



# 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 AMBIENTE



## “Cuantificación del retroceso superficial del glaciar del nevado Chimborazo mediante interferometría DInSAR-SBAS en el periodo 2017-2020”

TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:  
INGENIERO/A GEÓGRAFO/A Y DEL MEDIO AMBIENTE



### **Autores:**

Lema Yuquilema Brayan Abel  
Meza Cahuatijo Valeria Naomi

### **Director de Carrera:**

Ing. Robayo Nieto, Alexander MSc.

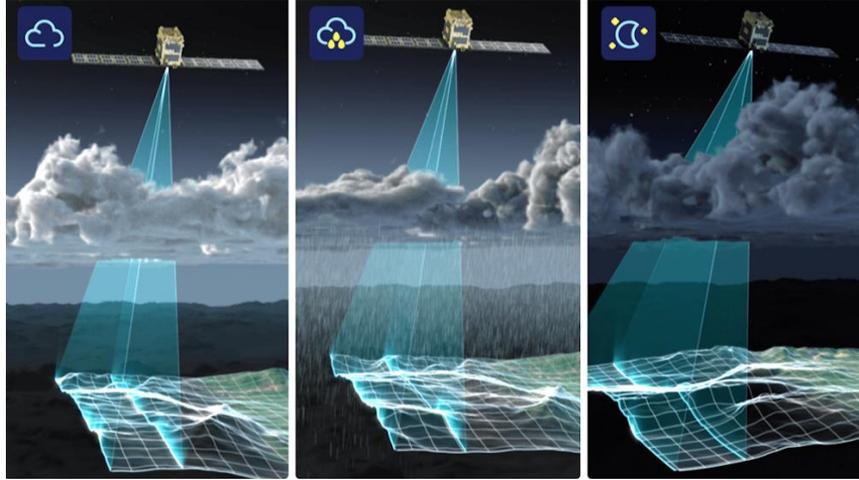
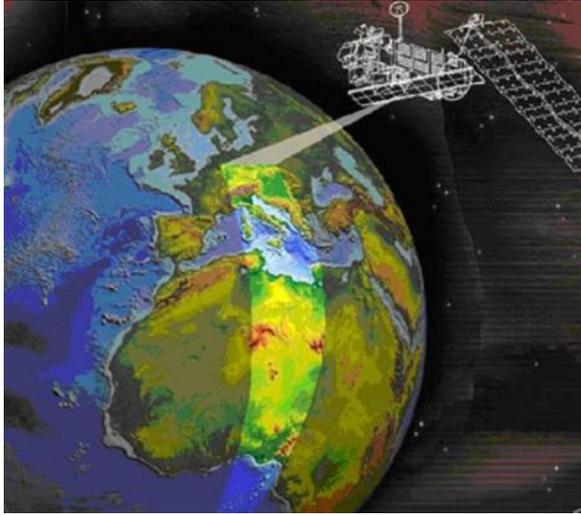
### **Director del Proyecto:**

PhD. Oswaldo Padilla

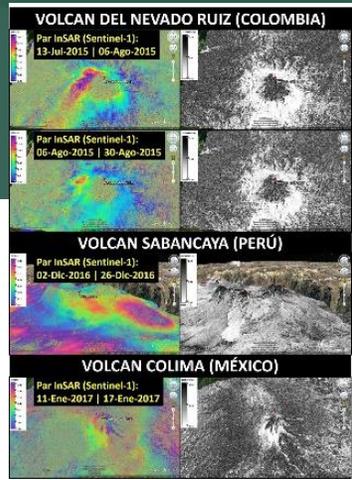
### **Docente Evaluador:**

PhD. (c) Rodolfo Salazar

# ANTECEDENTES



Sistema virtual



Instituto Geofísico de la Universidad de Alaska Fairbanks



Indicadores del cambio climático

Traspaso de las nubes y penetración en el suelo

Alta capacidad de cobertura



Tecnología de radar InSAR



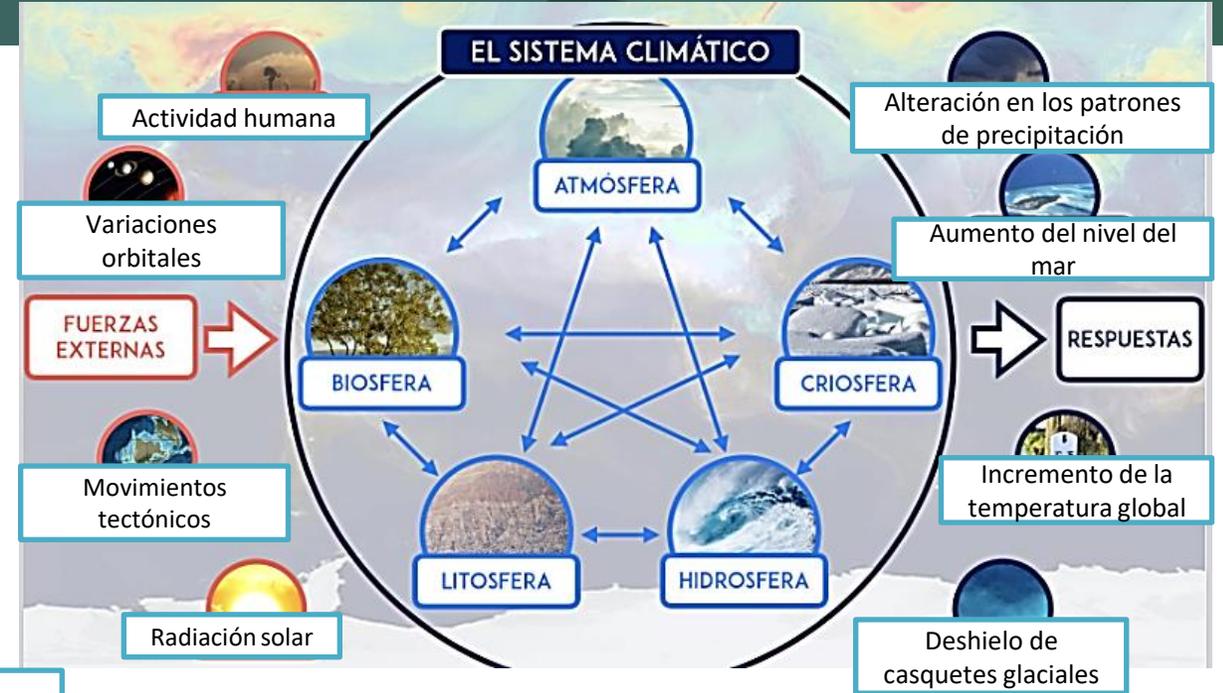
# PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Procesos antropogénicos

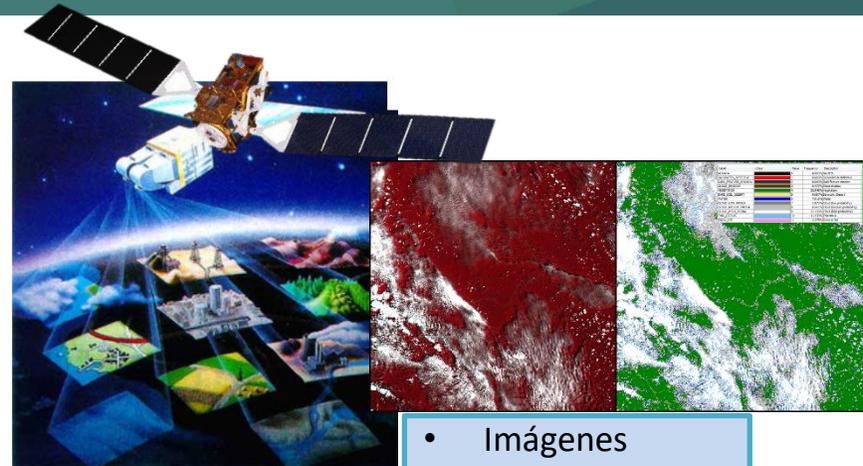


Manejo, gestión y conservación del recurso para las presentes y futuras generaciones

Monitoreo continuo del Glaciar



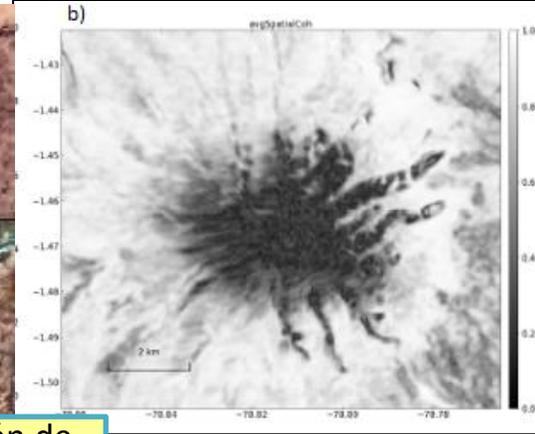
# JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA



- Imágenes ópticas
- Métodos convencionales



Radar de Apertura Sintética (SAR)



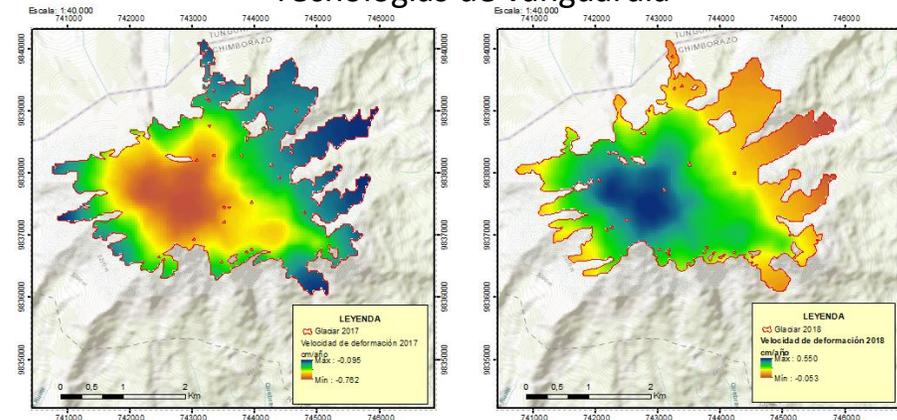
Extracción de la diferencia de fase

Imágenes SAR

Tecnologías de vanguardia



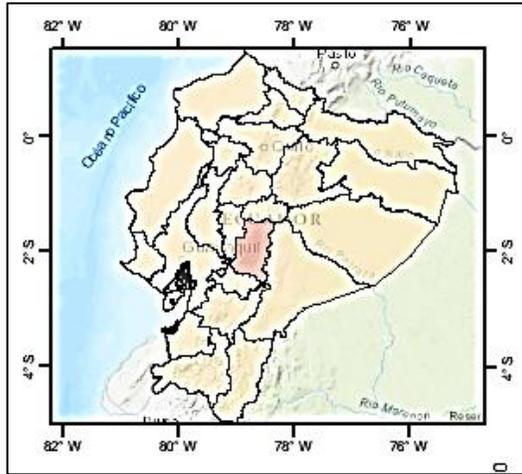
Obtener datos cuantificables sobre la dinámica glaciaria



Dinámica de la superficie terrestre cambios hidrológicos y/o geomorfológicos

# ÁREA DE ESTUDIO

## Provincia de Chimborazo



Altura: 6310 msnm

Región bioclimática : Páramo húmedo

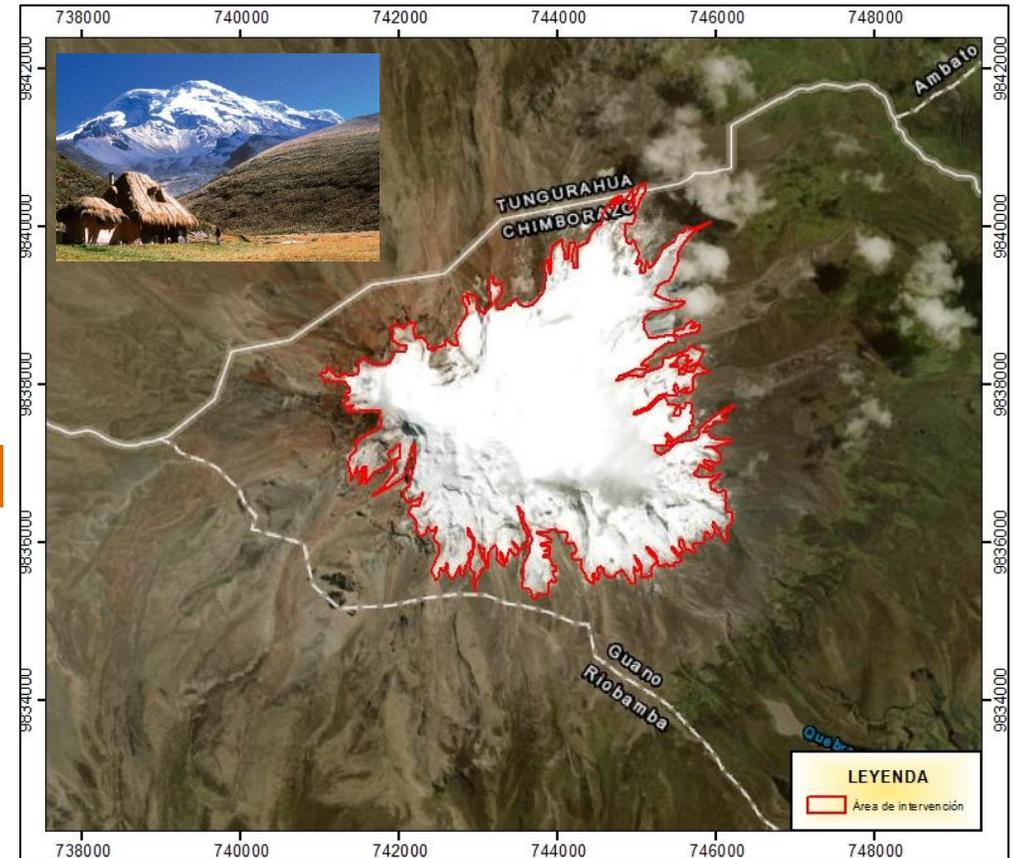
Temperatura: Entre 3 y 6 °C

Precipitación: Entre 200 y 500 mm anuales

## Cantones: Guano y Riobamba



## Área de intervención



Reserva de Producción de Fauna  
**Chimborazo**

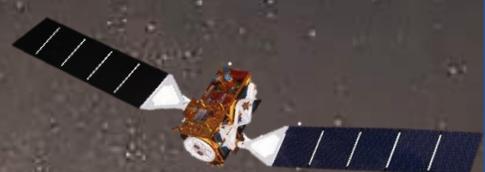
# OBJETIVOS

## OBJETIVO GENERAL

Cuantificar el retroceso superficial del glaciar del Nevado Chimborazo mediante Interferometría DInSAR - SBAS en el periodo 2017-2020 para evidenciar los efectos del cambio climático.

## OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- Recopilar imágenes SAR disponibles de Sentinel 1 para el periodo comprendido entre 2017-2020 sobre el glaciar Chimborazo mediante el uso la plataforma ALASKA SATELLITE FACILITY con la finalidad de analizar y validar las escenas RADAR para la investigación.
- Generar pares interferométricos del glaciar del nevado Chimborazo a partir de imágenes adquiridas de la misión SAR- Sentinel 1, mediante Interferometría DInSAR empleando software Open Source.
- Realizar un análisis de la deformación de la superficie glaciar mediante la aplicación del método SBAS con el fin de monitorear el proceso de la dinámica del glaciar en el nevado Chimborazo a partir del empleo de imágenes SENTINEL-1.
- Analizar el retroceso glaciar interanual mediante una serie temporal SBAS, con el fin de obtener un registro georreferenciado de la pérdida del glaciar en el periodo de estudio.



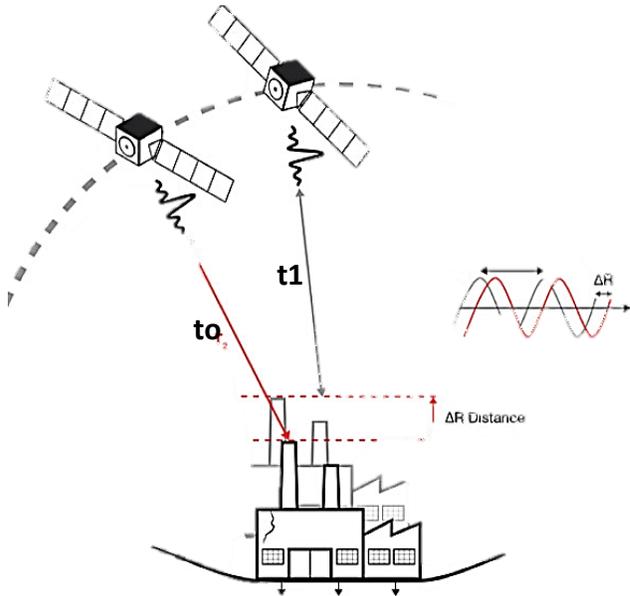
# FUNDAMENTO TEÓRICO

# FUNDAMENTO TEÓRICO

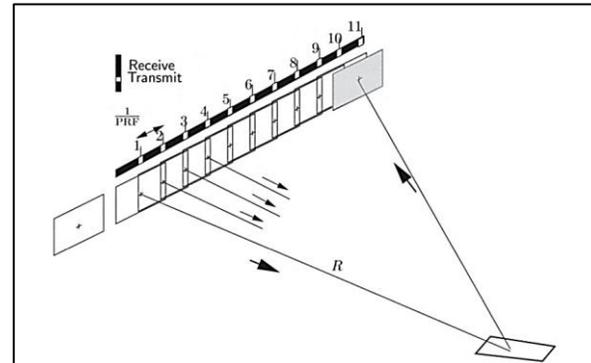
RADAR

Simulación de un RADAR de grandes dimensiones

Radio Detection And Ranging



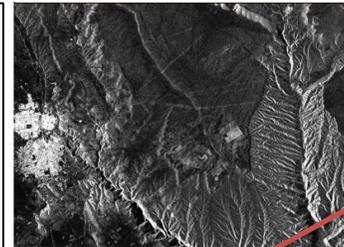
SAR



- Ángulo de incidencia
- Distancia del satélite
- Eco Doppler
- Retrodispersión

Características del RADAR

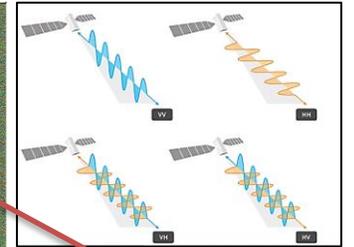
Amplitud



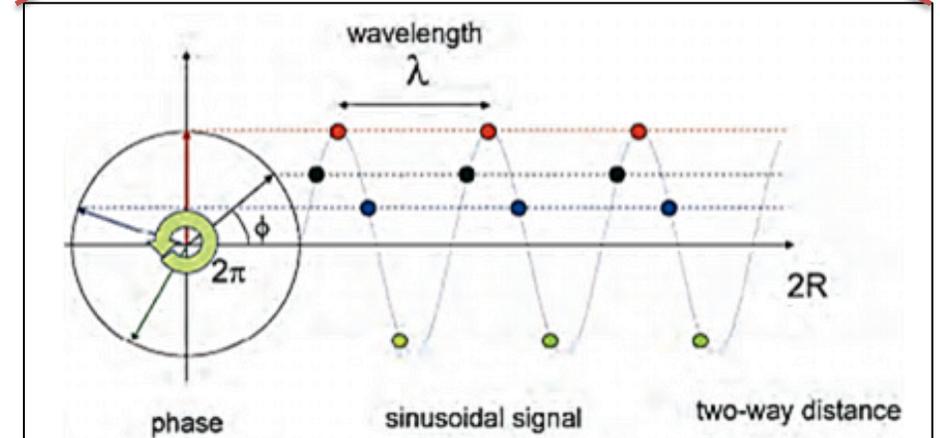
Fase



Polarización

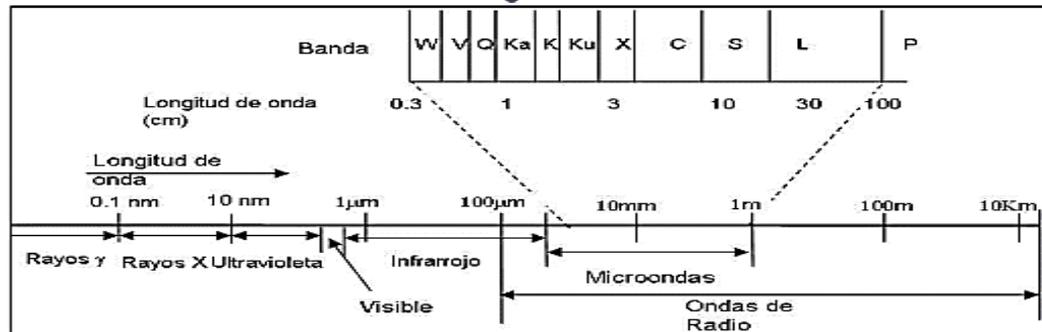


Propiedades dieléctricas

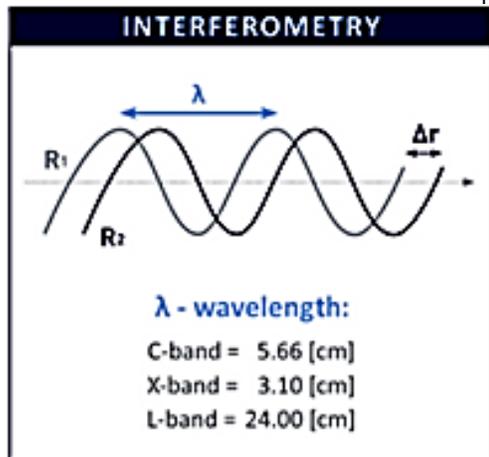
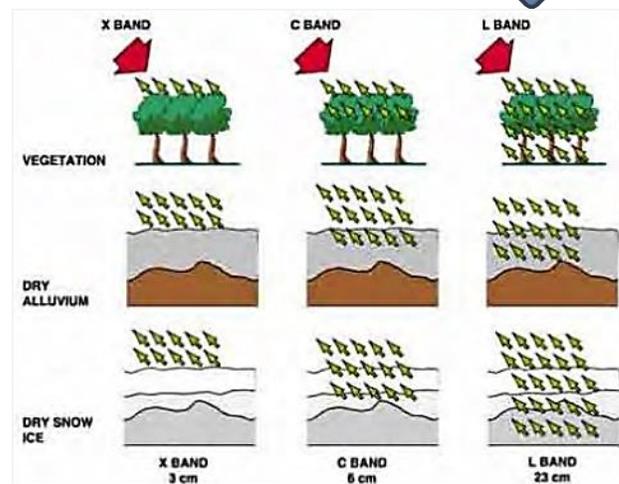


# FUNDAMENTO TEÓRICO

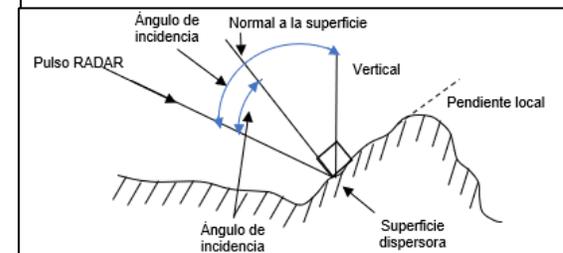
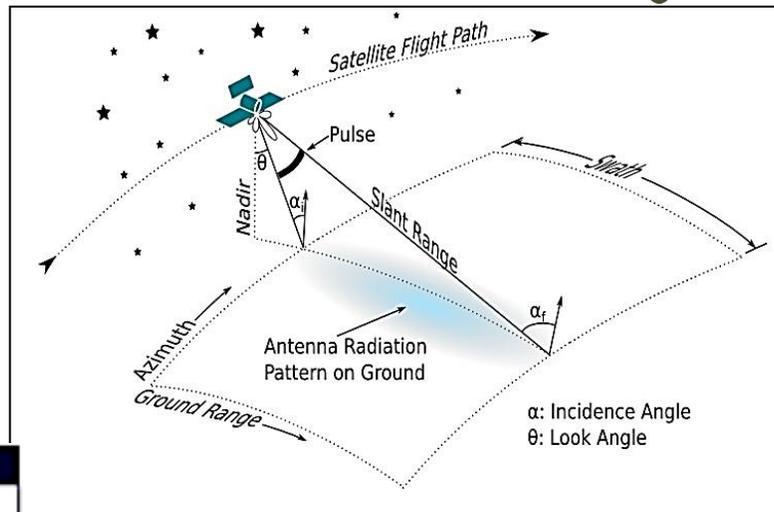
## Bandas SAR



Penetración de objetos sobre la superficie terrestre

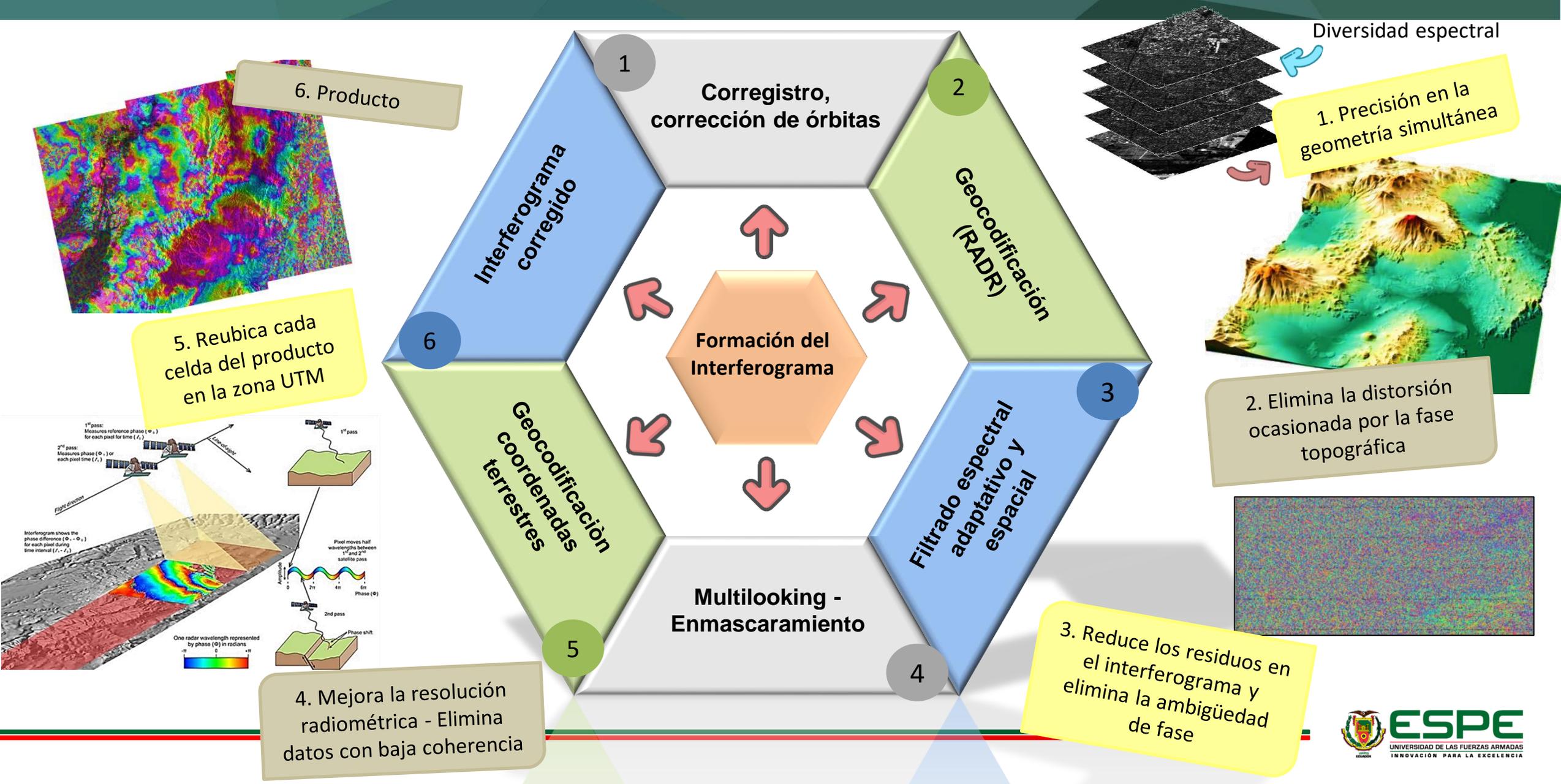


## Geometría de adquisición



- Trayectoria fija en dirección acimutal con antena de escaneo radar perpendicular (swath)
- Ángulo de incidencia, distancia y tiempo de retorno del pulso
- Sistema bidimensional (Azimuth y Rango)

# FUNDAMENTO TEÓRICO

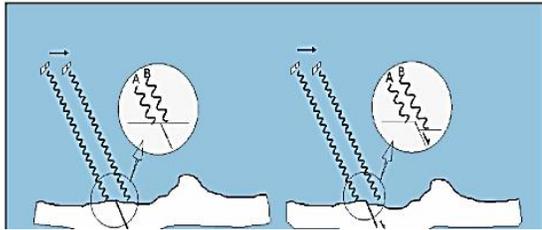


# FUNDAMENTO TEÓRICO

## Interferometría RADAR (InSAR)

1

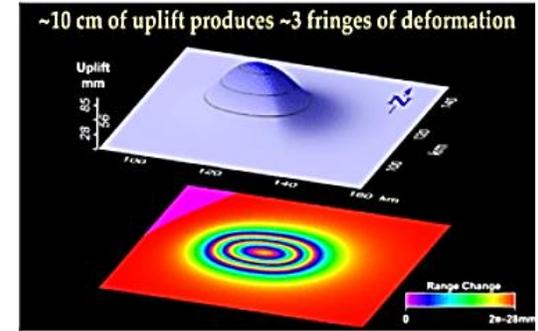
Cuantifica los cambios de altitud relativa



- amplitud
- tiempo de viaje de la onda
- polaridad

2

Detalle geomorfológico espacial



Materiales

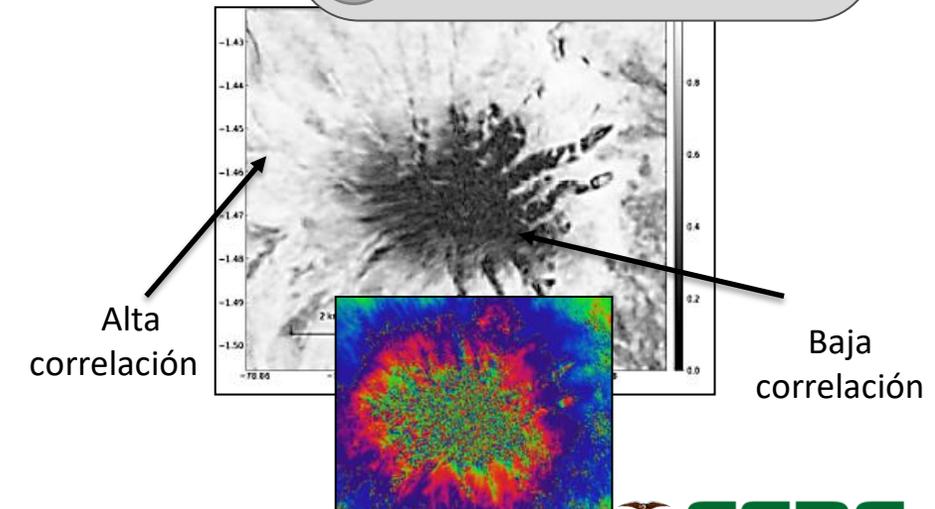
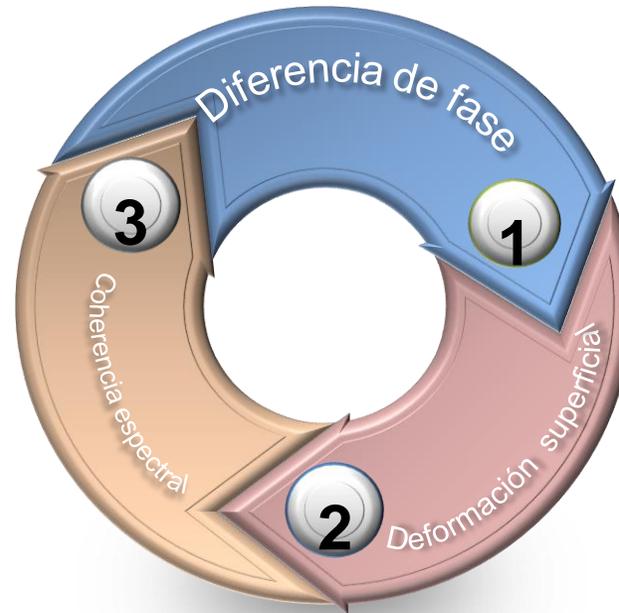


Valores digitales



3

Estimación de la estabilidad de fase de los objetos



## Interferometría RADAR Diferencial (DinSAR)

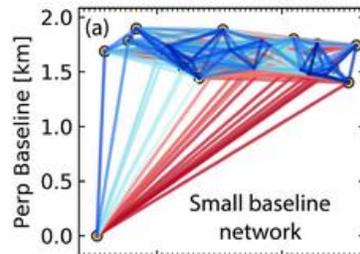
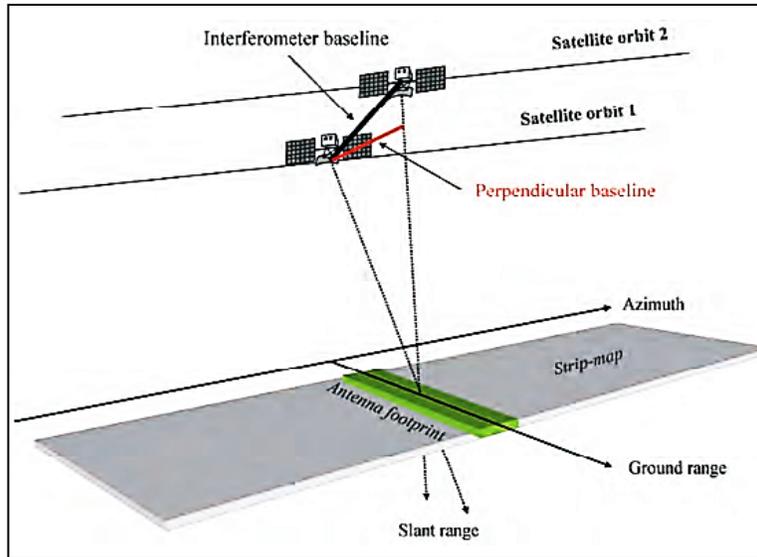


Elimina la fase topográfica

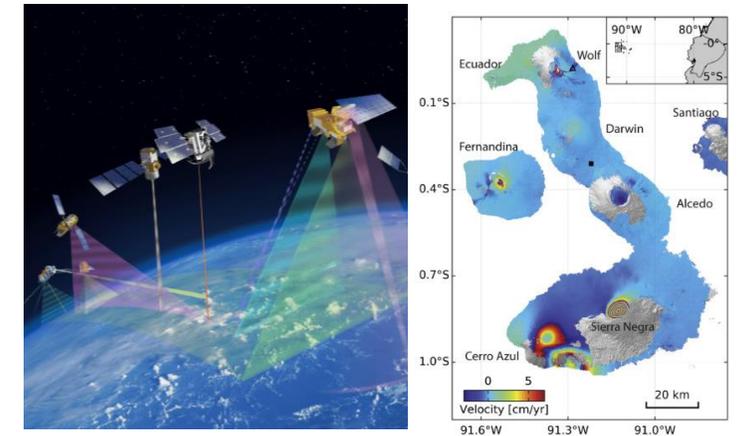
# FUNDAMENTO TEÓRICO

## Small Baseline Subset (SBAS)

### 1 Línea base perpendicular corta



### 2 Línea base temporal corta



$$\Delta\varphi_{1-2} = \frac{4\pi}{\lambda} * (d_1 - d_2)$$

Minimiza errores

- Relacionados con desempaquetado
- Residuales de fase, ruido y topografía
- Coherencia como medida de calidad
- Decorrelación temporal y espacial

Duration	Known as	Measurement of
ms to sec	along-track	ocean currents, moving object detection, MTI
days	differential	glacier/ice fields/lava flows, surface water extent, hydrology
days to years	differential	subsidence, seismic events, volcanic activity, crustal displacement

# FUNDAMENTO TEÓRICO

## SATÉLITES SENTINEL 1

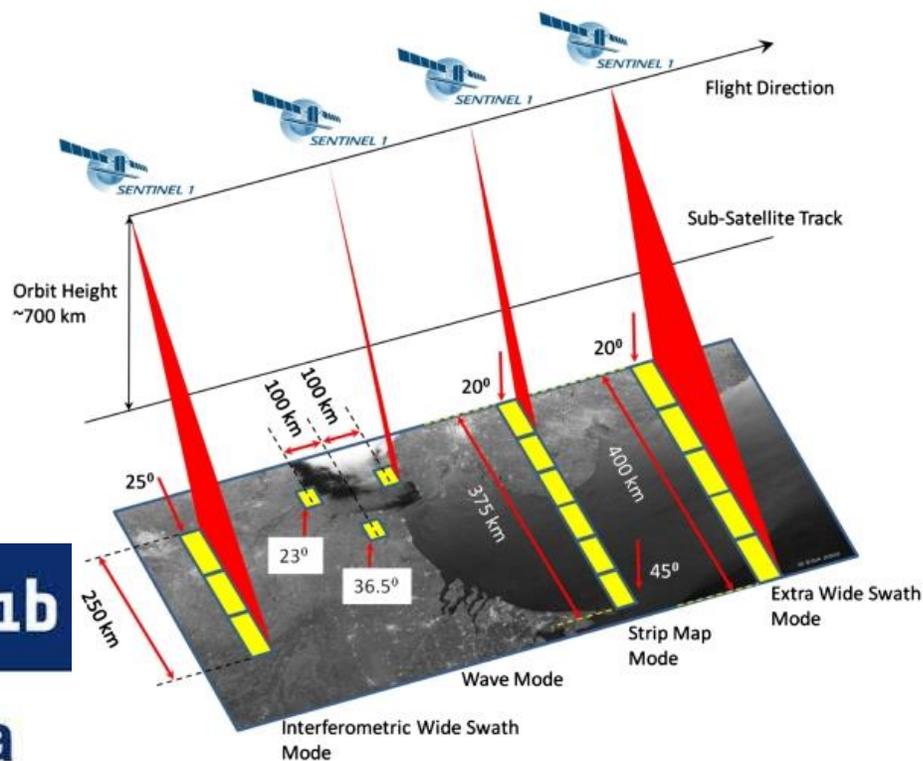
1

### Características

- Misión 1A y 1B
- Banda C: 5,405 GHz
- Órbita: Ascendente y Descendente
- Polarización: VV, VH, HH y HV
- Resolución Temporal: 12 días / 6 días

2

### Modo de adquisición



3

### Nivel de adquisición

Datos Raw sin procesar sin georreferenciación

Nivel 0

Nivel 1

Productos

- SLC
- GRD

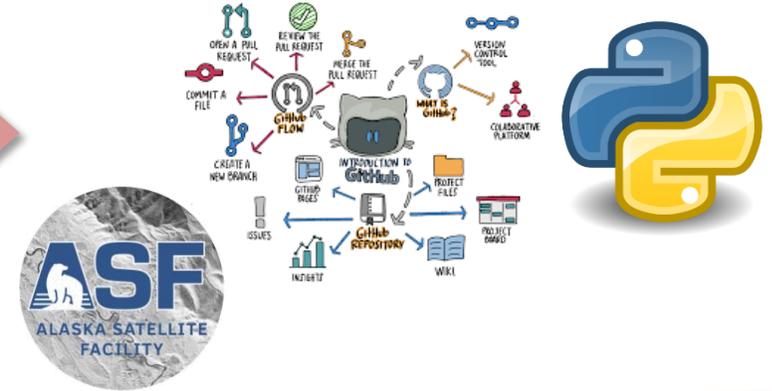
Nivel 2

Datos procesados georreferenciados y corregidos, muestran deformaciones superficiales 2D y 3D

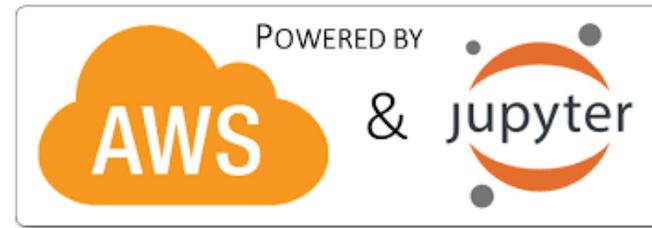
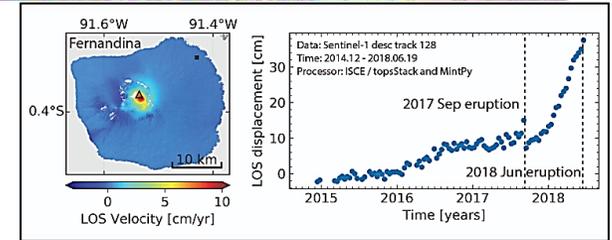


# FUNDAMENTO TEÓRICO

Software  
Open Source



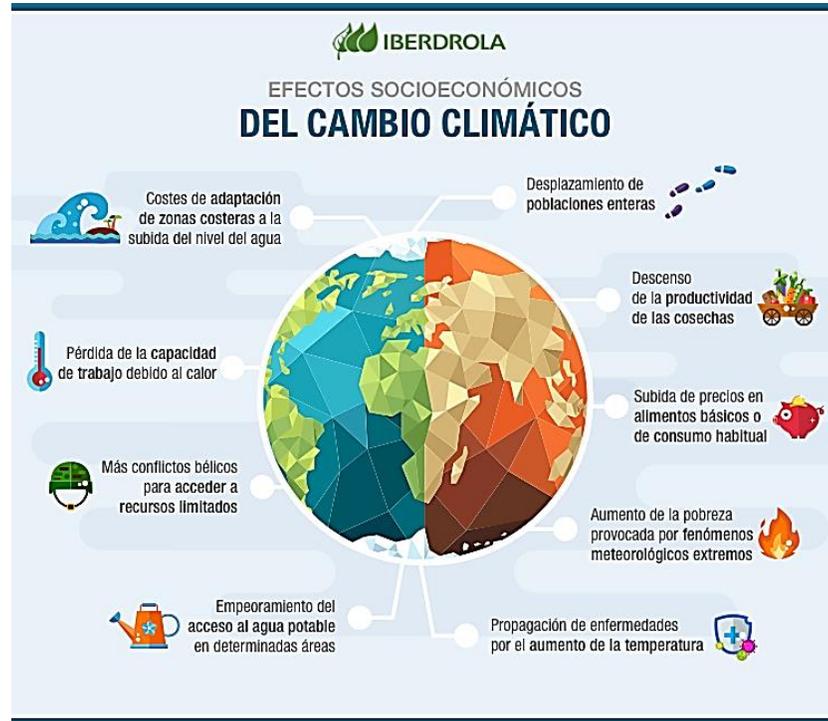
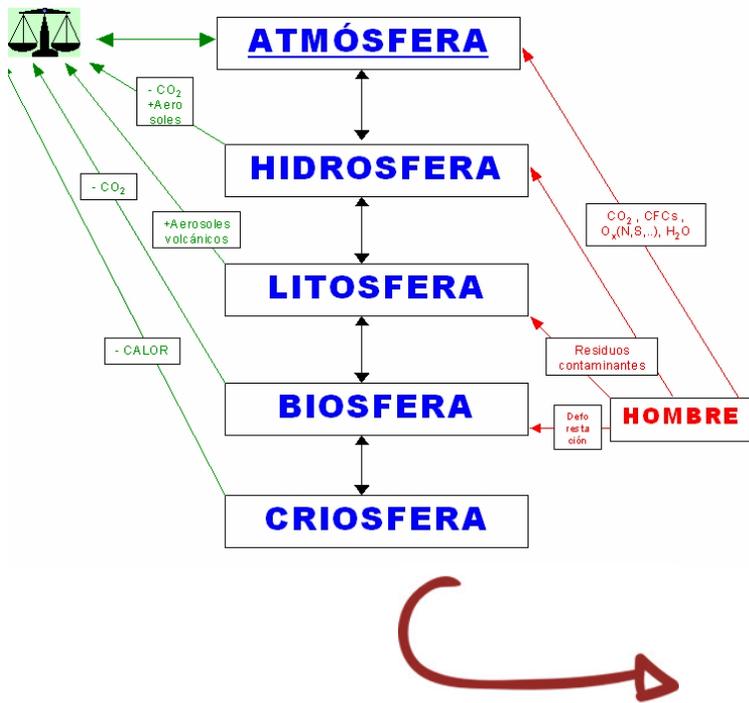
*J* **GAMMA REMOTE SENSING**



# FUNDAMENTO TEÓRICO

## Efectos del cambio climático

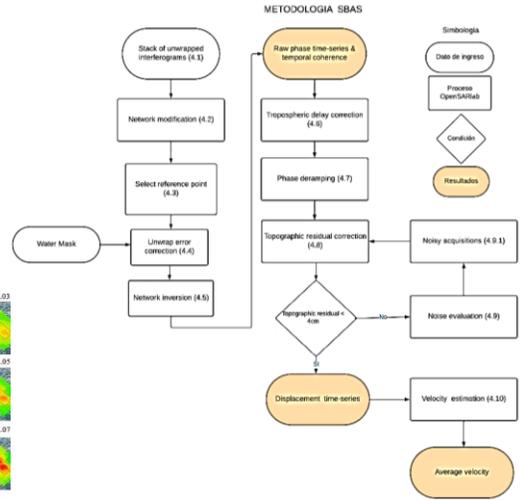
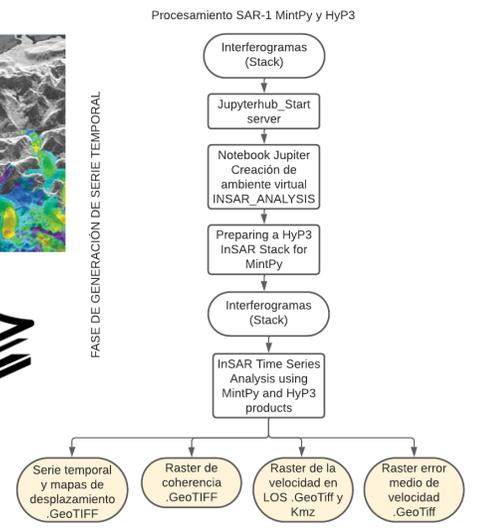
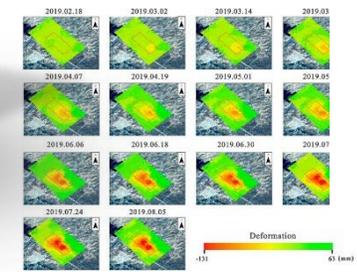
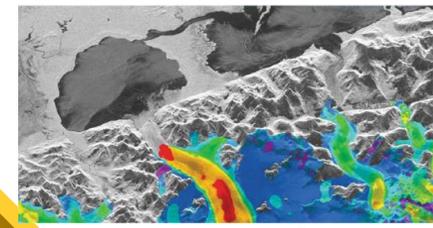
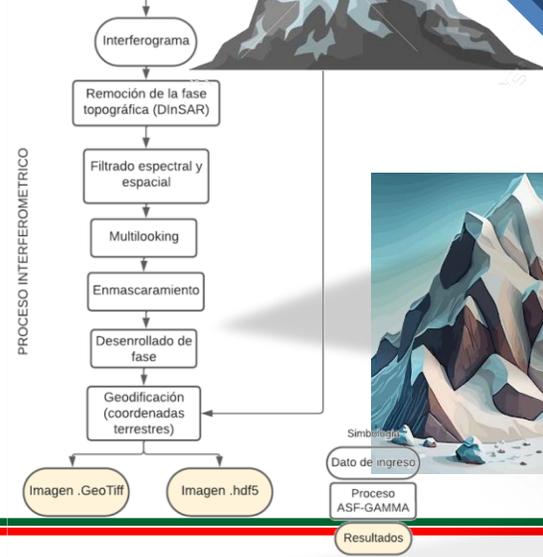
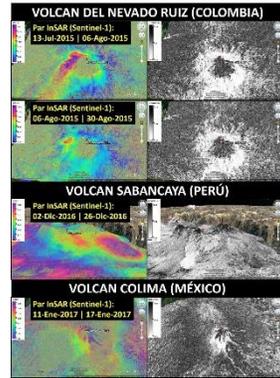
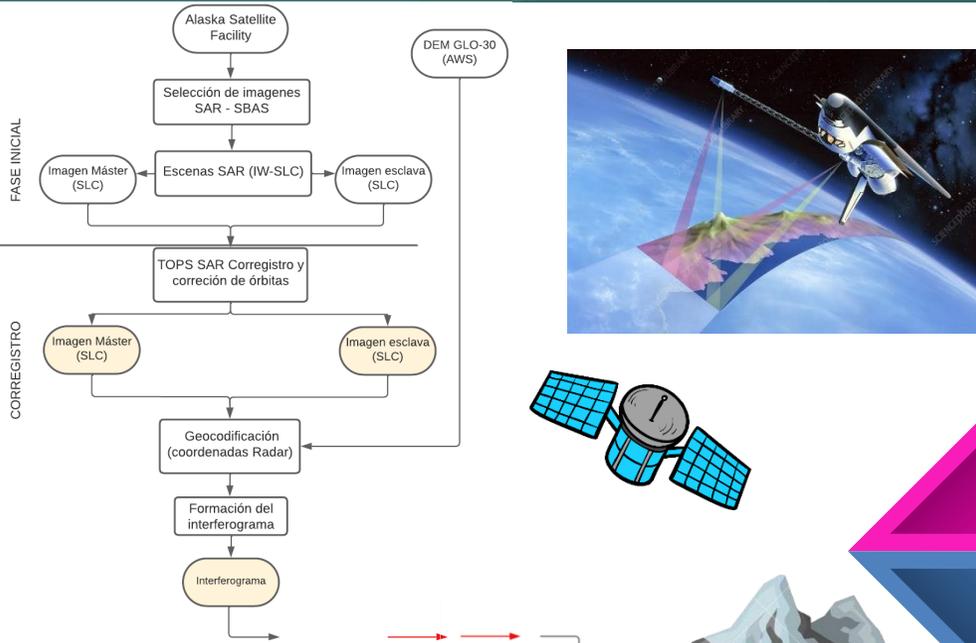
### SISTEMA CLIMÁTICO



The image shows a satellite view of a mountain range, likely the Andes, with a prominent snow-capped peak in the center. Two satellites are visible in orbit above the mountains. The word 'METODOLOGÍA' is overlaid in large, bold, cyan letters across the middle of the image. The background is a dark, starry sky.

# METODOLOGÍA

# METODOLOGÍA



# METODOLOGÍA

1

Fase Inicial

Identificación del área del glaciar

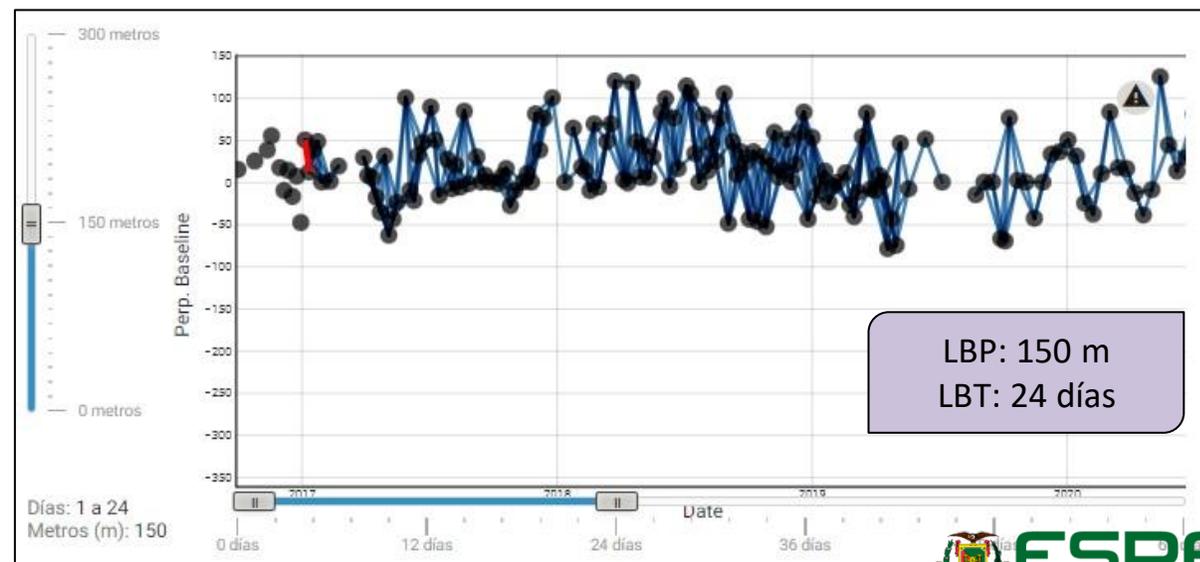
Filtros de búsqueda

## CARÁCTERÍSTICAS DE LAS IMÁGENES SAR

Misión	Sentinel 1
Nivel de procesamiento	N1 - Single Look Complex (SLC)
Modo de adquisición	Interferometric Wide Swath (IW)
Polarización	VV+VH
	VV
Dirección de órbita	Ascendente
Banda	C
Resolución Geométrica	5x20 m
Resolución Temporal	6-12 días
Fecha de inicio	01-01-2017
Fecha de fin	31-12-2020



Disponibilidad de escenas



Configuración de umbrales

# METODOLOGÍA

Procesamiento en GAMMA

2

Procesamiento Interferométrico

Formato .par

Pares de imágenes SAR

Jan 05 2017 to Jan 11 2017 30m 6d S1B\_IW\_SLC\_\_1SDV\_20170105T233603\_20170105T233630\_003719\_0066

Jan 05 2017 to Jan 17 2017 11m 12d RTC GAMMA

Jan 05 2017 to Jan 23 2017 4m 18d InSAR GAMMA

Jan 05 2017 to Jan 29 2017 76m 24d autoRIFT

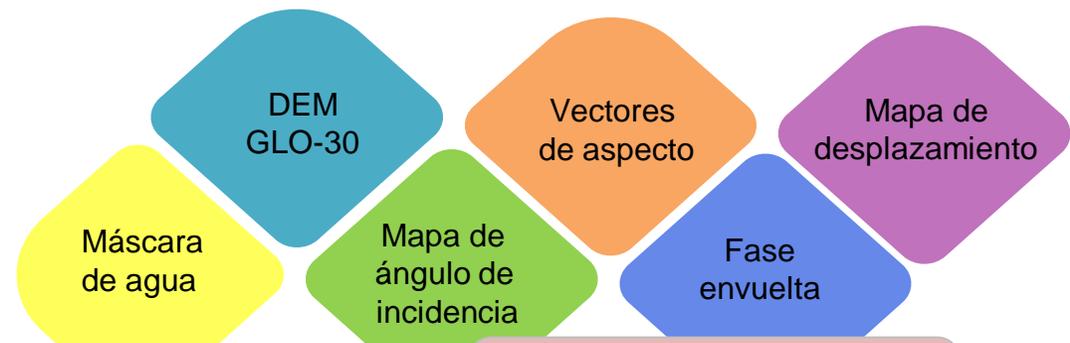
Jan 11 2017 to Jan 17 2017 19m 6d

Add 1 SLC Pair

On Demand Powered by HyP3

Número de par	Escena Principal	Escena Secundaria	Línea Base Perpendicular (m)	Línea Base Temporal (días)
1	S1A_IW_SLC__1SSV_20170111T233621_20170111T233651_01_4790_01816F_9E10	S1A_IW_SLC__1SSV_20170123T233621_20170123T233651_01_4965_0186E6_BAF6	36	12
	S1B_IW_SLC__1SSV_20170210T233537_20170210T233605_00_4244_0075C4_6040	S1B_IW_SLC__1SDV_20170222T233536_20170222T233604_0_04419_007B0C_3AF5		
	S1B_IW_SLC__1SDV_20170330T233536_20170330T233651_0_04944_008A54_3ED9	S1A_IW_SLC__1SDV_20170405T233651_0_03_279F		
2	S1A_IW_SLC__1SSV_20170111T233621_20170111T233651_01_4790_01816F_9E10	S1A_IW_SLC__1SSV_20170123T233621_20170123T233651_01_4965_0186E6_BAF6	18	12
3	S1B_IW_SLC__1SDV_20170210T233537_20170210T233605_00_4244_0075C4_6040	S1B_IW_SLC__1SDV_20170222T233536_20170222T233604_0_04419_007B0C_3AF5	21	6

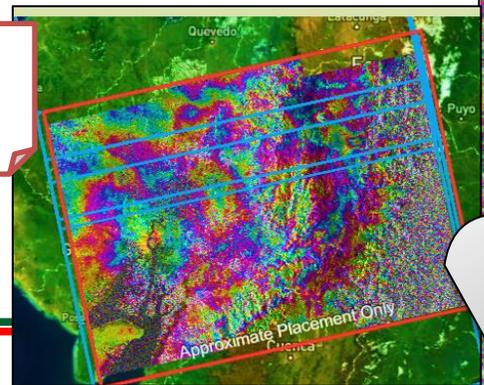
47 pares de imágenes SAR



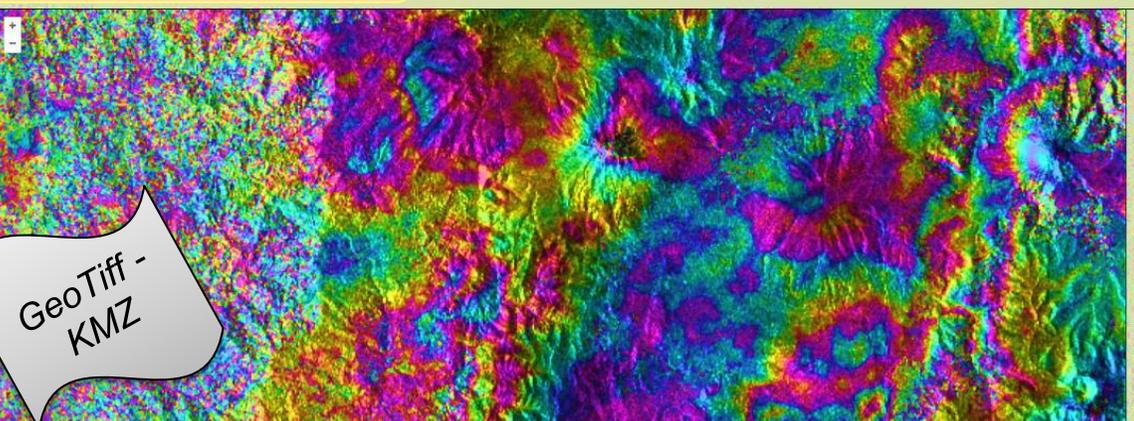
Interferograma generado

Parámetros del Servicio On demand/ Powered by HyP3

Correlación cruzada de intensidad



GeoTiff - KMZ



Scene Detail

Reference: S1B\_IW\_SLC\_\_1SDV\_20190401T233600\_20190401T233627\_015619\_01D493\_14E9

Start Time - 04/01/2019, 23:36:00Z  
Stop Time - 04/01/2019, 23:36:27Z  
Beam Mode - IW  
Path - 18  
Frame - 1172

Flight Direction - ASCENDING  
Polarization - VV+VH  
Absolute Orbit - 15619  
PGE Version - 2.91  
Data courtesy of ESA  
Creation

Secondary: S1B\_IW\_SLC\_\_1SDV\_20190413T233600\_20190413T233627\_015794\_01DA54\_2AF4

Start Time - 04/13/2019, 23:36:00Z  
Stop Time - 04/13/2019, 23:36:27Z  
Beam Mode - IW  
Path - 18  
Frame - 1172

Flight Direction - ASCENDING  
Polarization - VV+VH  
Absolute Orbit - 15794  
PGE Version - 2.91  
Data courtesy of ESA  
Creation

Product Details

Project Name: TESIS\_CHIMBORAZO\_2017-2020  
Looks: 10x2  
Water Mask: true  
DEM: true  
Incidence Angle Maps: true  
Look Vectors: true

Remuestreo

Resolución: 80 m  
10X2  
Espaciado: 40 m

# METODOLOGÍA

Instalación del entorno virtual usando un `environment.yml`



Welcome To OpenScienceLab

If a desired lab is not listed, please fill out and submit the form below.

OpenSARLab (ASF DAAC)



Creación del entorno virtual **Conda Environment**  
MintPy-InSAR Analysis



Preparación de la pila INSAR en HyP3 para MintPy



Selección del periodo y generación de la pila de interferogramas



Análisis de serie temporal InSAR usando MintPy y productos HyP3

```
import url_widget as url_w
notebookUrl = url_w.URLWidget()
display(notebookUrl)
```

Error displaying widget: model not found

```
from IPython.display import Markdown
from IPython.display import display
```

```
notebookUrl = notebookUrl.value
user = !echo $JUPYTERHUB_USER
env = !echo $CONDA_PREFIX
if env[0] == '':
    env[0] = 'Python 3 (base)'
```



Mapear la deformación superficial con una serie temporal InSAR

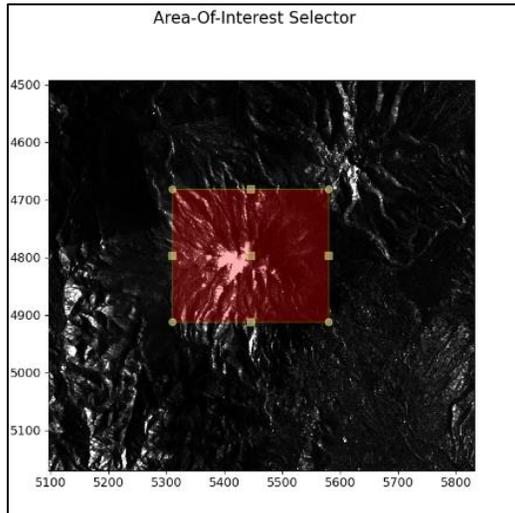
3

## Serie temporal SBAS

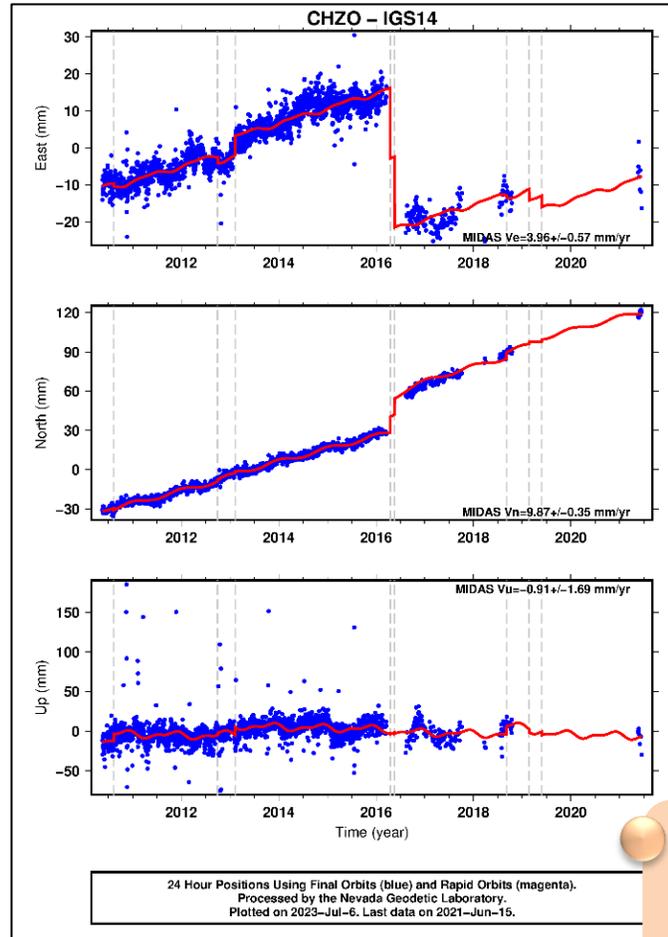


Correcciones  
troposféricas

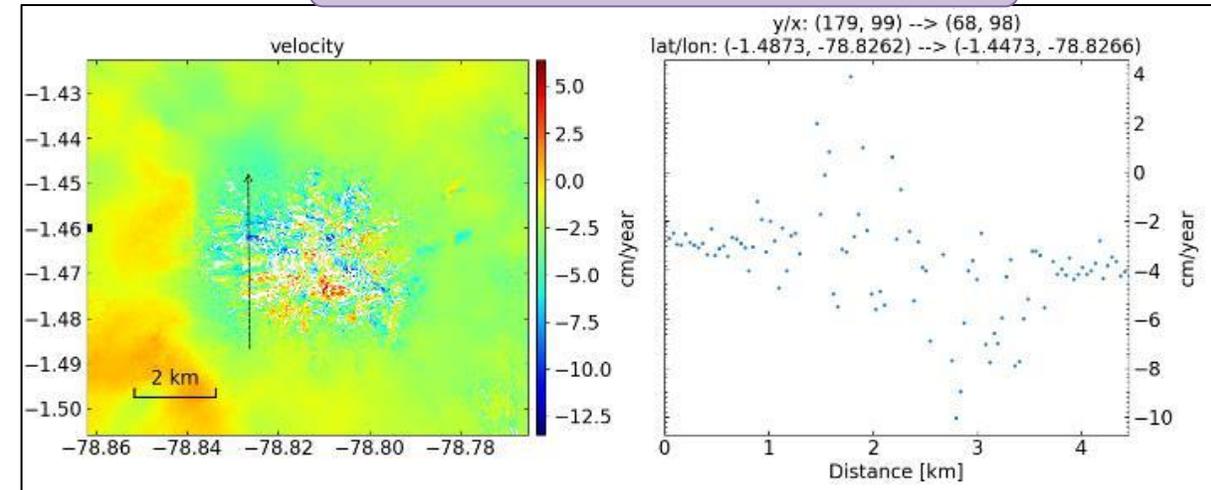
Selección del AOI del  
área de interés



8 núcleos  
disponibles para  
el multiproceso



Trazado de un transecto de movimiento



Comparación de las series temporales de  
InSAR con las series temporales de GPS  
en dirección LOS

# METODOLOGÍA

4

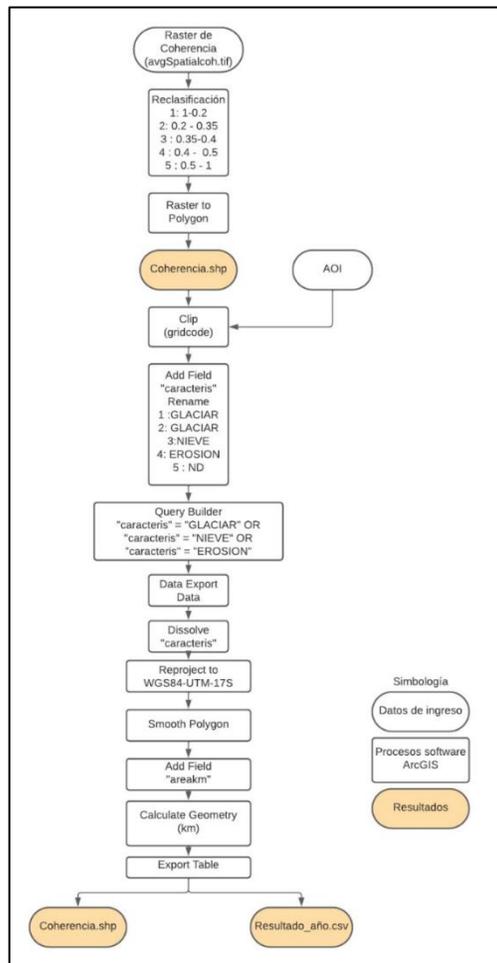
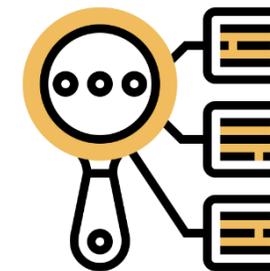
## Análisis de la dinámica superficial del glaciar



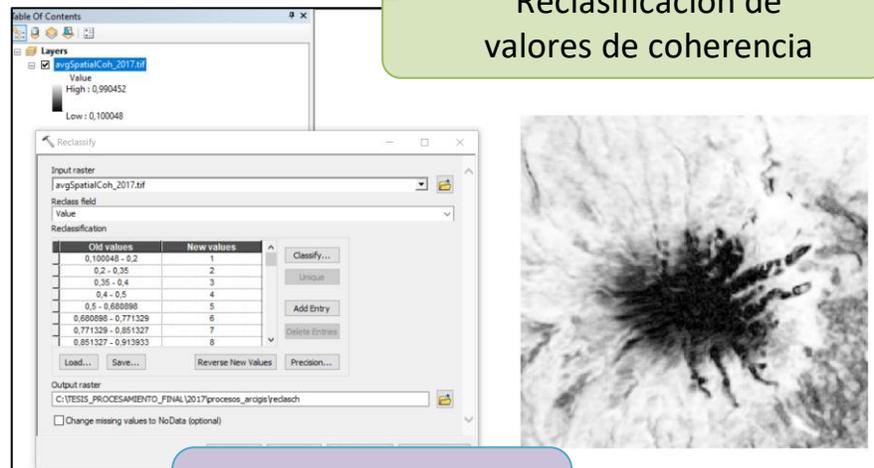
ArcGIS Académico



GeoTiff



Reclasificación de valores de coherencia



Método Natural Breaks (Jenks)

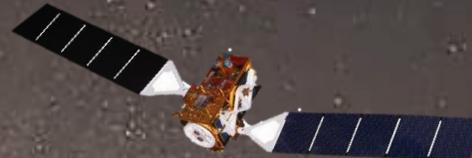
Coherencia para la banda C

coherencia_clip_gridcode				
	FID	Shape *	gridcode	caracteris
	0	Polygon	1	GLACIAR
	1	Polygon	2	GLACIAR
	2	Polygon	3	NIEVE
	3	Polygon	4	EROSION
	4	Polygon	5	ND
	5	Polygon	6	ND
	6	Polygon	7	ND
	7	Polygon	8	ND
	8	Polygon	9	ND

Definición de categorías

< 0.35 = glaciar  
 0.35 - 0.40 = nieve  
 0.40 - 0.50 = suelo erosionado



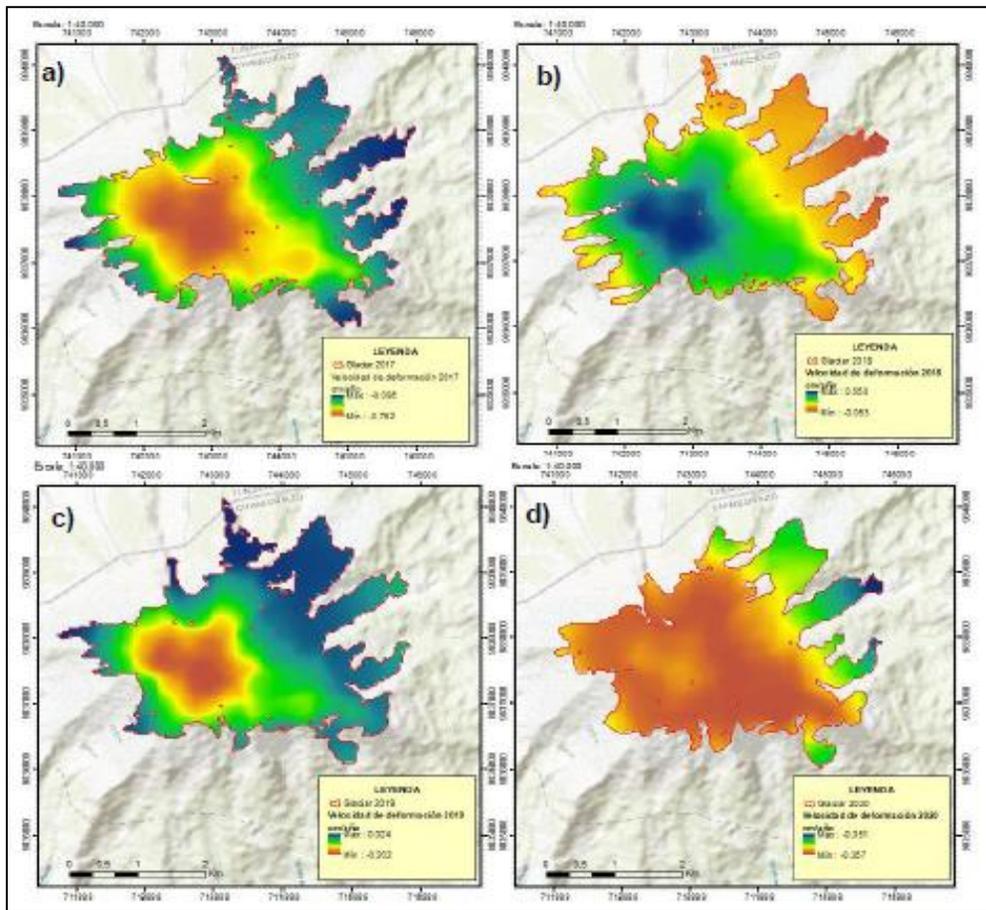


# RESULTADOS



# RESULTADOS

Escenas completas periodo 2017-2020



Velocidad de deformación en dirección de LOS periodo 2017-2020

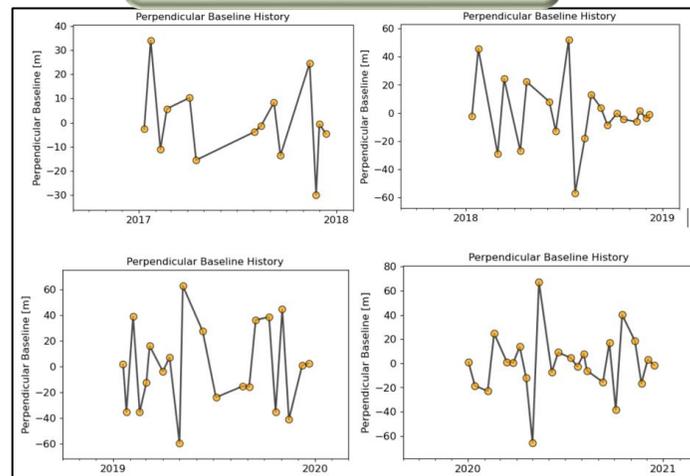
a) 2017

b) 2018

c) 2019

d) 2020

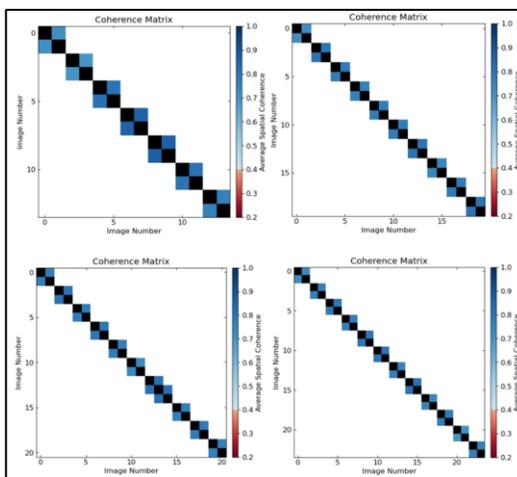
Descripción de la línea base perpendicular



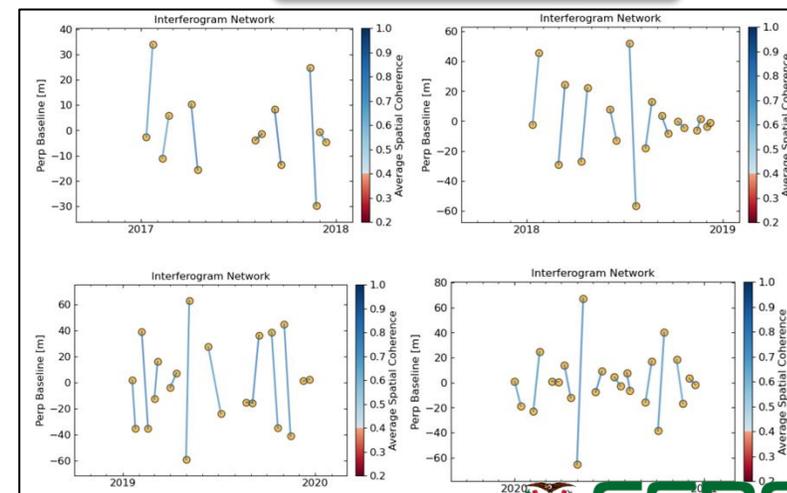
Historial de coherencia de cada par relacionado (0.7)



Matriz de coherencia



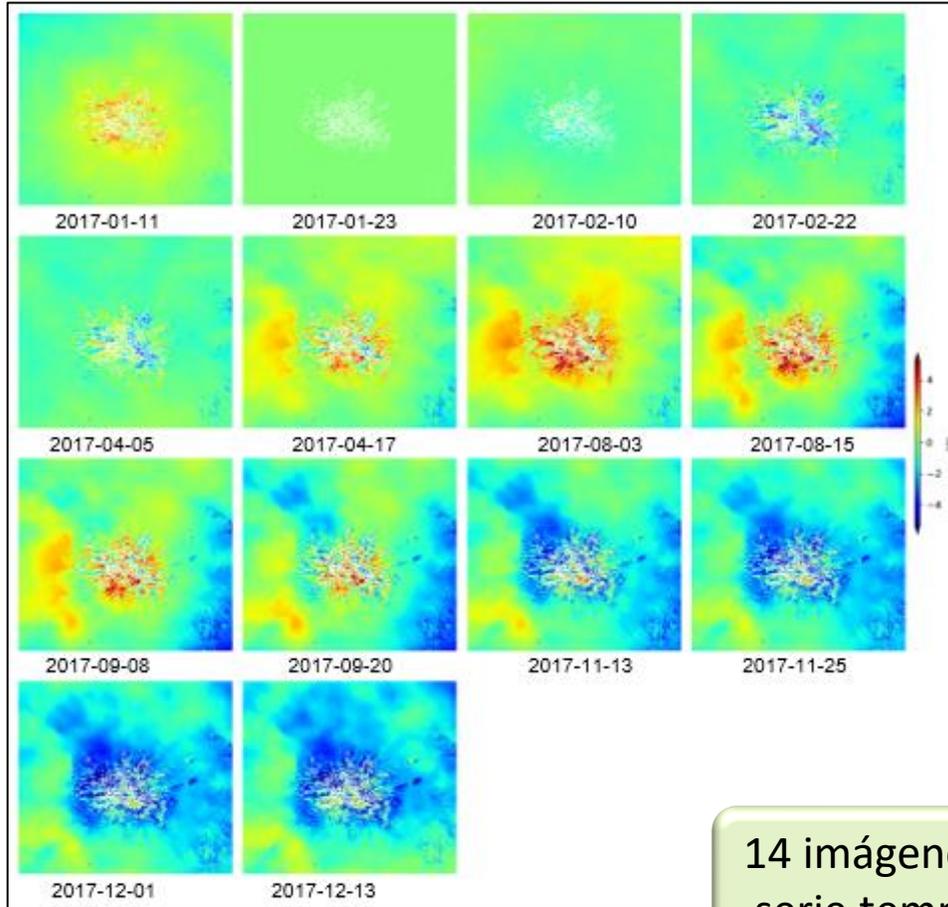
Red de interferogramas



Estimación de la estabilidad de fase de los objetos sobre la superficie terrestre.

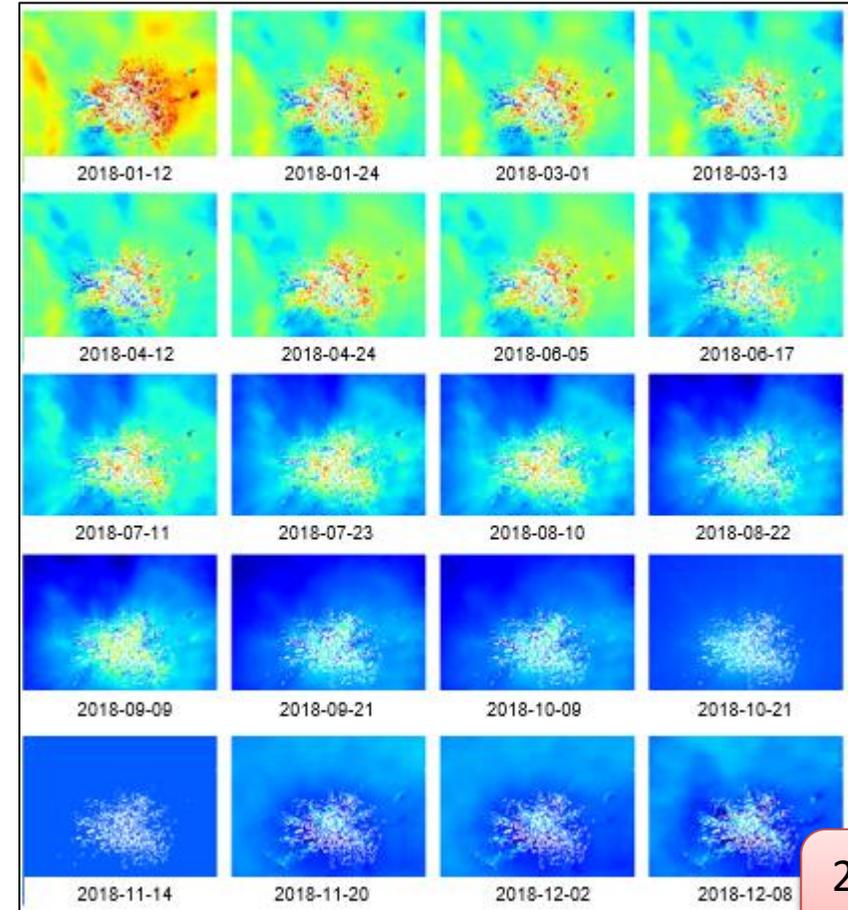
# RESULTADOS

Serie temporal desenrollada invertida del 2017



14 imágenes de serie temporal

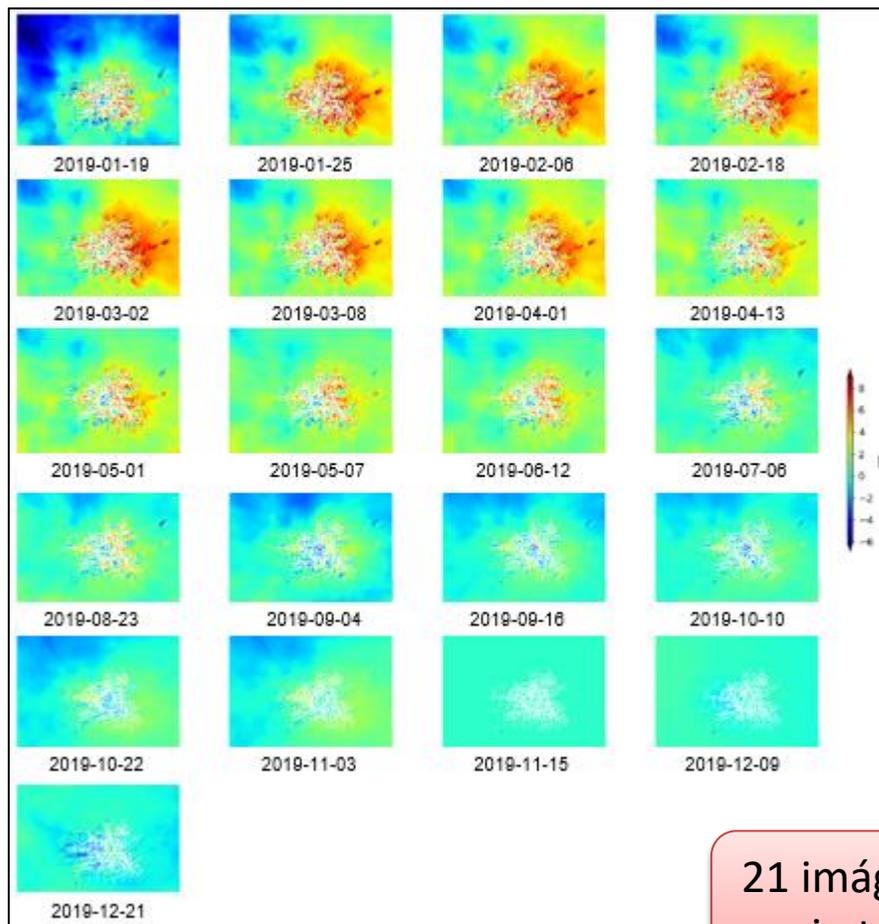
Serie temporal desenrollada invertida del 2018



20 imágenes de serie temporal

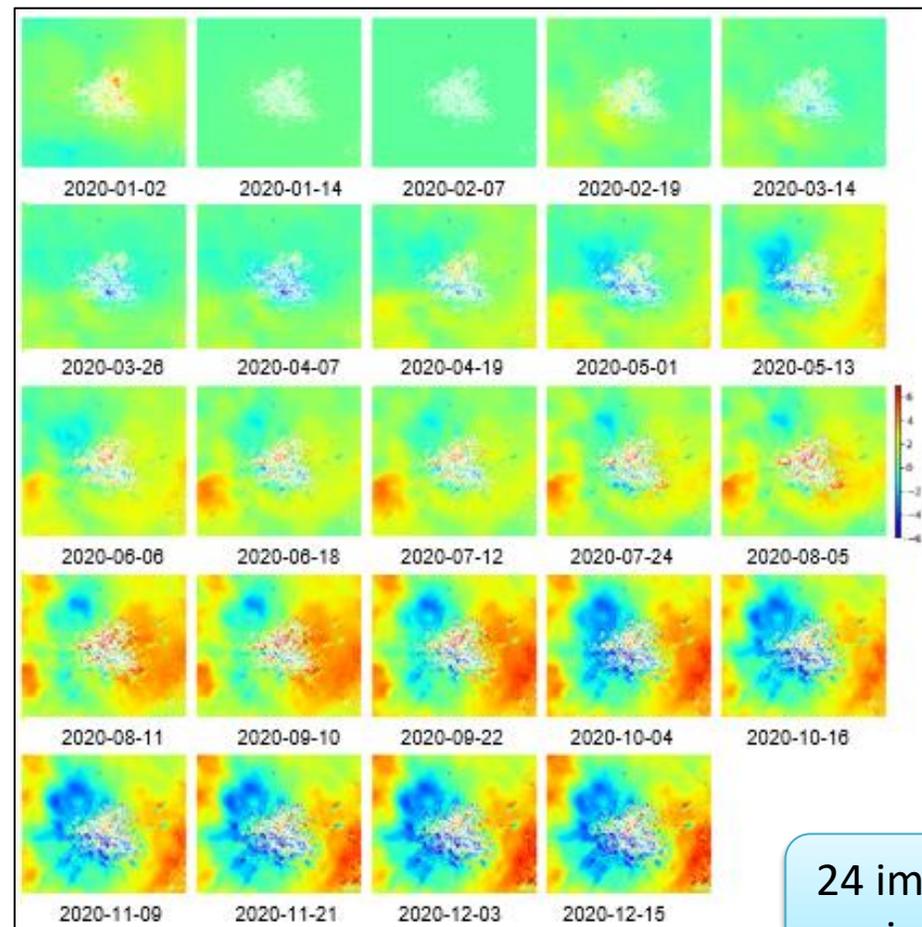
# RESULTADOS

Serie temporal desenrollada invertida del 2019



21 imágenes de serie temporal

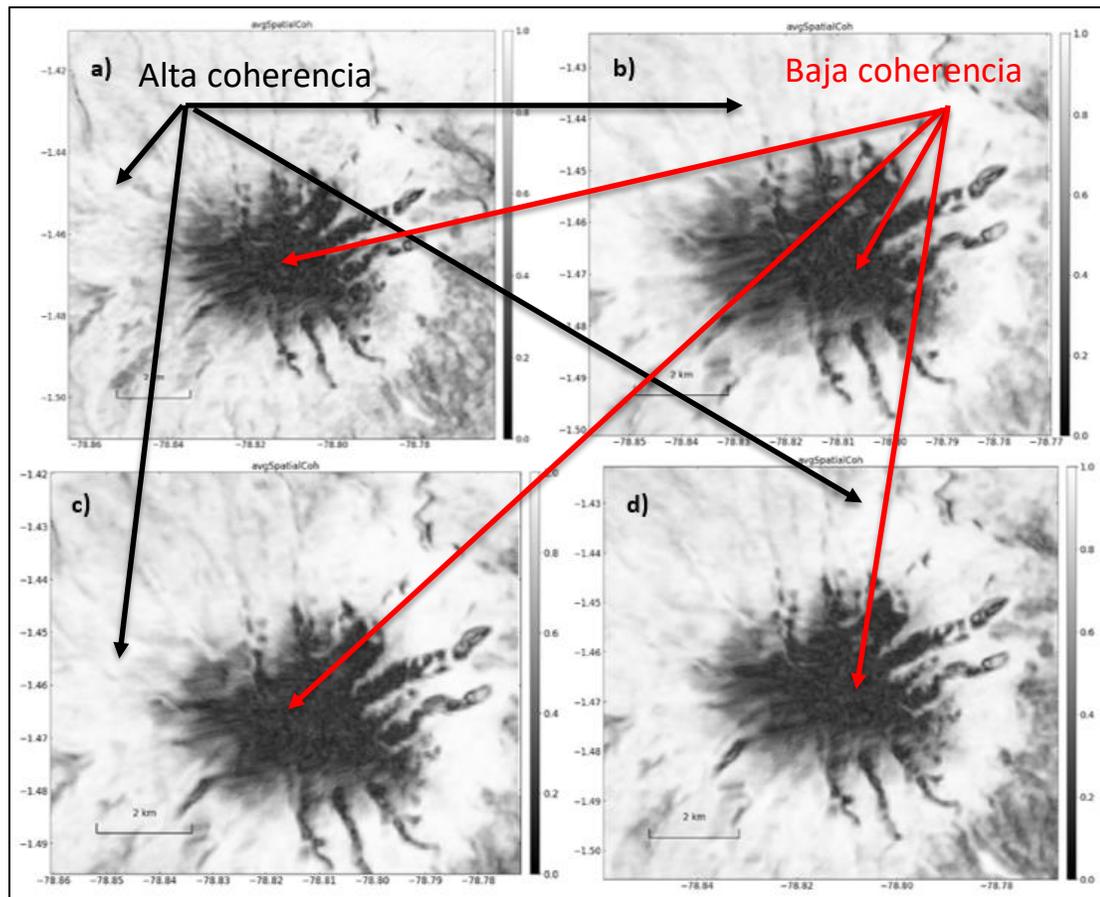
Serie temporal desenrollada invertida del 2020



24 imágenes de serie temporal

# RESULTADOS

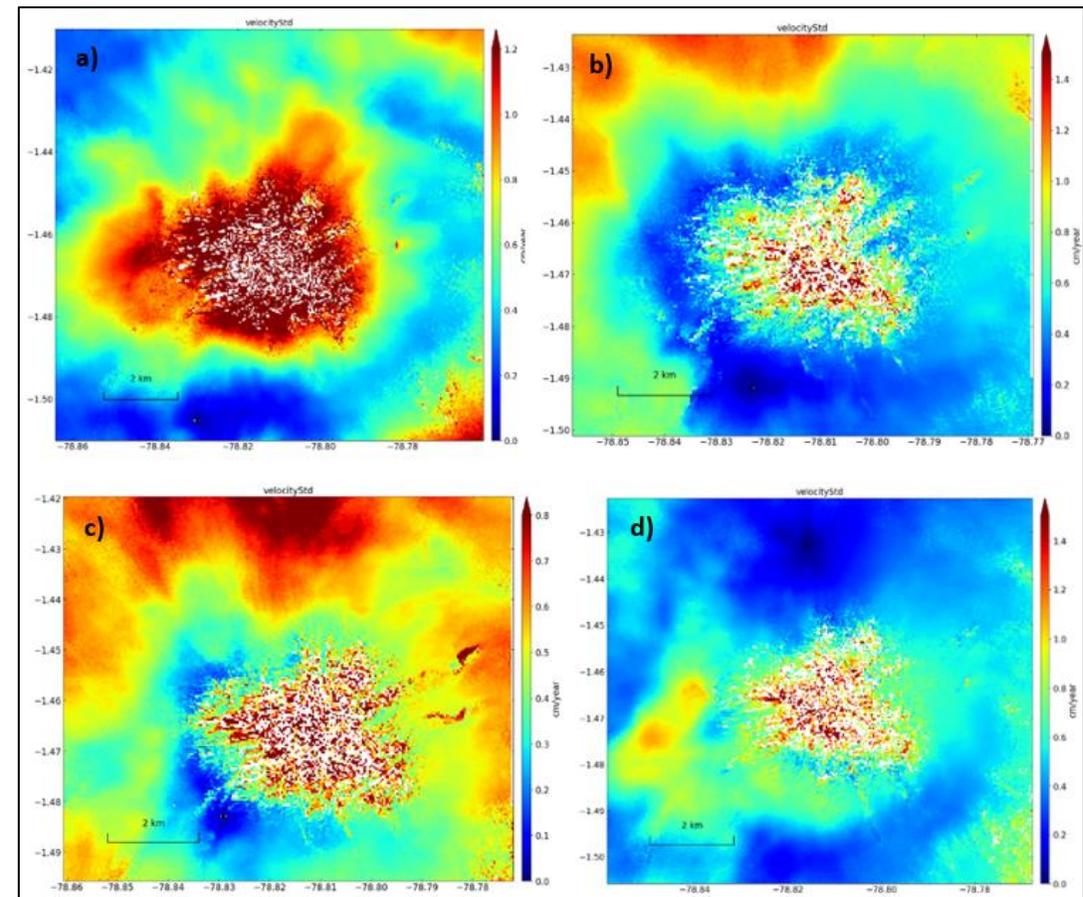
Coherencia espacial media



a) 2017

b) 2018

Error de velocidad periodo de análisis 2017-2020



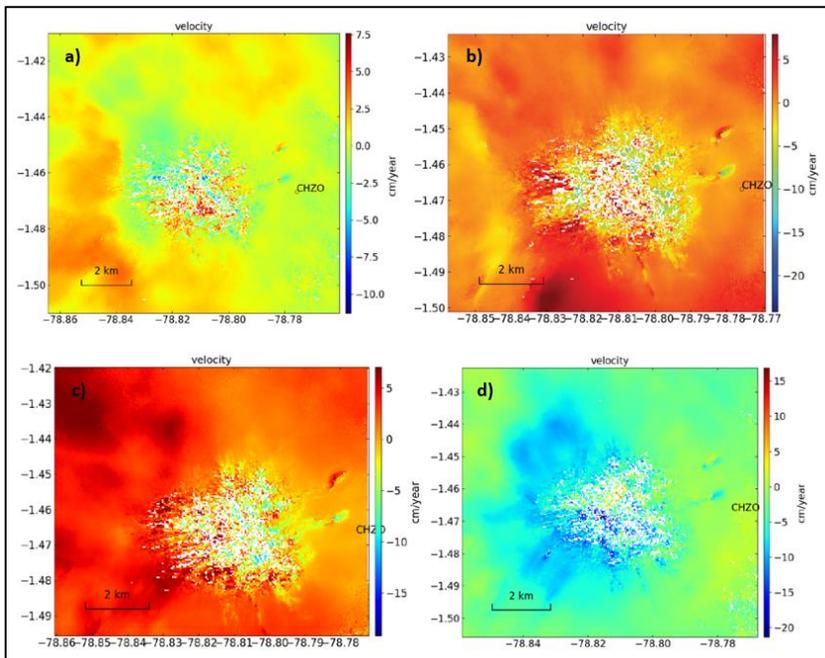
c) 2019

d) 2020

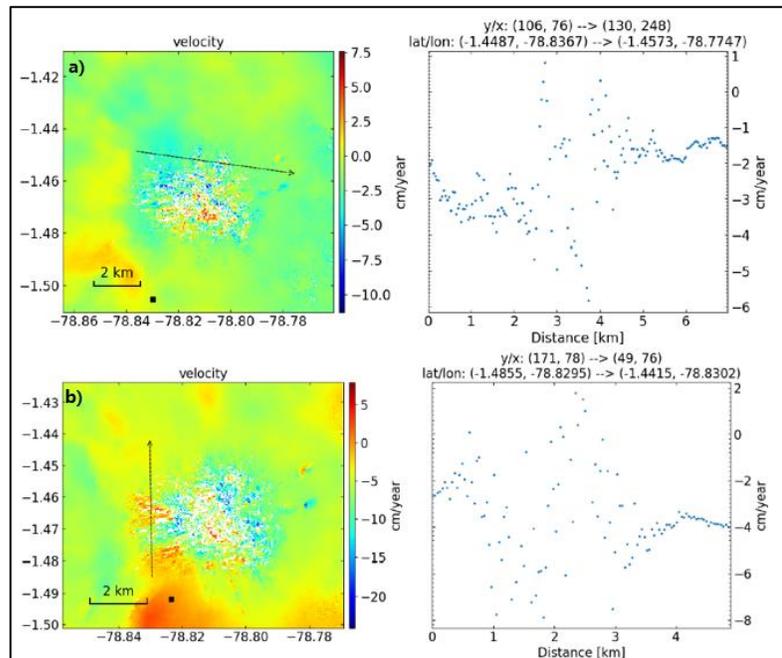
# RESULTADOS

Series temporales InSAR ajustada con series temporales de GPS de la estación CHZO

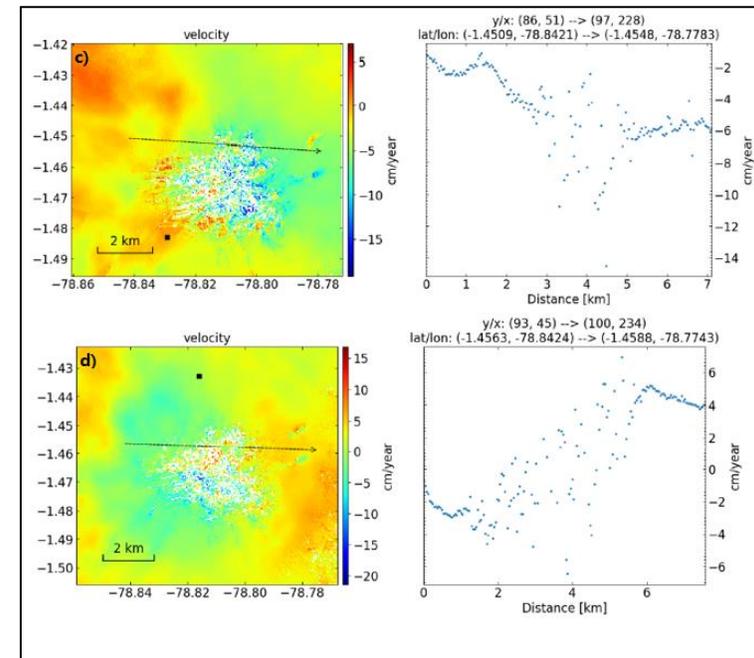
Transecto de movimiento



a) 2017



b) 2018



d) 2020

# RESULTADOS

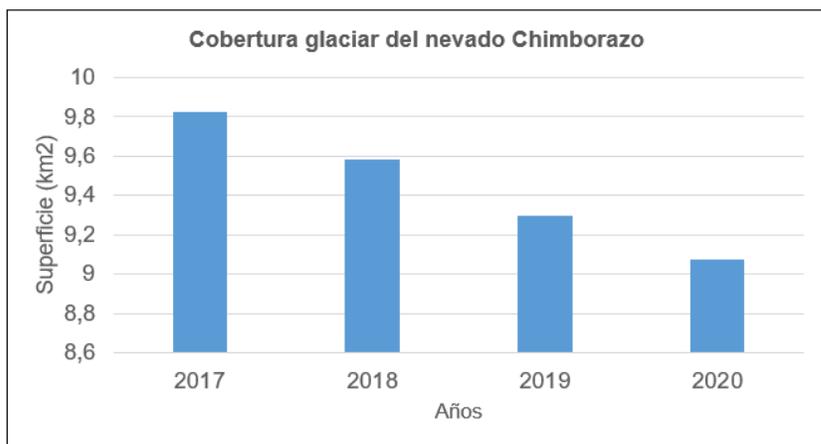
## Análisis de la dinámica superficial del glaciar Chimborazo

### Cobertura glaciar del periodo de análisis 2017-2020

Año	Superficie (km <sup>2</sup> )
2017	9,824
2018	9,580
2019	9,298
2020	9,071



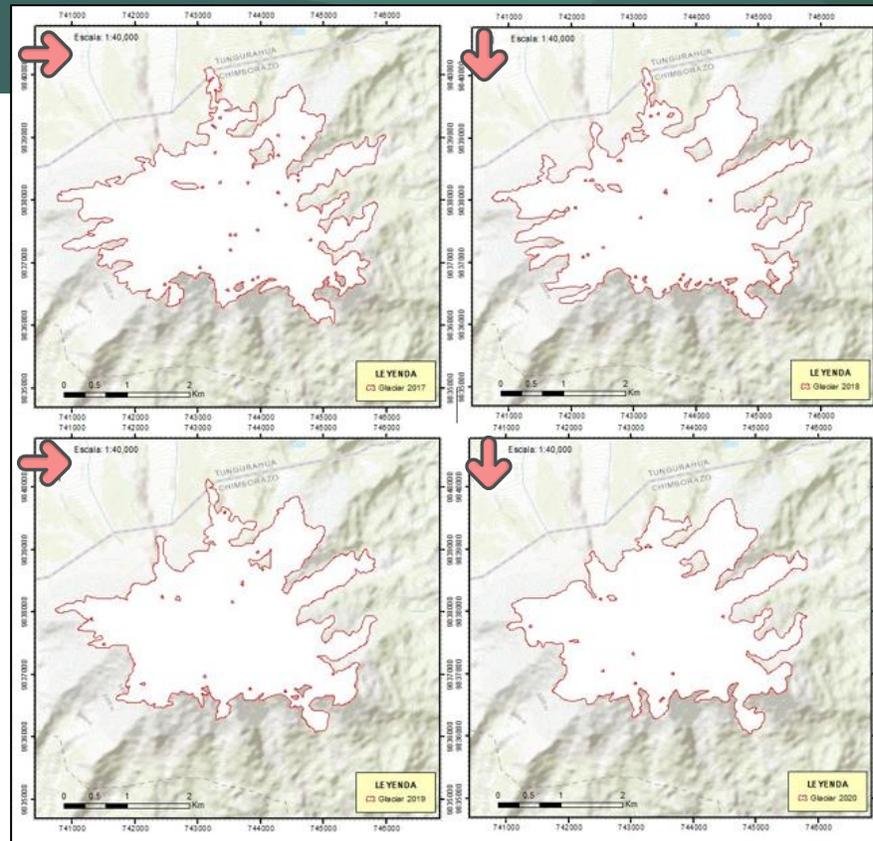
Superficie de cobertura glaciar



Dinámica del retroceso glaciar del periodo de análisis 2017-2020



Año	Retroceso anual (km <sup>2</sup> )	Velocidad máxima acumulación (cm/año)	Velocidad máxima de ablación (cm/año)	Error de la velocidad en dirección del LOS (positivo cm/año)	Error de la velocidad en dirección del LOS (negativo cm/año)
2017	-	0	0,76	0,062	0,167
2018	0,244	0,55	0,053	0,050	0,219
2019	0,282	0,024	0,202	0,082	0,154
2020	0,228	0	0,357	0,098	0,190



Evolución de la cobertura glaciar del nevado Chimborazo

Retroceso anual promedio de 0.251 km<sup>2</sup>

# RESULTADOS

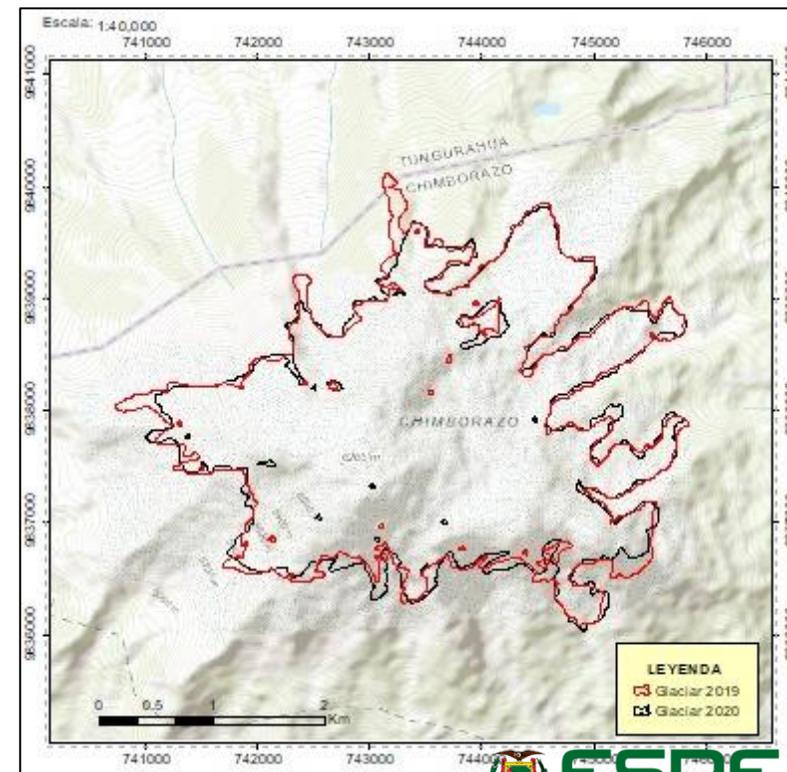
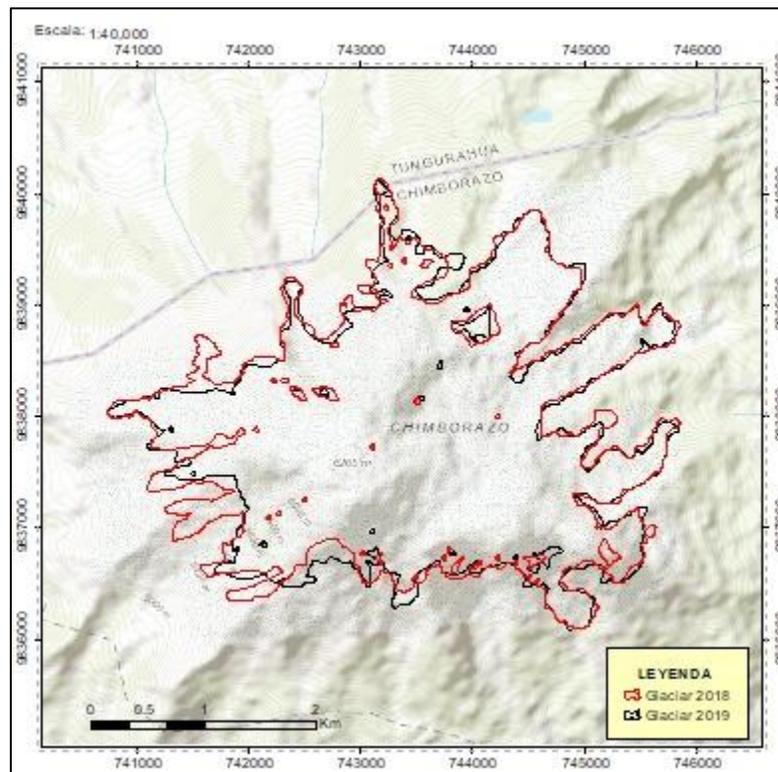
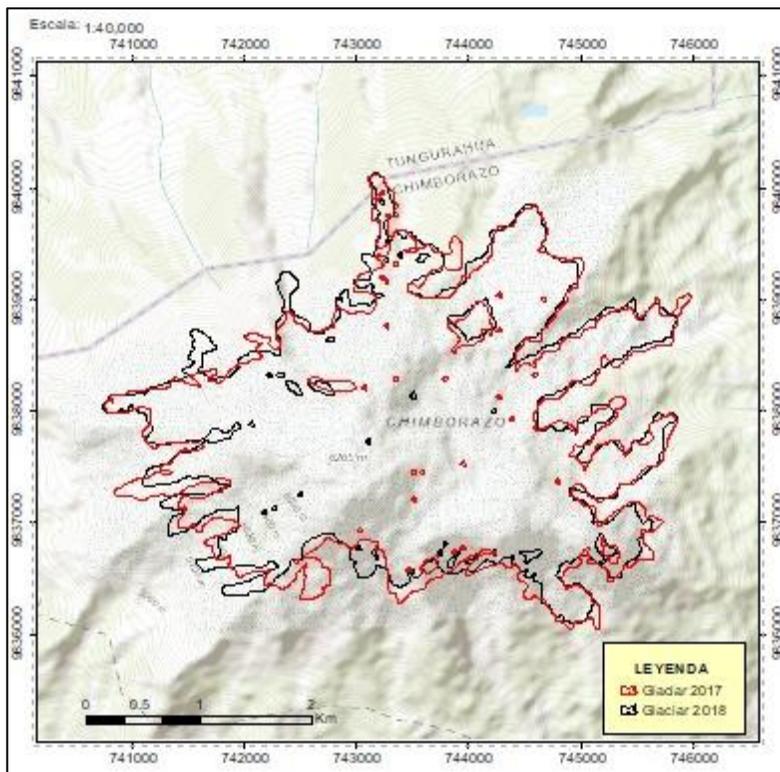
Tasa de deformación superficial del glaciar durante el periodo de análisis 2017-2020

Año	Tasa de cambio (%)
2017	-
2017-2018	2,49
2017-2019	5,35
2017-2020	7,67

Tasa de deformación superficial del glaciar interanual

Año	Tasa de cambio (%)
2017	-
2017-2018	2,49
2018-2019	2,94
2019-2020	2,45
<b>Promedio</b>	<b>2,63</b>

## Generación de mapas de superficie glaciar anual



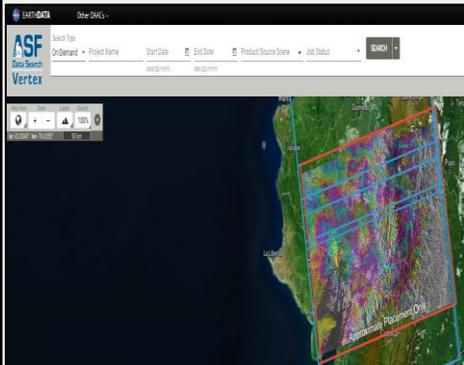
# CONCLUSIONES

## DInSAR-SBAS

1

### Procesamiento en ASF

Se logró recopilar 94 imágenes SAR Sentinel 1

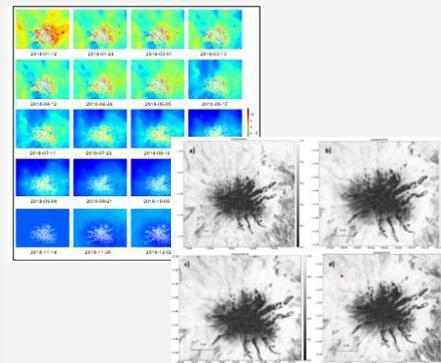


47 Interferogramas

2

### Aplicación del método SBAS

Monitoreo del proceso dinámico del glaciar

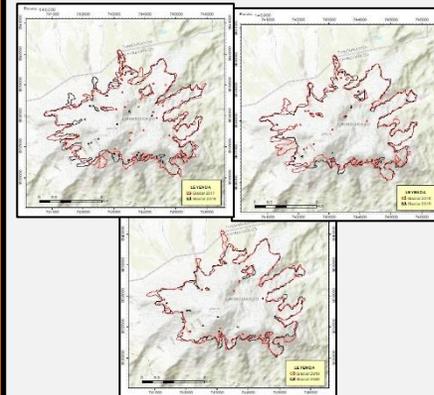


Rásters de desplazamientos en dirección del LOS y coherencia media anual

3

### Método DInSAR-SBAS

Muestra una reducción de la cobertura glaciar del Nevado Chimborazo

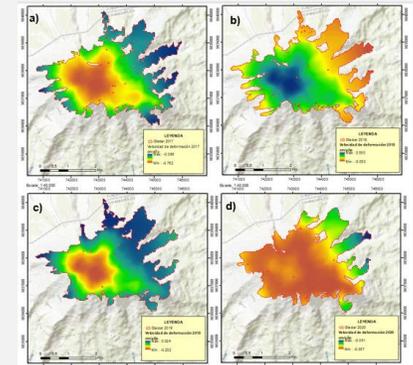


Serie temporal SBAS 2017 y 2020 mayor velocidad de ablación

4

### Método DInSAR-SBAS

Software Open Source resultó una metodología eficiente



Deformación y retroceso superficial de la cobertura glaciar

# RECOMENDACIONES

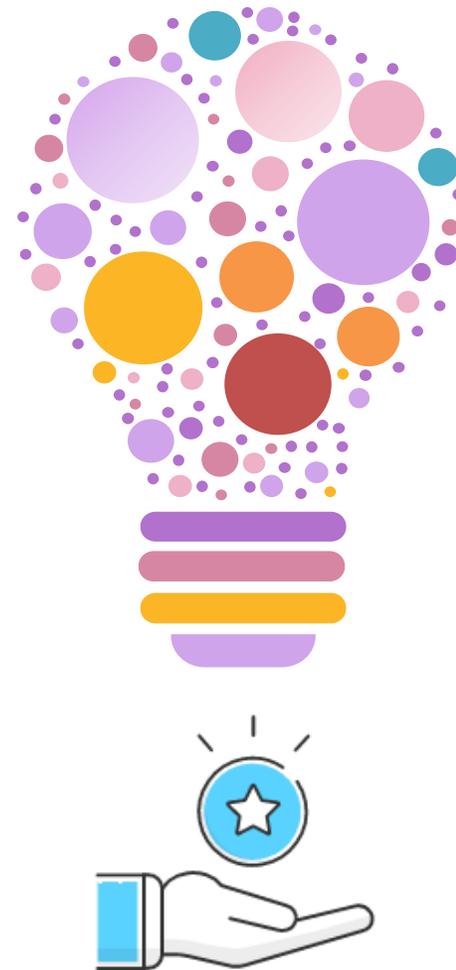
La aplicación de *Software Open Source* sirve para automatizar los procesos de análisis interferométricos, razón por la cual, se recomienda su adopción en la academia.

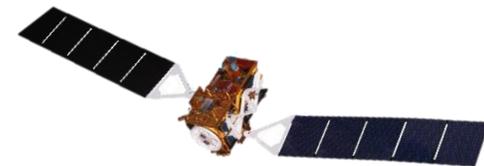
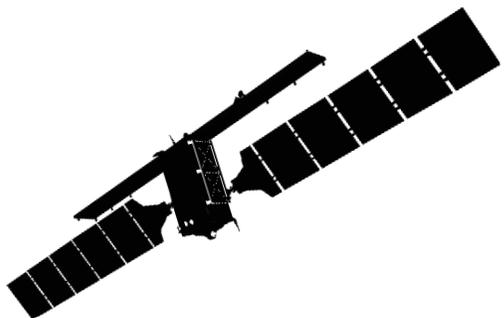
Esta técnica se recomienda para la toma de decisiones en el proceso de cuantificación de la deformación superficial a través del uso de *Notebooks*, para la generación de planes que contribuyan a una gestión de riesgos óptima.

Se recomienda aplicar técnicas y métodos de validación de datos como geodesia, fotogrametría y Lidar para corroborar los resultados generados en la investigación que permitan ampliar la aplicación de la metodología de interferometría radar.

Las condiciones atmosféricas pueden retrasar la transmisión de la señal, por lo que se recomienda incorporar modelos atmosféricos para eliminar estos impactos.

En la aplicación del método SBAS se debe implementar más imágenes SAR y datos meteorológicos para la generación de interferogramas, lo que contribuye a la corrección de errores troposféricos, de desenvolvimiento de fase y topografía.





Gracias!





# 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 AMBIENTE



## “Cuantificación del retroceso superficial del glaciar del nevado Chimborazo mediante interferometría DInSAR-SBAS en el periodo 2017-2020”

TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:  
INGENIERO/A GEÓGRAFO/A Y DEL MEDIO AMBIENTE



### **Autores:**

Lema Yuquilema Brayan Abel  
Meza Cahuatijo Valeria Naomi

### **Director de Carrera:**

Ing. Robayo Nieto, Alexander MSc.

### **Director del Proyecto:**

PhD. Oswaldo Padilla

### **Docente Evaluador:**

PhD. (c) Rodolfo Salazar