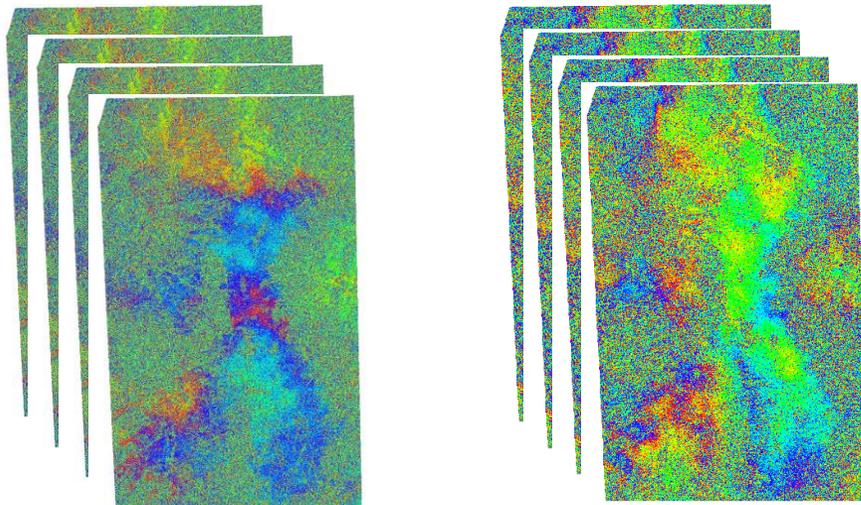
Resultados

Proceso interferométrico SBAS de imágenes Sentinel-1 en ENVI

Período 2017-2018

Período 2021-2022

Interferogramas
diferenciales



Filtro Goldstein

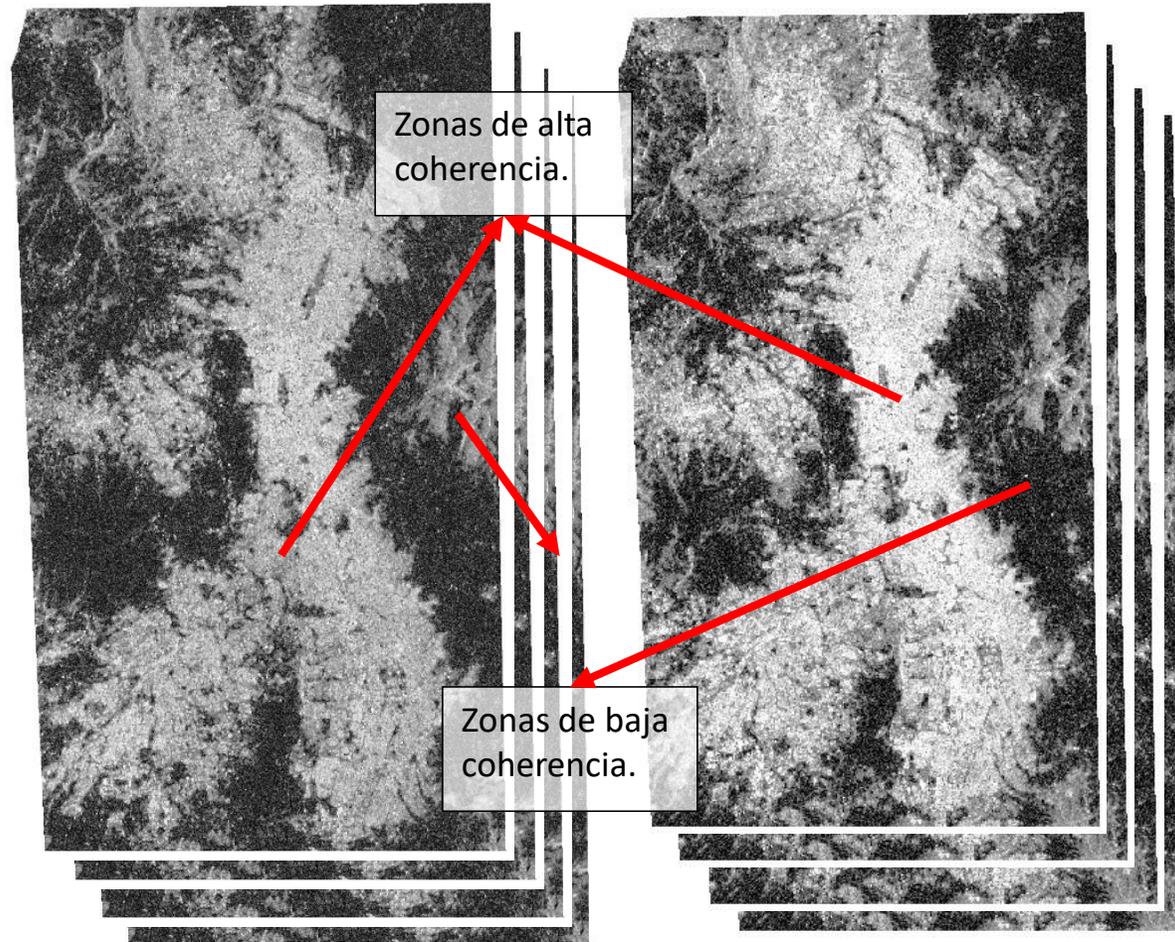
Presencia de sitios
montañosos y con
vegetación.

Franjas mejor
acentuadas.

Período 2017-2018

Período 2021-2022

Coherencia



Zonas de alta
coherencia.

Zonas de baja
coherencia.

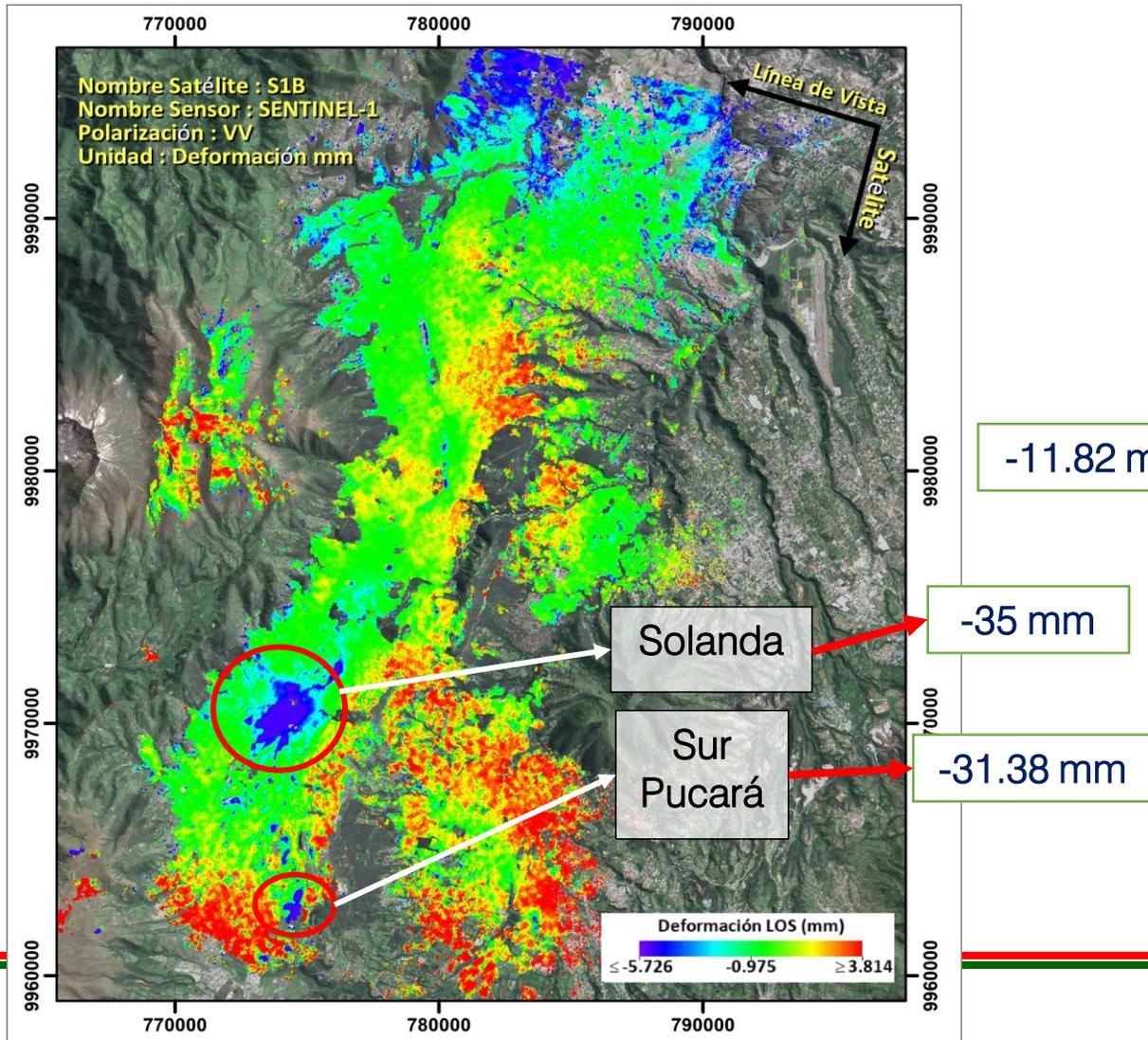


ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

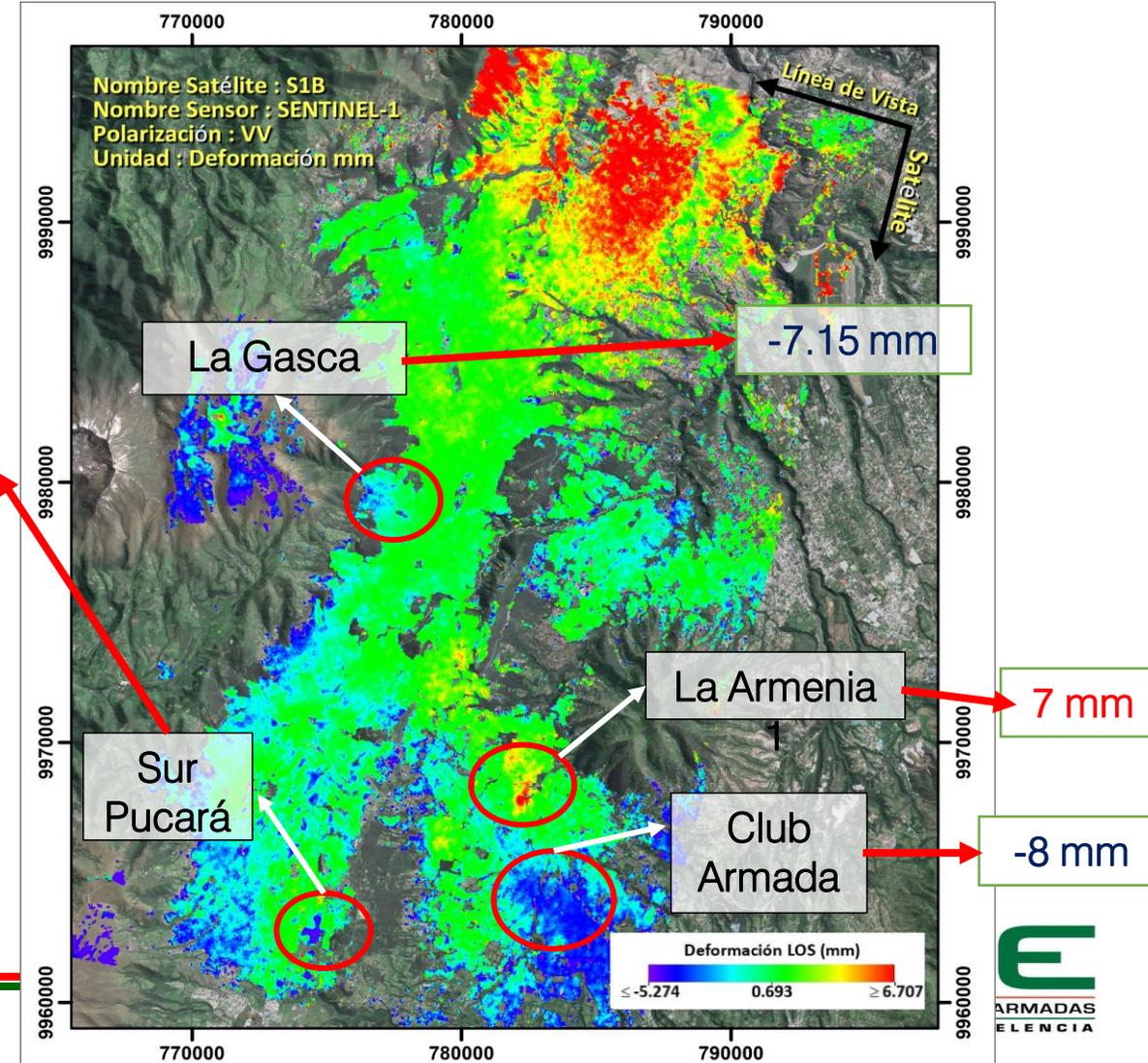
Resultados

Modelos de deformación de la superficie terrestre (LOS) en ENVI

Período 2017-2018



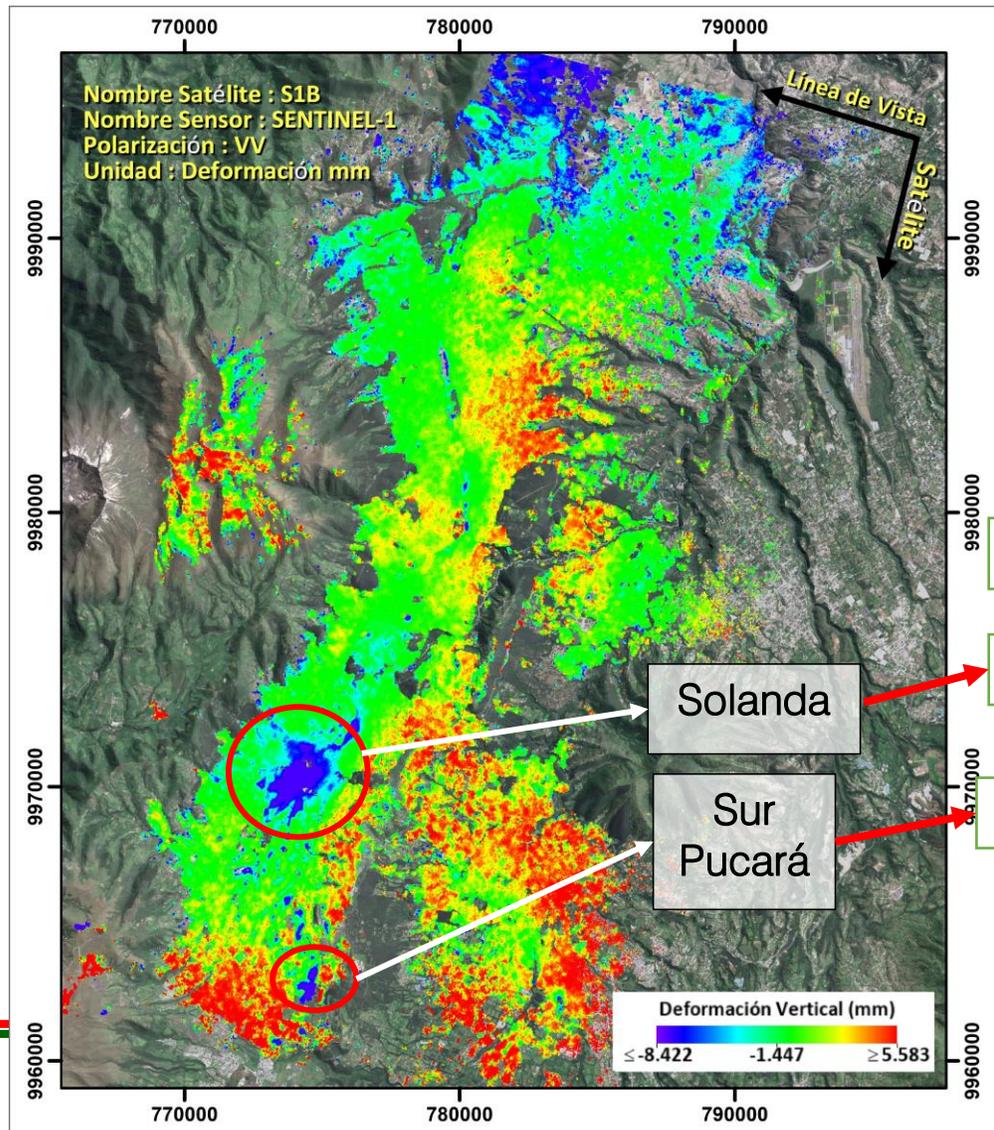
Período 2021-2022



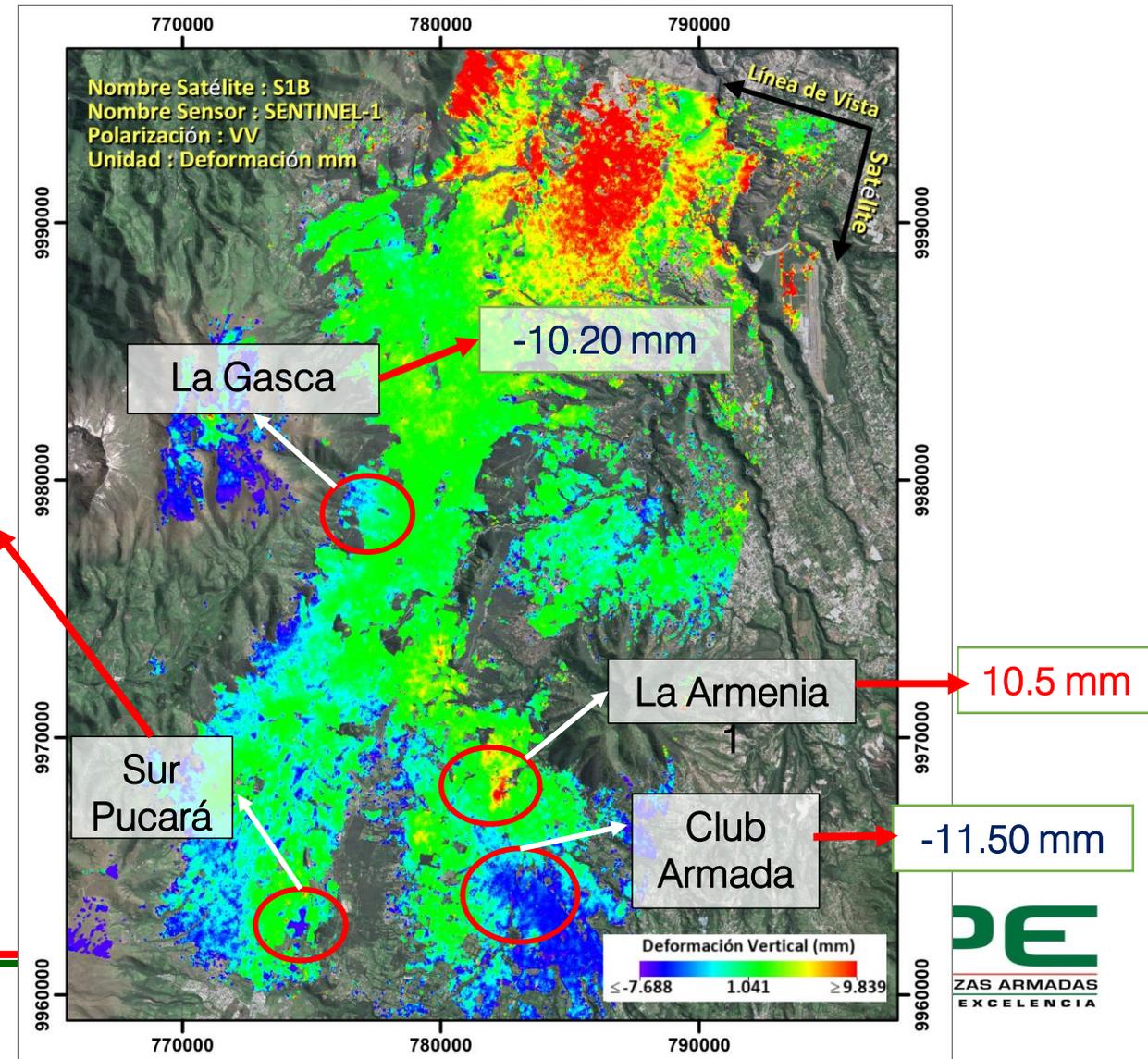
Resultados

Modelos de deformación de la superficie terrestre (Vertical) en ENVI

Período 2017-2018



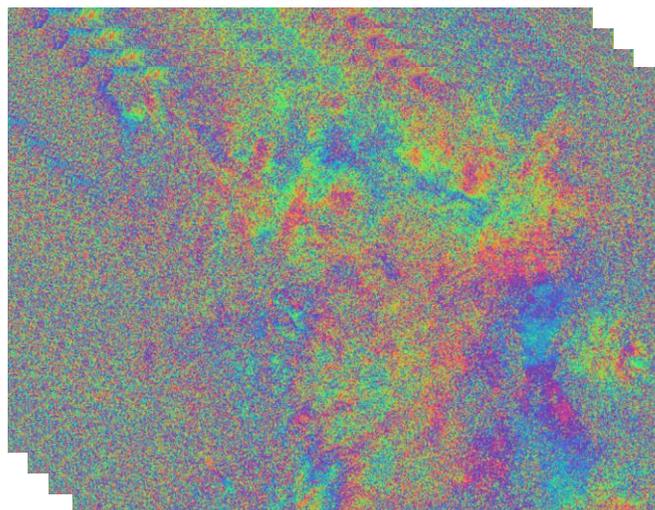
Período 2021-2022



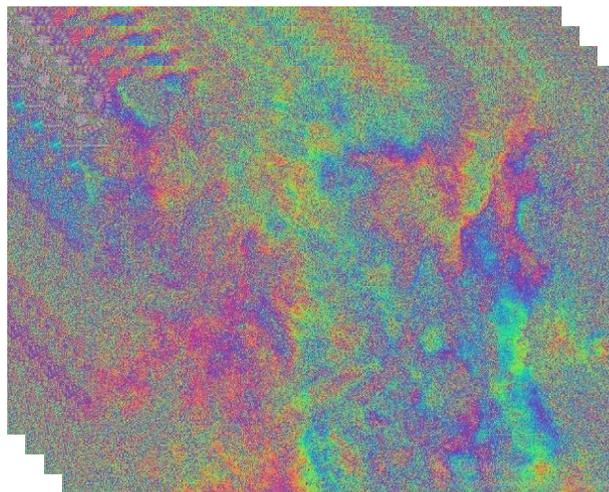
Resultados

Interferogramas diferenciales

Período 2017-2018



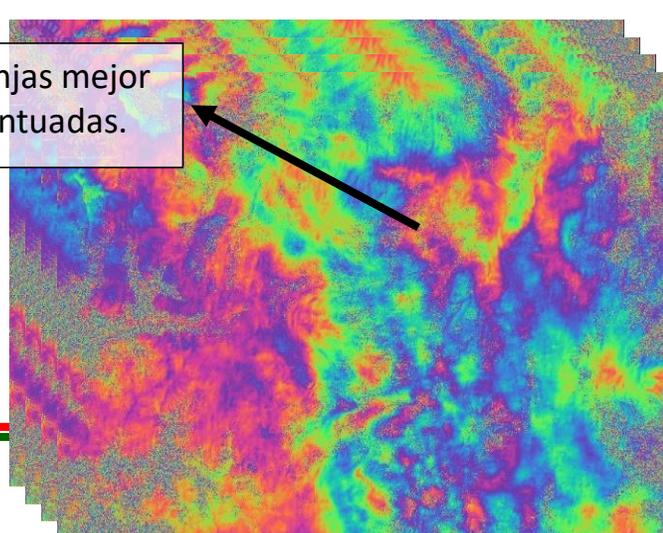
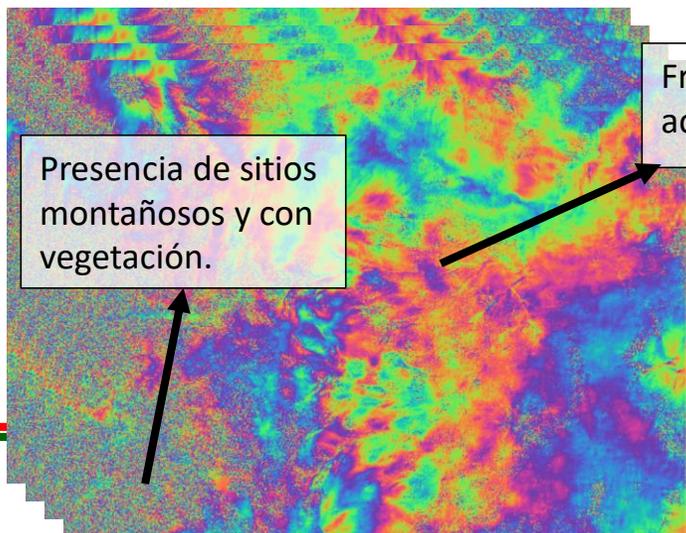
Período 2021-2022



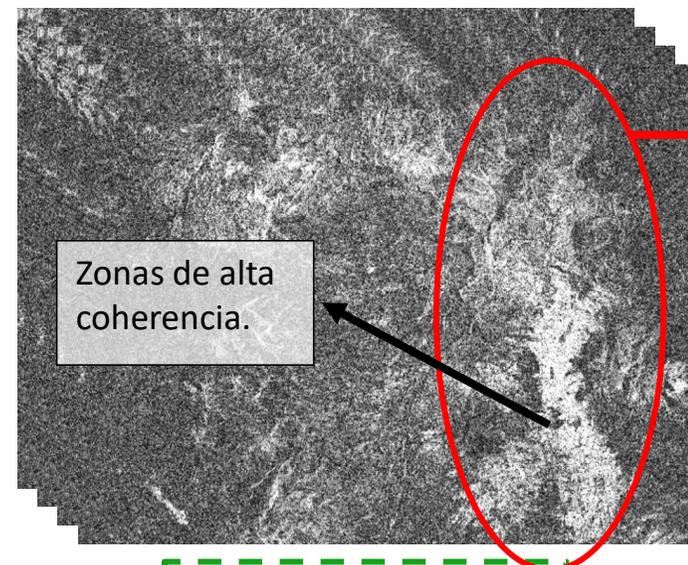
Filtro Goldstein

Presencia de sitios
montañosos y con
vegetación.

Franjas mejor
acentuadas.



Período 2017-2018

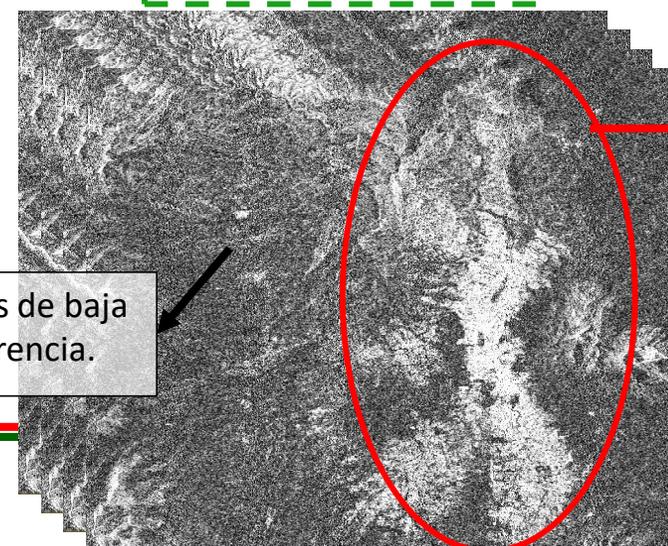


DMQ

Zonas de alta
coherencia.

Coherencia

Período 2021-2022



DMQ

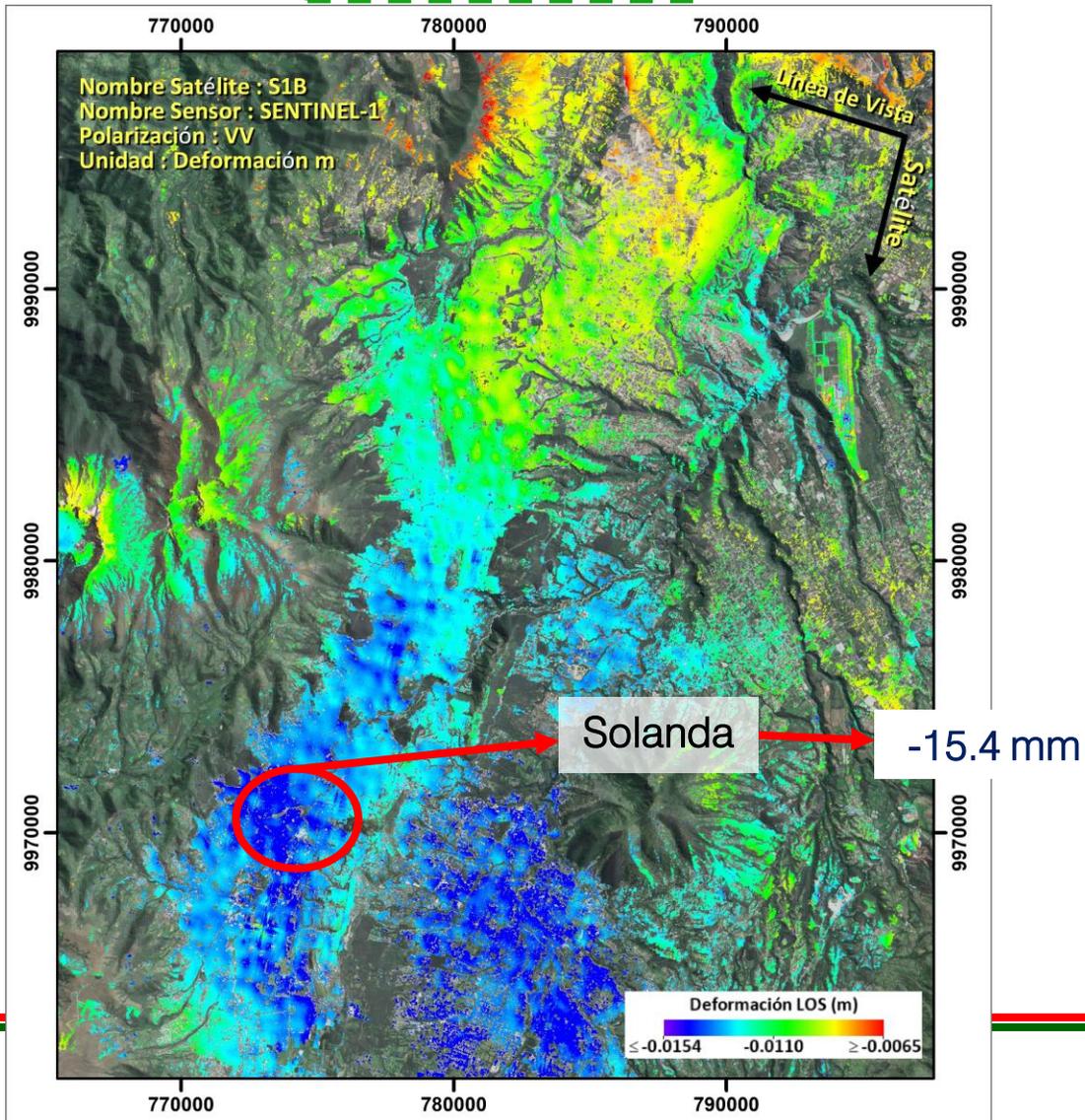
Zonas de baja
coherencia.

Resultados

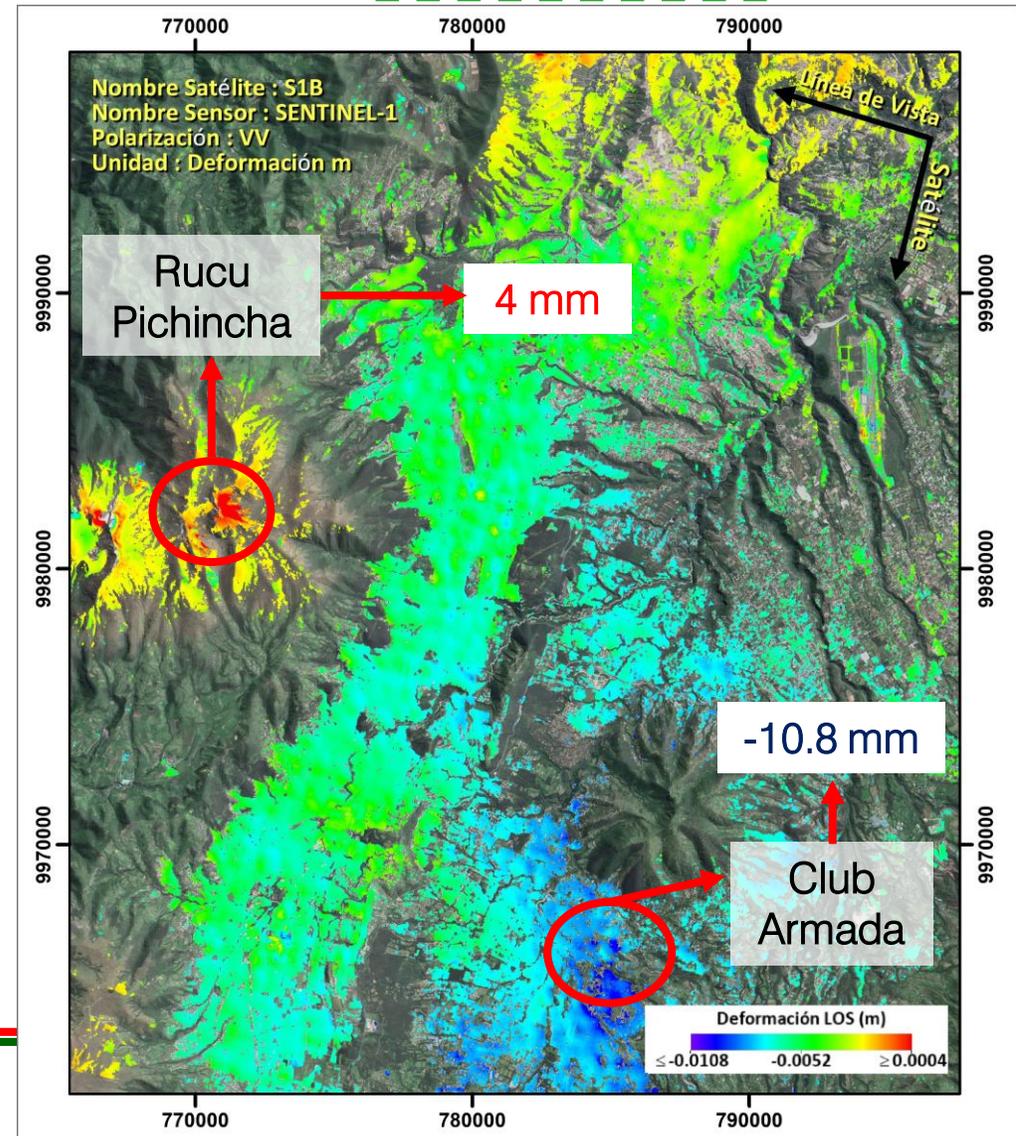
Series temporales Stacking DInSAR

Modelos de deformación de la superficie terrestre (LOS) en SNAP

Período 2017-2018



Período 2021-2022



Resultados

Nivelación geométrica compuesta

Comparación de nivelación IGM vs Trabajo de Investigación

IGM (2008)		Trabajo de Investigación (2022)	
Desnivel Ida (m)	5.5242	Desnivel Ida (m)	5.5115
Desnivel Regreso (m)	-5.5233	Desnivel Regreso (m)	-5.5144
Promedio Desnivel Ida-Regreso (m)	5.5238	Promedio Desnivel Ida-Regreso (m)	5.5130
Precisión (mm)	4	Precisión (mm)	4
Distancia Ida (km)	1.34	Distancia Ida (km)	1.35
Distancia Regreso (km)	1.35	Distancia Regreso (km)	1.44
Error Cierre (mm)	2.70	Error Cierre (mm)	2.90
Tolerancia (mm)	4.63	Tolerancia (mm)	4.65

Deformación (diferencia desnivel) obtenida de la nivelación geométrica compuesta

Nivelación	Promedio Desnivel	
Trabajo de Investigación	5513.0	mm
IGM	5523.8	mm
Diferencia/Deformación	-10.8	mm

Comparación de las deformaciones DInSAR en base a la nivelación geométrica

Comparación de las series temporales de deformación en las distintas plataformas de procesamiento

Período de Investigación	SNAP	ENVI	ENVI
	Deformación LOS (mm)	Deformación LOS (mm)	Deformación VD (mm)
Vértice IX-L3-2A-AJ			
promedio (2017_2018)	-12.50	-6.75	-10.34
promedio (2021_2022)	-4.69	-0.37	-0.56

LOS: Línea de Vista del satélite

VD: Desplazamiento Vertical

Comparación de la coherencia y RMSE de los puntos analizados en las series temporales

Período de Investigación	SNAP		ENVI		ENVI	
	Coherencia		Coherencia		RMSE (mm)	
	IX-L3-1A-AJ	IX-L3-2A-AJ	IX-L3-1A-AJ	IX-L3-2A-AJ	IX-L3-1A-AJ	IX-L3-2A-AJ
Promedio (2017_2018)	0.74	0.54	0.85	0.81	0.65	0.98
Promedio (2021_2022)	0.76	0.55	0.80	0.85	0.64	0.73



Resultados

Fase 3: Validación DInSAR

Nivel de Confianza

A partir de la estadística descriptiva estándar, se pudo analizar la distribución de los datos a un nivel de confianza del 95% de la muestra, tanto en ENVI como SNAP, en el período de investigación 2021-2022.

Valores cercanos a 0

Valores cercanos a 1



Rango de datos se encuentra distribuida de forma uniforme.



Distribución de los datos no es coherente ni equiparada

ENVI LOS 2021-2022 IX-L3-2A-AJ

Media	-0.6925926
Error típico	0.13826953
Mediana	-0.5
Moda	-0.5
Desviación estándar	1.01606935
Varianza de la muestra	1.03239693
Curtosis	1.5588236
Coefficiente de asimetría	-1.0514553
Rango	4.8
Mínimo	-3.7
Máximo	1.1
Suma	-37.4
Cuenta	54
Nivel de confianza (95.0%)	0.27733355

ENVI VD 2021-2022 IX-L3-2A-AJ

Media	-0.985185185
Error típico	0.1954301
Mediana	-0.75
Moda	-0.7
Desviación estándar	1.436112074
Varianza de la muestra	2.06241789
Curtosis	1.621088301
Coefficiente de asimetría	-1.071257313
Rango	6.9
Mínimo	-5.3
Máximo	1.6
Suma	-53.2
Cuenta	54
Nivel de confianza (95.0%)	0.39198314

SNAP LOS IX-L3-2A-AJ

Media	3.784285714
Error típico	2.309345886
Mediana	4.195
Desviación estándar	12.21990981
Varianza de la muestra	149.3261958
Curtosis	0.383574332
Coefficiente de asimetría	0.101027815
Rango	54.6
Mínimo	-20,44
Máximo	34.16
Suma	105.96
Cuenta	28
Nivel de confianza (95,0%)	4.738386362

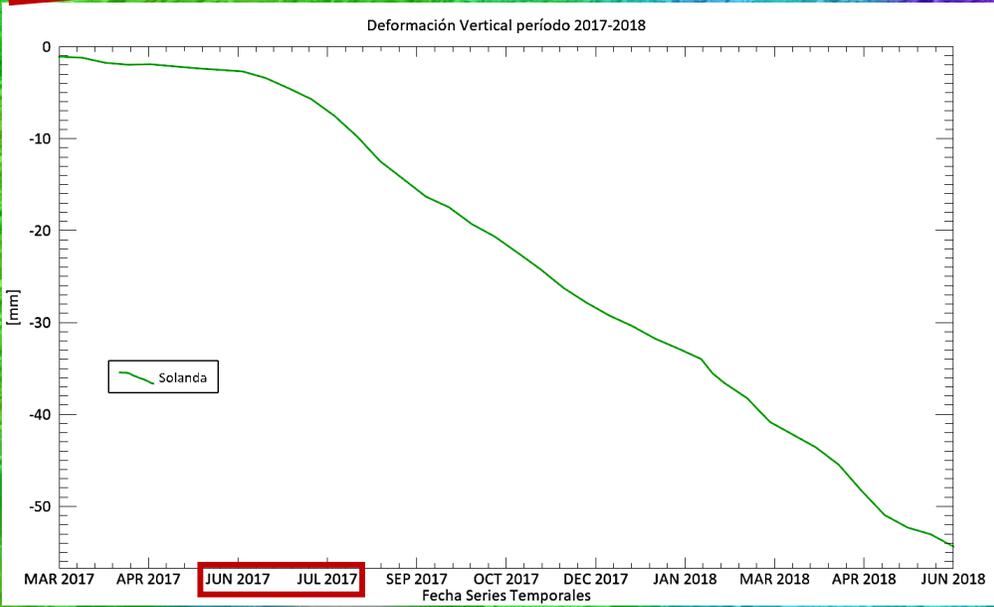
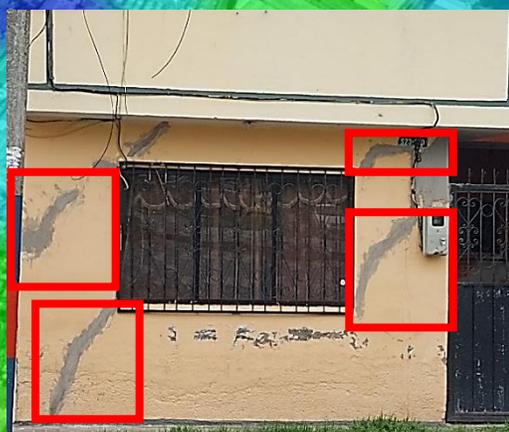
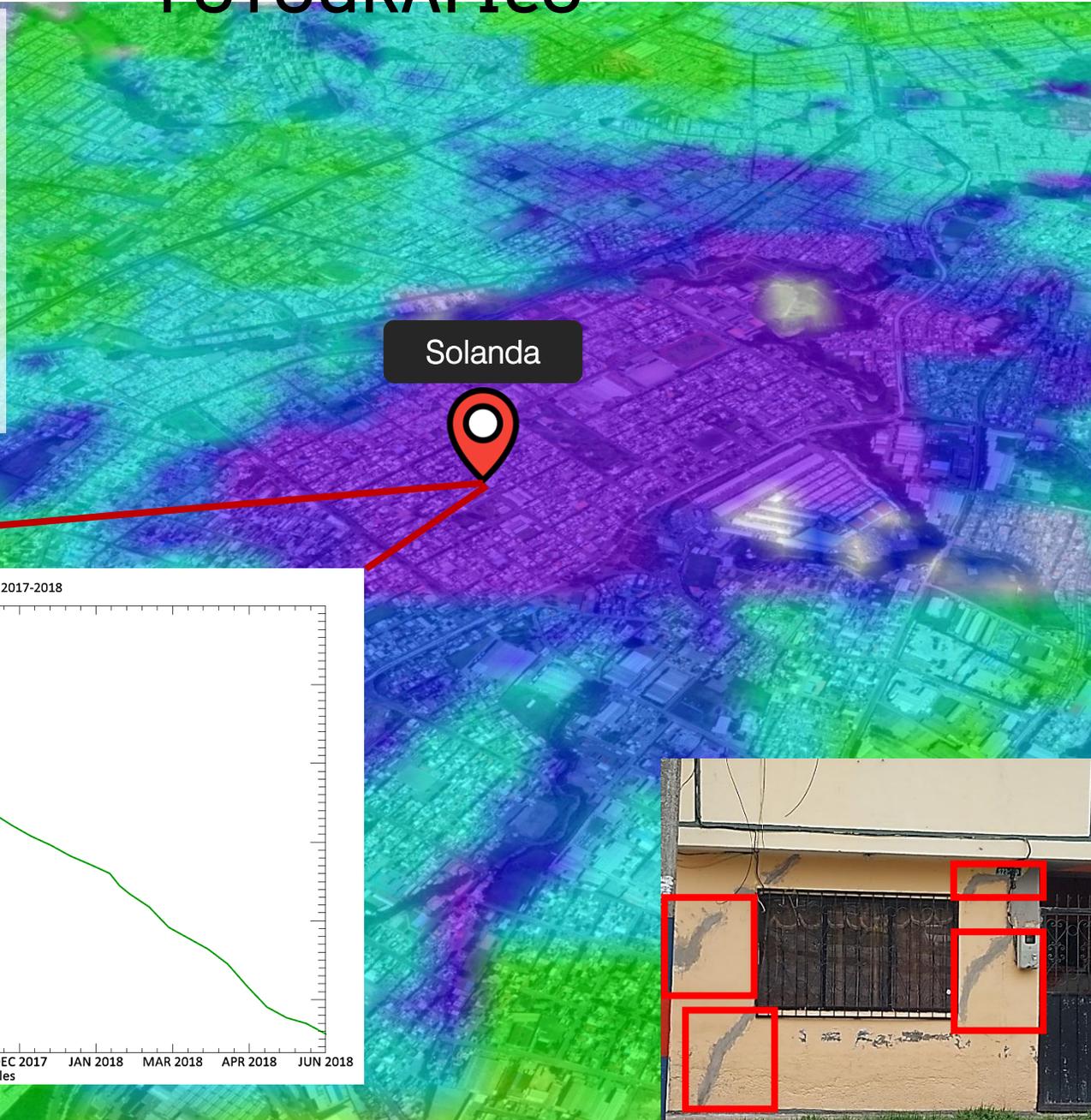
Otra forma de analizar la variabilidad de un conjunto de datos es, observando los valores de la moda, mediana y media; si estos valores son semejantes, indicarán que hay menor incertidumbre al empleo de esos datos, y mejor distribución en la variabilidad de los muestreos de la población.



RESULTADOS DEL ARCHIVO FOTOGRÁFICO

Solanda

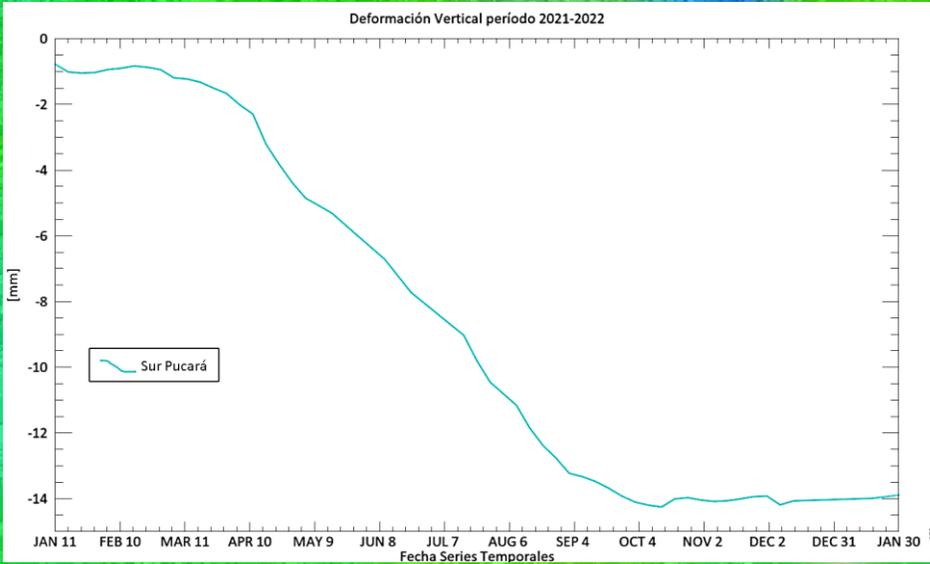
En Solanda, 233 casas tienen daños estructurales (grietas, hundimientos, inundaciones). Otras 43 viviendas están totalmente destruidas. Sus moradores dicen que todo inició con la construcción de la parada Solanda del Metro de Quito, en julio de 2017.



RESULTADOS DEL ARCHIVO FOTOGRÁFICO

Pucará

Ubicado en el sur de la ciudad, se observa que algunas casas de esta zona presentan daños estructurales como grietas y paredes cuarteadas.



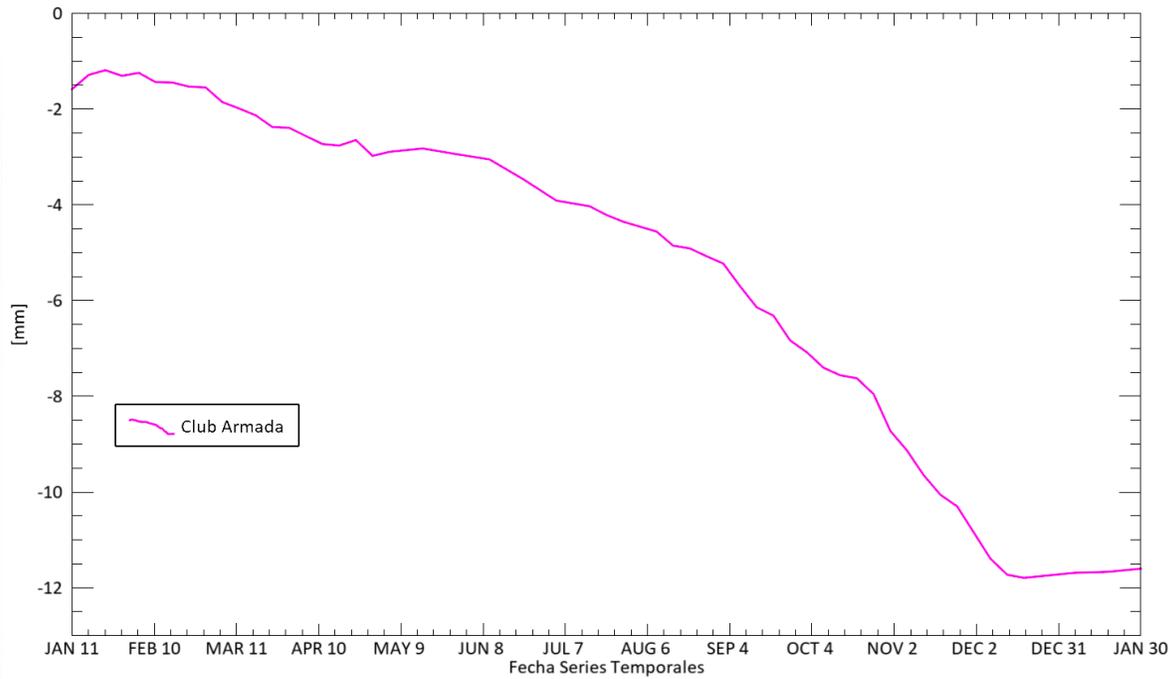
RESULTADOS DEL ARCHIVO FOTOGRÁFICO

Club de Tripulación de la Armada- Valle de Los Chillos

Un tramo de la vía E35 quedó destruido en Sangolquí, cantón Rumiñahui, debido a las lluvias ocurridas el 17 de febrero del 2022. Las precipitaciones elevaron la creciete un río y se partió un tramo de la vía a la altura del redondel de ingreso a Selva Alegre.



Deformación Vertical período 2021-2022



Club de Tripulación de la Armada



RESULTADOS DEL ARCHIVO FOTOGRÁFICO

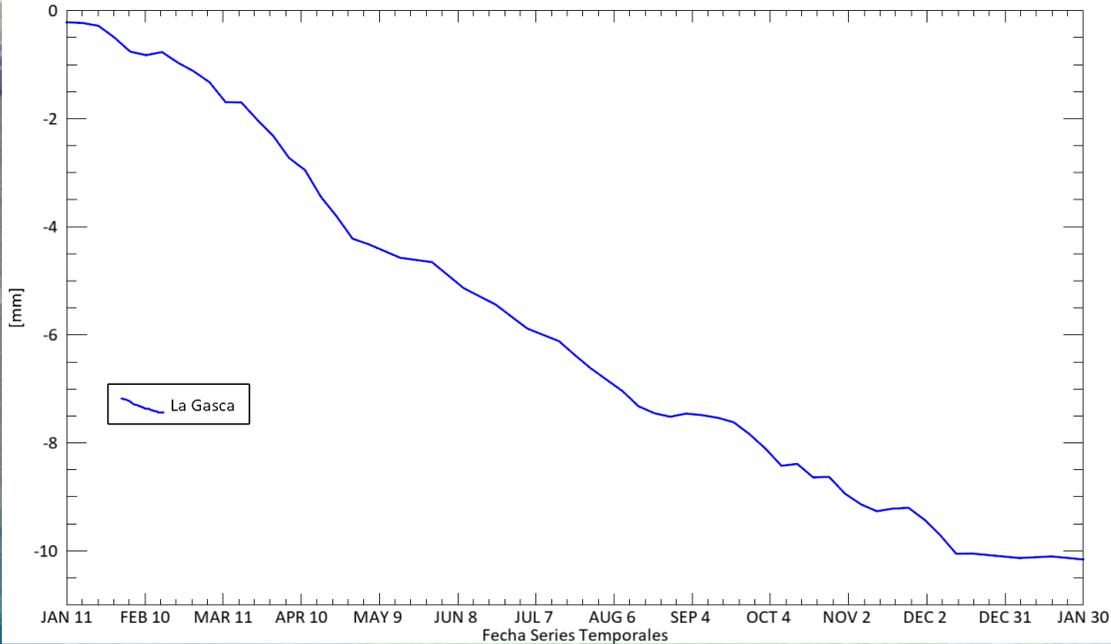
La Gasca

Las fuertes lluvias que cayeron la tarde del lunes, 31 de enero de 2022, en Quito; ocasionaron un aluvión en el sector de La Gasca, que inundó calles, dañó viviendas, vehículos y ocasionó pérdidas humanas.



La Gasca

Deformación Vertical período 2021-2022



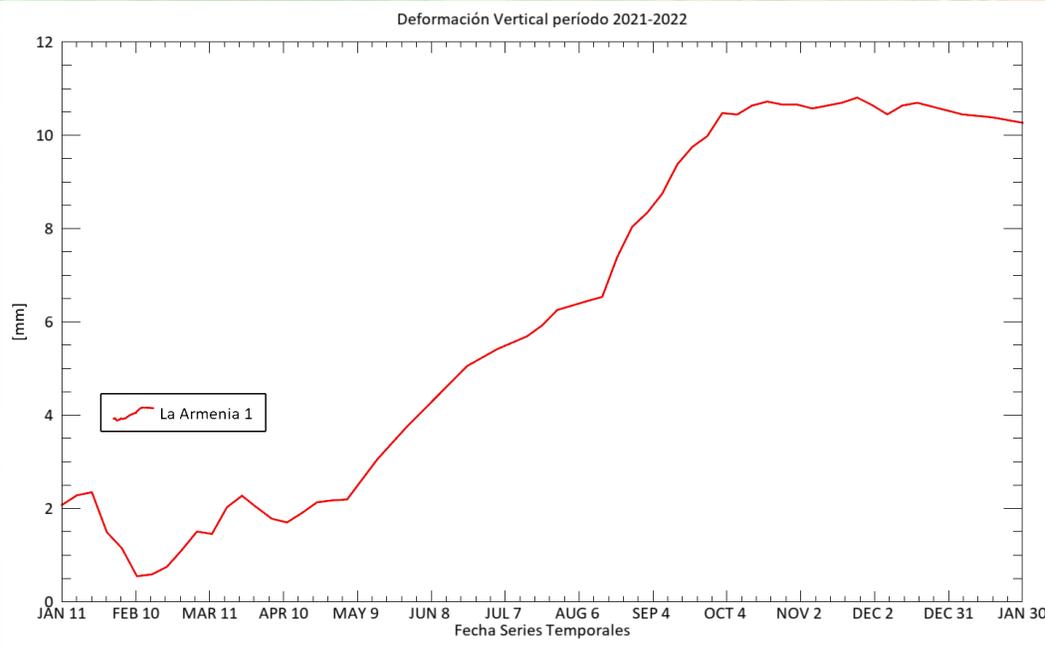
RESULTADOS DEL ARCHIVO FOTOGRÁFICO

La Armenia 1- Valle de Los Chillos

En la urbanización de La Armenia 1, un pequeño tramo de la calle quedó destruido debido al levantamiento de la superficie ocurrido durante 2021-2022. Como consecuencia en la infraestructura, es posible visualizar que en las paredes de la casa adena se muestran grietas en la fachada.



La Armenia 1

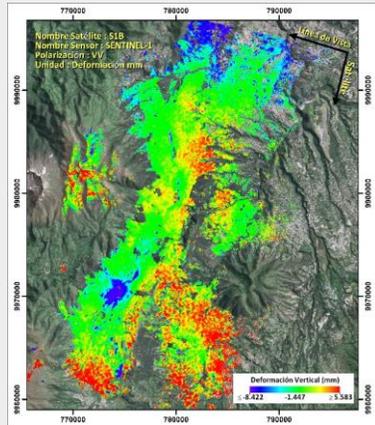


CONCLUSIONES

5

Imágenes satelitales SAR Sentinel-1

Con una resolución de 5x20 m en rango y acimut, respectivamente; permitieron obtener mapas de deformación de la superficie terrestre LOS y en proyección vertical con una precisión milimétrica.

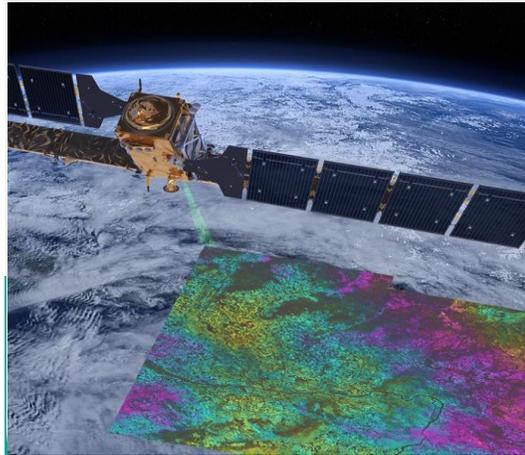


logrando abarcar una gran capacidad de cobertura espacial a una resolución decamétrica.

6

En función de la finalidad del estudio

La posibilidad de visualizar zonas extensas, con alta precisión, hace que la técnica DInSAR sea preferible a otras técnicas terrestres tradicionales (como nivelación o GNSS) sin poder sustituirlas por completo.



7

Metodología para identificar zonas con posible riesgo

Presentándose una afectación directa a las infraestructuras, a la comunidad y al entorno.

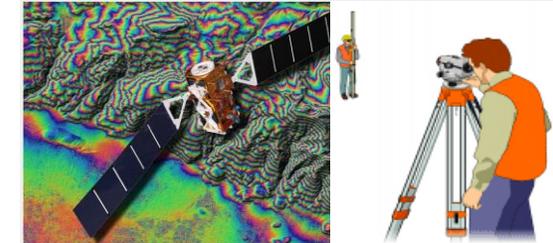


Siendo de alto impacto, y permitiendo que las autoridades correspondientes puedan empezar a realizar estudios puntuales en este tipo de zonas con esta misma técnica.

4

Control de Calidad (2 Técnicas in-situ)

La deformación obtenida a través del procesamiento interferométrico diferencial fue muy similar a la obtenida en campo.



Basándose en la validación de los datos, el método DInSAR puede utilizarse en la supervisión de la deformación del terreno en zonas urbanas con una buena precisión, en cualquier momento y con un coste moderado.



RECOMENDACIONES

- Para mejorar la calidad de las series temporales de deformación generadas, es recomendable utilizar las órbitas ascendente y descendente del satélite con el objetivo de descomponer el desplazamiento tanto en vertical como horizontal; con el fin de tener resultados de acuerdo la dirección de los movimientos.
- Se sugiere realizar un análisis interferométrico seguido de períodos de investigación largos (donde la imagen cero o 'super máster' sea una), para conseguir un análisis de deformación más preciso en cuanto a los valores matemáticos de deformación).
- Con los métodos de control de evaluación, hacer líneas de nivelación en las zonas de estudio para mejorar la calidad de la comprobación, o implementar redes de monitoreo continuo para obtener alta precisión de los cambios producidos en la componente vertical
- De acuerdo al archivo fotográfico y gráficas de la deformación vertical en ambos períodos de investigación, se cree necesario seguir monitoreando de cerca las zonas que presentaron mayores hundimientos o levantamientos. Esta nueva tecnología podría ser usada por los gobiernos autónomos descentralizados con el objeto de poder implementarse en el campo de gestión de riesgos y desastres.
- La técnica DInSAR podría utilizarse para establecer un servicio de seguimiento mensual o anual de las deformaciones de la superficie terrestre a un coste moderado, en conjunto con los datos de apoyo en la observación sobre el terreno (gravedad, GPS, etc.); así como para el monitoreo volcánico, deshielo glaciar, etc.



**GRACIAS POR SU
ATENCIÓN**





ESPE UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y DE LA
CONSTRUCCIÓN

CARRERA DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA Y DEL MEDIO
“Metodología para identificar la deformación del relieve topográfico
aplicando Interferometría Diferencial Radar (DInSAR) en el área del
Distrito Metropolitano de Quito.”
AMBIENTE

Autoras:

Cruz Balseca Andrea Belén

Cruz Balseca Jessenia Belén

Director del proyecto:

Ing. Eduardo Kirby Powney, MSc.

Director de Carrera:

Ing. Alexander Robayo Nieto, MSc.

Docente Evaluador:

Ing. Marco Luna, PhD.

Secretaria Académica:

Abg. Michelle Benavides.