

UCUENCA

Universidad de Cuenca

Facultad de Ciencias Químicas

Carrera de Ingeniería Ambiental

**Aplicación de técnicas de teledetección para el monitoreo de desplazamientos
en el barrio las Rosas, cantón Nabón provincia del Azuay**

Trabajo de titulación previo a la
obtención del título de Ingeniero
Ambiental

Autor:

Luis Eduardo Gordillo Bacuilima

Juan Carlos Segarra Flores

Director:

Julio Danilo Mejía Coronel

ORCID: 0000-0002-2668-2789

Cuenca, Ecuador

2023-03-09

Resumen

En el presente trabajo de titulación se determinó valores de velocidad de deslizamiento (deformación) en (LOS) mediante el uso de imágenes satélites en el barrio Rosas, perteneciente al cantón Nabón; estas imágenes son del tipo radar y fueron adquiridas en un periodo de tiempo desde 2018 hasta 2022 tanto en órbita ascendente como descendente. El procesamiento de las imágenes se realizó empleando dos métodos: DInSAR y PSI/STAMPS, esto con el fin de obtener una mejor visión sobre el comportamiento de la zona antes y después del evento de deslizamiento. Se implementó un monitoreo de la deformación con el que se determina el inicio del suceso en el mes de marzo del año 2021, año en el que se generó una deformación de -25,06 cm anual en órbita descendente y de 21,81 cm en órbita ascendente con una dirección de deformación hacia el noroeste del barrio. El método PSI generó valores de velocidad por pixel para los años 2018, 2019 y 2020 con valores de -30,08, -14,8 y -29,04 mm/año respectivamente en órbita descendente, órbita que se determinó como la mejor para evaluar el comportamiento del barrio. En 2021 y 2022 se redujo considerablemente la cantidad de pixeles en el barrio Rosas, razón por lo cual los valores de velocidad obtenidos no son representativos. Estos resultados fueron correlacionados con datos de precipitación anual, los valores obtenidos determinaron que no existe una relación aparente entre la ocurrencia de lluvia con el evento de movimiento de suelo.

Palabras clave: Interferometría, SAR, fase, línea de visión, Interferometría de Dispersores Persistentes

Abstract

In the present degree work, landslide velocity (deformation) values in (LOS) were determined by using satellite images in the Rosas neighborhood, belonging to the Nabón canton; these images are of the radar type and were acquired in a period of time from 2018 to 2022 in both ascending and descending orbit. The images were processed using two methods: DInSAR and PSI/STAMPS, in order to obtain a better view of the behavior of the area before and after the landslide event. A deformation monitoring was implemented to determine the beginning of the event in March 2021, year in which a deformation of 25.06 cm per year in descending orbit and 21.81 cm in ascending orbit was generated with a deformation direction towards the northwest of the neighborhood. The PSI method generated pixel velocity values for the years 2018, 2019 and 2020 with values of -30.08, -14.8 and -29.04 mm/year respectively in descending orbit, orbit that was determined as the best to evaluate the behavior of the neighborhood. In 2021 and 2022, the number of pixels in the Rosas neighborhood was considerably reduced, which is why the velocity values obtained are not representative. These results were correlated with annual rainfall data, the values obtained determined that there is no apparent relationship between the occurrence of rainfall and the ground movement event.

Keywords: Interferometry, SAR, phase, Line of Sight (LOS), Persistent Scatterer Interferometry

Indice

1.Introducción.....	11
2.Objetivo.....	12
2.1 Objetivo General.....	12
2.2 Objetivos Específicos.....	12
3.Marco teórico-Estado del arte.....	12
3.1 Teledetección	12
3.2 Sensores en Satélites	13
3.3 Radar.....	13
3.4 Radar de apertura Sintética (SAR).....	14
3.5 Procesamiento de datos SAR	17
3.6 Imagen SAR compleja	18
3.7 Fase de una Imagen SAR.....	18
3.8 Celdas de resolución	19
3.9 Polarización SAR.....	21
3.10 Tipos de Dispersión	22
3.10.1 Dispersión lisa (Reflexión especular)	22
3.10.2 Dispersión difusa	22
3.10.3 Dispersión Moderada.....	22
3.10.4 Dispersión en volumen.....	22
3.10.5 Doble Rebote (Reflexión de esquina):.....	22
3.11 Misión Copernicus	23
3.11.1 Niveles de procesamiento Sentinel-1	24
3.11.2 Modos de adquisición productos Sentinel 1	24
3.11.3 Stripmap o Mapa de franjas	25
3.11.4 Interferometric Wide swath o franja de cobertura Interferométrica	25
3.11.5 Extra-Wide swath (Franja extra ancha).....	26
3.11.6 Wave (Onda)	26
3.12 Geometría de adquisición Imagen SAR Sentinel 1.....	26
3.13 Interferometría	28
3.14 Principios de la interferometría InSAR-DInSAR.....	28
3.15 Interferometría Diferencial DInSAR.....	28
3.15.1 Fase interferométrica	29
3.15.2 Cambio de fase interferométrica	29

3.16	Comparación de Técnicas SAR	29
3.17	Desenvolvimiento de fase Unwrapping	30
3.18	Técnicas avanzadas DInSAR.....	31
3.19	Subsidencia	32
4.	Metodología.....	32
4.1	Localización del área de es.....	33
4.2	Adquisición de imágenes satelitales.....	34
4.3	DInSAR.....	35
4.3.1	Procesamiento de datos satelitales.....	36
4.3.2	Corregistro de imágenes.....	37
4.3.3	Diversidad Espectral Mejorada	38
4.3.4	Generación del interferograma	38
4.3.5	Coherencia	38
4.3.6	Filtrado Deburst	39
4.3.7	Remoción de la fase Topográfica.....	39
4.3.8	Filtrado de Fase Goldstein	39
4.3.9	Filtro Multilooking.....	39
4.3.10	Desenvolvimiento de fase.....	39
4.3.11	Cambio de Fase a desplazamiento.....	40
4.3.12	Geocodificación	40
4.4	STAMPS/PSI	40
4.4.1	Preprocesamiento de imágenes para PSI.....	40
4.4.2	Procesamiento en Matlab	42
4.5	Análisis de Datos	42
	Figura 24. Interfaz de base de datos GIOVANNI	43
5.	Resultados.....	43
5.1	DInSAR.....	43
5.1.1	Estimación de Deformación Acumulada.....	43
5.2	PSI/STAMPS	50
5.2.1	Formación de interferogramas	50
5.2.2	Seguimiento de pixel.....	64
5.2.3	Correlación con Precipitación	64
6.	Discusión.....	65
7.	Conclusiones.....	68
8.	Recomendaciones.....	69

9.Referencias.....70

10.Anexos.....77

Indice de figuras

Figura 1. Espectro electromagnético microondas (Radar)	14
Figura 2. Conceptos sobre Radar de Apertura Sintética	15
Figura 3. Adquisición de datos imagen SAR.....	16
Figura 4. Composición de Datos de SAR.....	17
Figura 5. Conceptos de fase en SAR.....	19
Figura 6. Comportamiento de la celda de resolución en función de la pendiente	19
Figura 7. Distorsiones Geométricas imagen SAR	20
Figura 8. Polarización SAR.....	21
Figura 9. Mecanismos de Dispersión en la superficie	23
Figura 10. Penetración de onda.....	22
Figura 11. Modos de adquisición datos Sentinel 1	25
Figura 12. Modo de adquisición TOPSAR	26
Figura 13. Modos de adquisición Sentinel 1 RADAR	27
Figura 14. Adquisición de Imagen Radar	28
Figura 15. Desenvolvimiento de fase Unwrapping	31
Figura 16. Ubicación de la zona de interés	33
Figura 17. Escarpes principales y secundarios	34
Figura 18. Interfaz de plataforma Alaska Satellite Facility	35
Figura 19. Metodología de procesamiento DInSAR	36
Figura 20. Metodología de procesamiento Software Snap.....	37
Figura 21. Entorno de trabajo de desenvolvimiento de fase con SNAPHU	37
Figura 22. Workflow de procesamiento STAMPS	41
Figura 23. Procesamiento de stack en SNAP	42
Figura 24. Interfaz de base de datos GIOVANNI	43
Figura 25. Resultado DInSAR de una imagen satelital procesada	44
Figura 26. Proceso de Deformación Ascendente Barrio Rosas año 2021	45
Figura 27. Proceso de Deformación Descendente Barrio Rosas año 2021	46
Figura 28. Deformación acumulada Descendente	47
Figura 29. Deformación acumulada Ascendente	47
Figura 30. Seguimiento de Deformación Ascendente	48
Figura 31. Puntos GPS tomados en Campo	49
Figura 32. Dirección de movimiento por Consultora GEOPROJECT	50
Figura 33. Stack de interferogramas Generados 2021.....	51
Figura 34. Mapas de Velocidad mediante STAMPS	52

Figura 35. Densidad de puntos y velocidad De Deformación Por Año Ascendente.....	55
Figura 36. Densidad de puntos y velocidad De Deformación Por Año Descendente	57
Figura 37. Seguimiento de Deformación 2018 Descendente	57
Figura 38. Seguimiento de Deformación 2019 Descendente	58
Figura 39. Seguimiento de Deformación 2020 Descendente	59
Figura 40. Seguimiento de Deformación 2021 Descendente	59
Figura 41. Seguimiento de Deformación 2022 Descendente	60
Figura 42. Seguimiento de Deformación 2018 Ascendente	61
Figura 43. Seguimiento de Deformación 2019 Ascendente	61
Figura 44. Seguimiento de Deformación 2020 Ascendente	62
Figura 45. Seguimiento de Deformación 2022 Ascendente	63
Figura 46. Comportamiento de Deformación promedio PSI/STAMPS	64
Figura 47. Seguimiento pixel-pixel con R.....	64

Agradecimientos

En primer lugar, quiero agradecer a Dios por brindarme la fuerza, sabiduría y salud para poder elaborar este trabajo de Titulación de manera exitosa. También quiero agradecer a nuestro tutor, el Blgo. Danilo Mejía, quien gracias a su apoyo y consejos logramos culminar este estudio. Del mismo modo agradezco infinitamente a la Universidad de Cuenca por guiarme e instruirme con conocimientos que serán útiles para la vida profesional. Quiero agradecer también a mi compañero de tesis Juan Segarra por haber superado todos los problemas que surgieron en desarrollo de este estudio. Finalmente agradezco a todas las personas que me apoyaron a lo largo de mi vida estudiantil, a mis tías Verónica, María y Eulalia quienes siempre han estado a mi lado, a mis amigos y a mi mascota "negro" quien fue mi fiel acompañante a lo largo de la carrera.

Luis Eduardo Gordillo Bacuilima

Un agradecimiento especial a mi mejor amiga Camila Maldonado a quien guardo mucha admiración, a su vez a mi compañero de tesis Luis Gordillo que pese a las adversidades hemos trabajado como un gran equipo. Agradecido con Danilo Mejia por brindarnos el apoyo y confianza a lo largo de este trabajo de Titulación.

Juan Carlos Segarra Flores

Dedicatoria

A mi madre, Sonia, por su incondicional apoyo, por educarme con excelentes valores y por su esfuerzo para sacarme adelante a pesar de todas las adversidades, ya que sin ella yo no estaría hoy aquí. También dedico esta tesis a mis abuelos, Luis Eduardo quien fue un padre para mí y a quien extraño tanto, y María Águeda a quien la considero como una segunda madre.

Luis Eduardo Gordillo Bacuilima

Este trabajo de titulación va dedicado a todas las personas que forman parte de mi vida, especialmente con mucha guardo mucho cariño y gratitud a mis padres Luis y Luzmila, hermanos José Luis y Carolina y familiares que me han brindado su apoyo incondicional y quienes me han acompañado en los buenos y malos momentos, adicionalmente a mi querida mascota Garfield que me ha acompañado en mis veladas de estudio. A mis amigos que me han brindado el apoyo y los mejores momentos en la etapa universitaria, Por último, quiero dedicar todo este esfuerzo a todas las personas que no se rinden y siguen su camino, luchan por sus sueños y metas aportando para que cada día sea un mundo mejor.

Juan Carlos Segarra Flores

1. Introducción

El barrio Las Rosas, perteneciente al cantón Nabón, provincia del Azuay se ha visto afectado por continuos desplazamientos lentos del suelo, los cuales pueden afectar a la integridad física de los habitantes, así como llegar a producir pérdidas económicas a los mismos; es por esto que las autoridades del cantón se han visto en la necesidad de evaluar estos desplazamientos o deformaciones, con el fin de tener un plan de acción que permita atenuar las afecciones que causan estos eventos geológicos.

Una herramienta útil para evaluar estos eventos geológicos son los sensores remotos, debido a su facilidad de uso y su bajo costo, esto es posible gracias a la Agencia Espacial Europea (ESA) quien mediante el programa Copernicus ha enviado diversas misiones al espacio con el fin de obtener imágenes satelitales de alta resolución y que contengan información relevante sobre el estado de la superficie terrestre. Tanto el software de procesamiento como las imágenes satelitales son de acceso libre y se encuentran disponibles en la plataforma web del programa Copernicus, así como en la plataforma Alaska Satellite Facility. Las imágenes satelitales son una herramienta importante para el monitoreo y gestión de riesgos (Ramírez, 2020) ya que permiten evaluar movimientos de suelo en zonas en las que no se encuentran estaciones de monitoreo, en este caso las imágenes tipo radar son las más adecuadas gracias a su característica de no ser afectados por la nubosidad ni por la iluminación del sol por lo que trabaja las 24 horas del día. Existen varias misiones radar, pero lamentablemente son de acceso restringido, es por esto que usar imágenes provenientes de misiones Copernicus (Sentinel-1) es una gran ventaja para evaluar deslizamientos a un bajo costo.

Existen varios métodos para evaluar eventos de deslizamiento, uno de estos es el método conocido como Radar de apertura sintética Diferencial (DInSAR siglas en inglés), su principio se basa en emplear la interferometría para evaluar la diferencia de fase entre dos imágenes SAR tomadas desde distintas posiciones y fechas próximas para generar interferogramas, con el fin de observar diferencias en la superficie de la tierra en función de un movimiento vertical, esto permite abordar lapsos de tiempo con orden de meses hasta años y detecta desplazamientos a nivel centimétrico/milimétrico (Hongdong et al., 2011). Con el fin de obtener la velocidad a la cual se dan estos deslizamientos, también se emplea el método PSI (Persistent Scatterer Interferometry) el cual permite dar seguimiento de movimiento por píxel empleando su alta coherencia en el tiempo.

El presente trabajo tuvo como finalidad evaluar el fenómeno de movimiento de suelo que ocurre en el barrio Rosas, perteneciente al cantón Nabón, empleando imágenes satelitales de acceso libre, con el fin de que este trabajo de titulación posea mayor relevancia, se correlacionaron los resultados obtenidos con la variable climatológica de precipitación, con el

fin de evaluar la incidencia del mismo en desplazamiento o deformación del suelo del centro poblado del cantón de Nabón donde actualmente atraviesa este fenómeno geológico.

2. Objetivo

2.1 Objetivo General

Determinar mediante el uso de técnicas de teledetección la dinámica temporal de desplazamiento (deformación) de suelo producido en el barrio las Rosas del Cantón Nabón.

2.2 Objetivos Específicos

- Establecer una geodatabase de imágenes satelitales aptas para estimar desplazamientos (deformación) del suelo.
- Realizar interferogramas empleando la técnica DInSAR y DInSAR avanzado (PSI) para cuantificar cambios morfológicos de desplazamiento.
- Correlacionar los movimientos temporales de deslizamiento con la variabilidad pluvial.

3. Marco teórico-Estado del arte

3.1 Teledetección

Es una tecnología que se fundamenta en la adquisición de información de interés acerca de un objetivo (como la superficie terrestre) por medio de la interacción electromagnética entre el objetivo y los sensores que se encuentran instalados en satélites artificiales que orbitan en el espacio.

Esta interacción se da gracias a la radiación electromagnética (Ormeño, 1999). Dicha radiación no es más que una forma de energía que se propaga en el espacio en forma de ondas las cuales se desplazan a la velocidad de la luz; cada onda posee una longitud y frecuencia específica, razón por la cual el espectro electromagnético posee ondas tan pequeñas como los rayos gamma (inferior a 10^{-5} um) hasta las ondas de radio con ondas de hasta varios metros. La expresión física de esto se representa como:

$$c = \lambda * F \quad (1)$$

Siendo c la velocidad de la luz, (λ y F) la longitud de onda y frecuencia respectivamente, de esta fórmula se deduce que mientras más grande sea la longitud de onda la frecuencia será

menor y viceversa. Por otro lado, la energía que emite cada onda se puede determinar por la expresión:

$$Q = h * F \quad (2)$$

Donde Q es la cantidad de energía transportada por una onda, h es la constante de Planck y F es la frecuencia de la onda, al relacionar la frecuencia de ambas ecuaciones obtenemos:

$$Q = h * c / \lambda \quad (3)$$

De esta ecuación observamos que mientras más grande sea la longitud de onda emitida, la cantidad de energía que posee será menor, siendo más difícil su detección por lo que en la práctica los sensores trabajan en un espectro de longitudes de onda que van de los 400 hasta los 700 nanómetros (nm) cubriendo la región de la luz visible, luz infrarroja reflejada, luz infrarroja térmica y radar (Pérez & Muñoz, 2006).

3.2 Sensores en Satélites

Como lo menciona (Téllez & Ortega, 2021) los sensores presentes en misiones satelitales pueden ser pasivos o activos, los pasivos captan energía ajena a los mismos, es decir dependen de la energía emitida por el sol la cual es reflejada por el objetivo a analizar, este tipo de sensor trabaja tanto en la región de luz visible, infrarroja reflejada y térmica, y solo pueden trabajar en horas en las que el sol emite energía al objetivo.

Por otro lado, los sensores activos poseen una fuente de energía propia la cual se emite al objetivo y luego regresa al sensor para ser tratada, un ejemplo de esto es el sensor radar el cual puede obtener imágenes independientemente de la cobertura de nubes y condiciones meteorológicas además de que estos equipos funcionan de día y noche ya que no dependen de la luz solar.

3.3 Radar

El término RADAR (Radio Detection And Ranging) hace referencia a una técnica de medición de distancias empleando ondas, el instrumento utilizado para este fin es el dispositivo denominado "Sensor Radar" el cual es catalogado como una fuente autónoma de radiación microondas capaz de emitir una señal electromagnética y detectar objetos conocidos como retrodispersores, además es capaz de detectar los ecos reflejados de estos objetos (targets) que están en su línea de visión de satélite (Line Of Sight, abreviado LOS), término conocido como dirección en línea de visión en rango oblicuo y rango de suelo.

Dentro del espectro electromagnético los equipos radar trabajan en el rango de microondas como se observa en la [Figura 1](#), este tipo de ondas tienen la característica de ser altamente transmisible permitiendo que los sensores logren captar datos en cualquier condición meteorológica e incluso con alta nubosidad, permiten una detección tanto en el día como en la noche (Podest, 2017) no obstante hay que considerar la contribución que aporta la atmósfera en la captación de las imágenes satelitales. En cuanto a las bandas, los satélites poseen instrumentos que pueden manejar las bandas X, C y L.

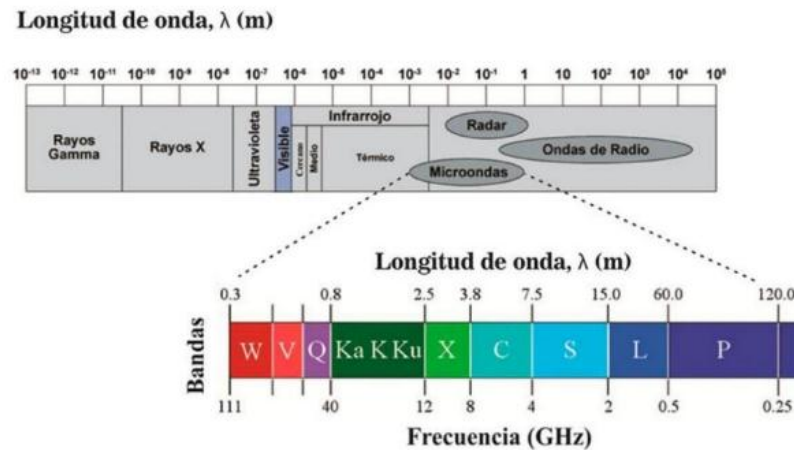


Figura 1. Espectro electromagnético microondas (Radar)

Fuente:(Gomez-Palacios, 2019)

3.4 Radar de apertura Sintética (SAR)

Radar SAR es un tipo de radar de alto nivel tecnológico el cual se encuentra instalado en un vehículo aéreo o espacial, lo que permite obtener imágenes de alta resolución a grandes distancias y con una extensa cobertura terrestre gracias a que posee un instrumento o antena sintética virtual característica. El funcionamiento de este sistema se basa en la emisión de una señal o pulso electromagnético perpendicular a la trayectoria rectilínea del sensor y se recibe la señal reflejada (conocido como eco) producida por los distintos objetivos en diferentes momentos y en distinta posición (Zozaya et al., 2017), de esta manera la sumatoria de cada eco coherente permite obtener una imagen con una mayor cantidad de resolución en azimut dado que la antena virtual recepta en mayor extensión los ecos ,en comparación a un radar de apertura real RAR (Zozaya, 2015). Todos los ecos son digitalizados en números y procesados de tal manera que puedan construir una imagen completa de la superficie y sus retrodispersores.

En la [Figura 2a](#) se presenta el funcionamiento de un radar SAR, el cual posee una antena virtual sintética que abarca una amplia zona de recepción de pulsos de energía a medida que el satélite avanza en su dirección de vuelo según el objetivo iluminado, al ser estos ecos reflejados de manera coherente es posible dar seguimiento al retrodispersor u objetivo en el tiempo que fue iluminado y a lo largo de su trayectoria aportando al historial Doppler de ecos que se va generando, por esta razón se permite ganar alta resolución en Acimut (García Lebière, 2012). Como se observa en la [Figura 2b](#), el sensor SAR toma en cuenta el tiempo de repetición entre la emisión de cada pulso de energía (PRF) con el fin de evitar perturbaciones en la captación de información de la zona de estudio (Panozzo, 2013).

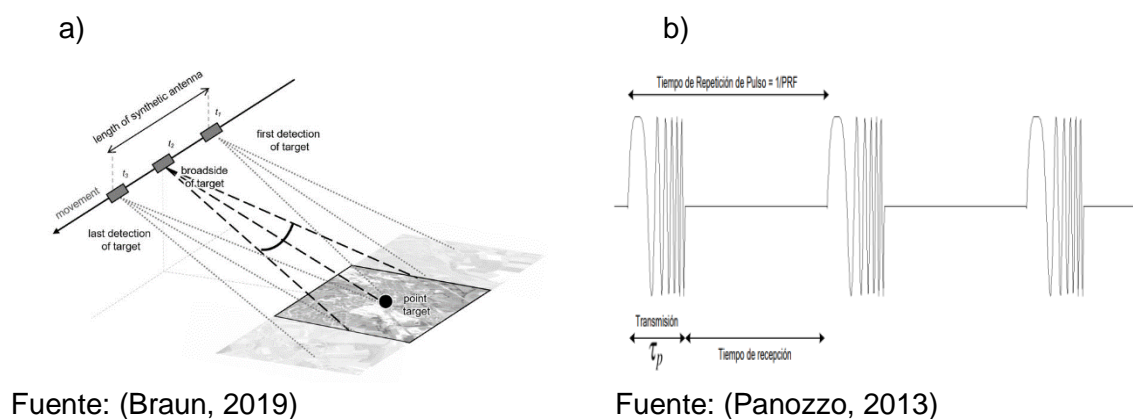


Figura 2. Conceptos sobre Radar de Apertura Sintética

a) Funcionamiento de un radar SAR b) Emisión de pulsos Chirps

La agencia espacial europea (ESA) ha desarrollado instrumentos específicos como lo es C-SAR, el cual es una antena virtual de matriz fase activa, llegando a cubrir amplios ángulos de incidencia permitiendo realizar un escaneo progresivo del objeto de estudio, este instrumento permite emplear las técnicas TOP-SAR (escaneo por barrido progresivo) y ScanSAR (escaneo progresivo terrestre) además posee módulos de transmisión para ofrecer una mayor estabilidad al momento de captar los objetivos (European Spatial Agency, 2015).

Un satélite Radar tiene la capacidad de observar la misma zona de estudio en ángulos y lapsos de tiempo ligeramente distintos, esto debido a que el satélite tiene la característica de repetir sus órbitas; en cuanto a su geometría de adquisición está se encuentra en función del azimut (dirección recorrida a favor de la trayectoria del satélite) y el rango (dirección que el haz del sensor ilumina la superficie perpendicularmente a la trayectoria de vuelo) como se observa en la [Figura 3a](#). Como se mencionó anteriormente, el sensor SAR al ser de carácter

de percepción remota opera con longitudes de onda mayores que los satélites ópticos, es decir su rango es de centímetros desde 0.5 a 0.75 cm (Marchionni & Cavayas, 2014). Adicionalmente y tal como se observa en la [Figura 3b](#) el sensor cubre la región o el objetivo disponiendo su haz en slant range (distancia inclinada entre la antena y el objetivo) y en ground range (distancia desde pista de suelo al objetivo) (Bakker et al., 2001) .

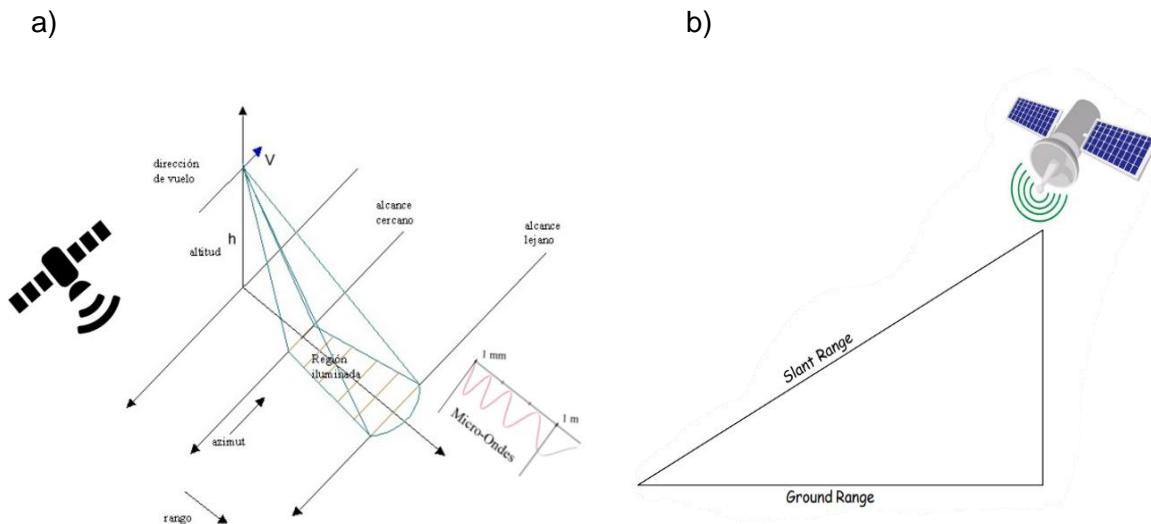


Figura 3. Adquisición de datos imagen SAR

a) Adquisición de datos SAR en rango y azimut b) Geometría de adquisición Slant y Ground Range

La resolución de un SAR depende del rango y acimut observado en el momento de la adquisición. El cálculo para obtener la resolución en rango se obtiene empleando la fórmula presentada a continuación:

$$res_{rango} = \frac{c \cdot \tau}{2} \tag{4}$$

Donde: c representa a la velocidad de la luz y τ a la duración del pulso

Esta resolución dependerá de la duración de los pulsos cortos transmitidos modulados linealmente en frecuencia lineal conocidos como CHIRP, dicha resolución es directamente proporcional a la longitud de onda emitida por lo que mientras menor sea el pulso (con más potencia) se adquiere mejor resolución. Es de notar que esta resolución varía notablemente a lo largo de su dirección con el aumento de la distancia entre el área iluminada y sensor, pero permanece constante en dirección de acimut.

Por otro lado, la resolución en acimut está determinada por el ancho de haz transmitido, el mismo que es función de la longitud de la antena sintética (virtual) del radar y va a estar

condicionada por la distancia del sensor hacia el objetivo, tal como se observa en la siguiente ecuación:

$$res_{acimut} = \frac{\lambda R}{L} \tag{5}$$

Donde L es la longitud de la antena, R es la distancia antena-objeto y λ es la longitud de onda.

Ambas resoluciones están condicionadas a factores como el modo de adquisición, parámetros de órbita, por otra parte hay tener en cuenta que ciertos post-procesamientos como el filtrado, interpolaciones, etc. también pueden afectar a la resolución final de la imagen los post procesamientos a la imagen satelital como filtrados, interpolaciones también interferirá en la resolución de la imagen SAR (Mondini et al., 2021).

3.5 Procesamiento de datos SAR

Se realiza a bordo del propio satélite mediante un procesamiento que se lo conoce como demodulación de onda electromagnética, puesto que el interés es conocer el retraso y distorsión de la señal del pulso retro dispersado por la superficie, esto se realiza mediante el uso de una operación de filtrado en donde se separa el chirp o pulso del espectro y la señal del eco original que corresponde a una función real y se transforma a un dato complejo sin perder información, posteriormente este dato se digitaliza a un valor de número digital (DN) en bits por pixel (ESA, 2009), con esto todos los datos SAR poseen un componente real I en fase y Q cuadratura como se observa en la [Figura 4](#).

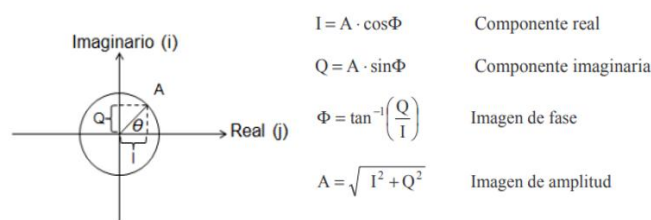


Figura 4. Composición de Datos de SAR

Fuente:(ESA, 2009)

Estos componentes (real e imaginario) se transforman en valores de amplitud y fase, de tal manera que con respecto a la amplitud (A), esta corresponde a la interacción que tiene la onda emitida con la superficie (suelo) en términos de energía retro dispersada y nos permite

conocer los elementos dispersores que hay en él, un problema de la amplitud es que contiene ruido y en consecuencia se genera un fenómeno de aspecto moteado llamado (speckle); por otro lado la fase permite obtener la información del comportamiento de la onda sinusoidal desde el sensor hacia el objetivo (Fernández Oliveras, 2009).

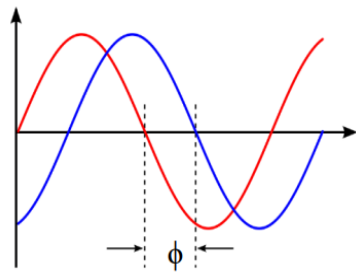
3.6 Imagen SAR compleja

Es una imagen que puede verse como un arreglo bidimensional (formado por filas y columnas) de píxeles (Ferretti et al., 2007); cada uno de estos píxeles representa a una pequeña área de la superficie de la tierra que se encuentra iluminada por la señal del sensor, fenómeno que se denomina celda de resolución, cada una de estas celdas posee información relevante sobre dispersores como vegetación, rocas, edificaciones, etc. Cada fila y columna representa la ubicación en acimut y rango respectivamente de cada celda de resolución de la imagen. En adición, cada uno de estos píxeles posee un número complejo el cual tiene información sobre la amplitud y fase de cada campo microondas retro dispersado por cada uno de los dispersores mencionados anteriormente (Braun, 2021).

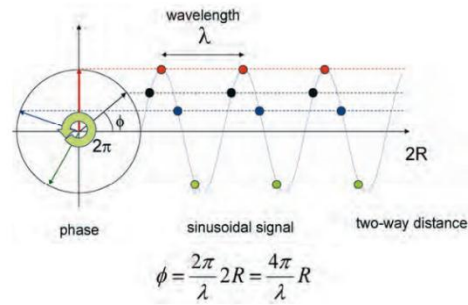
En cuanto a la amplitud de la imagen, esta depende de factores como la rugosidad y composición de dispersión del terreno, es por esto que zonas urbanas y pendientes rocosas proporcionan una fuerte amplitud en comparación a aquellas superficies planas y lisas las cuales presentan amplitudes bajas, esto en la práctica se puede evidenciar en una imagen a escala de grises en la cual píxeles con alto brillo representan una alta retrodispersión mientras que píxeles oscuros indican baja retrodispersión en la imagen (Ferretti et al., 2007).

3.7 Fase de una Imagen SAR

La radiación emitida por la antena SAR llega a la superficie y regresa al radar cumpliendo un viaje bidireccional (ida y vuelta), en este sentido los dispersores presentes en dicha superficie pueden generar retrasos entre la transmisión (ida) y recepción (vuelta) de la radiación emitida por la antena; debido a la naturaleza sinusoidal de la señal de transmisión, cada retraso es equivalente a un cambio de fase entre la señal transmitida y recibida como se expresa en la [Figura 5a](#), este cambio de fase será proporcional a la distancia recorrida $2R$ de la radiación entre la longitud de onda de la señal emitida, tal como se observa en la [Figura 5b](#).



Fuente:(Carter, 2012)



Fuente: (Ferretti et al., 2007)

Figura 5. Conceptos de fase en SAR

- a). Cambio de fases onda sinusoidal
- b) Comportamiento de onda sinusoidal respecto a señal de fase.

3.8 Celdas de resolución

Como se mencionó anteriormente las imágenes SAR poseen celdas de resolución, estas se encuentran en función de la pendiente de la zona de estudio además de la pendiente en el plano perpendicular de la órbita (ground range) y de la dirección de azimut. Tal como menciona (Ferretti et al., 2007) dentro de esta celda, la resolución en azimut se ve influenciada por la deformación de perspectiva al observar superficies en distintos ángulos a favor de la trayectoria de vuelo, tal como se observa en la [Figura 6](#), por otro lado la resolución en rango se relaciona a una deformación de perspectiva inusual asociada a la vista lateral oblicua del satélite.

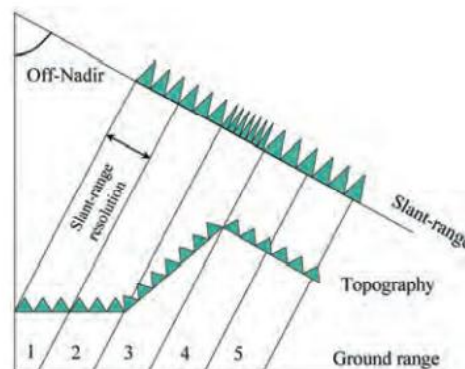


Figura 6. Comportamiento de la celda de resolución en función de la pendiente

Fuente: (Ferretti et al., 2007)

Mientras la pendiente de la zona de estudio incrementa pueden generarse ciertos errores en la captación de las celdas de resolución como se observa en la [Figura 7](#), entre estos errores se encuentran lo que se conoce como escorzo, inversión por relieve y sombras; estos errores se encuentran usualmente en superficies y terrenos montañosos (Marcello-Ruiz, 2016).

El escorzo o también conocido foreshortening, usualmente se presenta cuando la pendiente del terreno aumenta hacia la línea de visión del satélite (LOS), la celdas de resolución aumentan dando un efecto de compresión de pocos píxeles representado una zona de alta reflectividad y mucho brillo (Marsilli, 2021) tal como se observa en la [Figura 7](#). En adición existe también el error de inversión por relieve o layover, este efecto se produce debido a que la pendiente del terreno se aproxima al ángulo del nadir, la celda de resolución se agranda perdiendo detalles de la escena, si llega al punto de superar el ángulo del nadir los dispersores de la superficie más cercanos al incremento de pendiente se superponen en orden inverso a otras celdas, también desde otro punto de vista se daría este efecto cuando la energía de la parte inferior de la pendiente es recibida antes que la energía de la parte superior de la misma pendiente (Bakker et al., 2001). Finalmente, el fenómeno de sombras ocurre cuando el sensor no puede iluminar la superficie de la zona de estudio, esto debido a que no se recibe ninguna señal por lo que se produce una tonalidad oscura en la imagen (Vasquez Prieto, 2019).

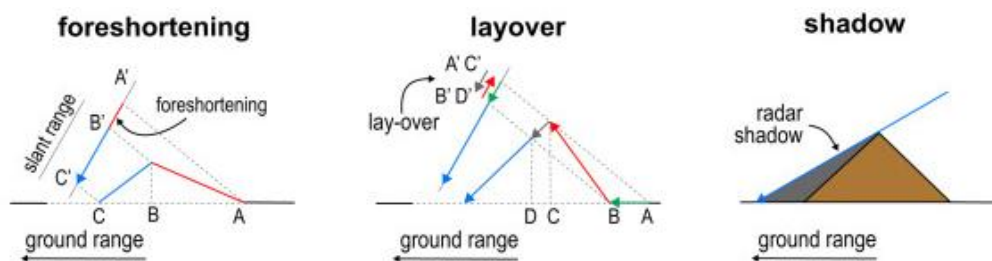


Figura 7. Distorsiones Geométricas imagen SAR

Fuente: (Mondini et al., 2021)

Con respecto al ángulo de incidencia, en un sistema SAR se encuentra entre la dirección de iluminación y la vertical de la superficie (Comisión Europea & Ministerio de Transportes, Movilidad y AGENDA URBANA de España, 2019), este ángulo va cambiando de acuerdo a la geometría de observación de la escena y la altura en la que se encuentra el sensor, estos cambios tanto en dirección de rango cercano y lejano pueden provocar en ciertos casos fenómenos como por ejemplo sombras sin datos. De igual manera, mientras mayor sea el ángulo de incidencia la señal de retorno será menor, es por esto que se recomienda emitir

señales con bajos ángulos de incidencia con longitudes de onda largas, de esta manera se podrá tener una mayor penetración de onda (Mayorga Torres, 2013).

3.9 Polarización SAR

Se denomina polarización a la orientación que toma el campo eléctrico de radiación electromagnética después de emitirse en un pulso, el cual mide amplitud-fase de una intensidad y tiempo de eco reflejado (Arango, 2020). La polarización puede ser directa o cruzada, una polarización directa significa que el pulso de energía se emite y se recibe en la misma orientación, ejemplos de polarización directa pueden ser vertical-vertical (VV) o horizontal-horizontal (HH) ([ver figura 8a](#)), por otro lado la polarización cruzada indica que el pulso de energía emitido tiene una orientación distinta al pulso recibido (Hervés Blanco, 2019), un ejemplo de esta polarización es la vertical-horizontal (VH) y horizontal-vertical (HV) ([ver figura 8b](#)).

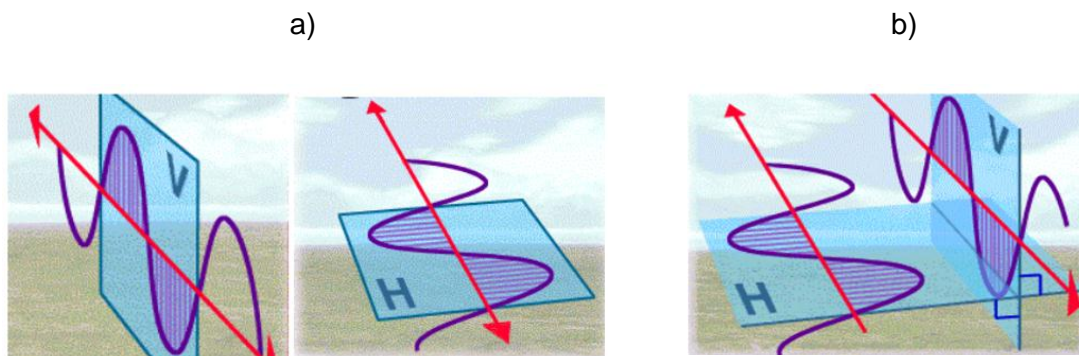


Figura 8. Polarización SAR

a) Polarización de onda (VV y HH) b) Polarización de onda (VH y HV)

Fuente:(ESA, 2013a)

Los fenómenos en la naturaleza detectados por sensores son sensibles a cambios de retrodispersión de onda, debido a ello se requiere el uso de distintas polarizaciones, particularmente para interferometría se recomienda el uso de la polarización VV, debido a su alcance de penetración en la superficie, en comparación con polarizaciones VH o HV las cuales son recomendadas para análisis de vegetación (Comisión Europea & Ministerio de Transportes, Movilidad y AGENDA URBANA de España, 2019).

3.10 Tipos de Dispersión

De acuerdo (Mondini et al., 2021; Podest, 2017) la retrodispersión de una onda en la superficie se encuentra condicionada por propiedades características de la superficie y del objeto a capturar, entre estas propiedades se encuentra la constante dieléctrica, coeficiente de retrodispersión (backscatter), aspereza y rugosidad del terreno, como por factores propios de la fuente de emisión tales como dirección y ángulo de visión de satélite, distancia de la antena, tipo de polarización y frecuencia de onda. Teniendo en cuenta que depende del dispersor, la dispersión de onda puede comportarse de diversas maneras, puede ser una dispersión lisa, difusa, moderada, de esquina y de volumen, , tal como se observa en la [Figura 9](#).

3.10.1 Dispersión lisa (Reflexión especular): Especular proviene del latín speculum que significa espejo, en otras palabras, este tipo de reflexión es aquella en la que la energía reflejada es simétrica a la energía incidente, ocurre en superficies lisas o con poca rugosidad las cuales tendrán una tonalidad oscura en la imagen radar debido a que la energía reflejada tiene una dirección opuesta al sensor (Royo, 2015).

3.10.2 Dispersión difusa: La onda se dispersa en una superficie rugosa es decir de forma irregular con diferentes alturas, provoca que la energía incidente sea reflejada en varias direcciones (Serrano, 2011) y por lo tanto mayor cantidad de energía es captada por el sensor, aumentando el brillo de estas superficies en la imagen radar.

3.10.3 Dispersión Moderada: La dispersión se comporta similar a la difusa la onda se dispersa en todas las direcciones, pero ocurre en superficies poco rugosas y por lo tanto hay una menor cantidad de energía reflejada hacia el sensor.

3.10.4 Dispersión en volumen: La onda es dispersada a través del interior del objeto en múltiples rebotes es característico de la vegetación.

3.10.5 Doble Rebote (Reflexión de esquina): Este tipo de reflexión sucede cuando la señal incidente tiene contacto con dos superficies perpendiculares entre sí, por lo que la señal que incide sobre una superficie será reflejada por las otras y volverá al sensor con bastante intensidad, generando imágenes con zonas muy brillantes (Gómez, 2020), este tipo de reflexión es común en zonas urbanas debido a la geometría de las construcciones.

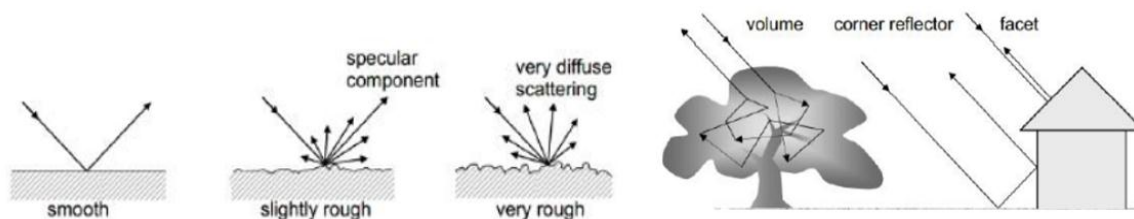


Figura 9. Mecanismos de Dispersión en la superficie

Fuente: Modificado a partir de (Comisión Europea & Ministerio de Transportes, Movilidad y AGENDA URBANA de España, 2020)

Como se observa en la [Figura 10](#), las ondas pueden penetrar en ciertas condiciones y características de la superficie dependiendo su longitud de onda, frecuencia y polarización (Comisión Europea & Ministerio de Transportes, Movilidad y AGENDA URBANA de España, 2020), además su comportamiento va a ser distinto en condiciones de vegetación, arena, nieve y suelo seco, sin embargo mientras mayor sea la longitud de onda tendrá más penetración del pulso en la superficie y en consecuencia mayor energía retro dispersada hacia el satélite. La polarización (VV) Vertical-Vertical tendrá mayor penetración en la superficie del suelo y permitirá medir los cambios en el mismo.

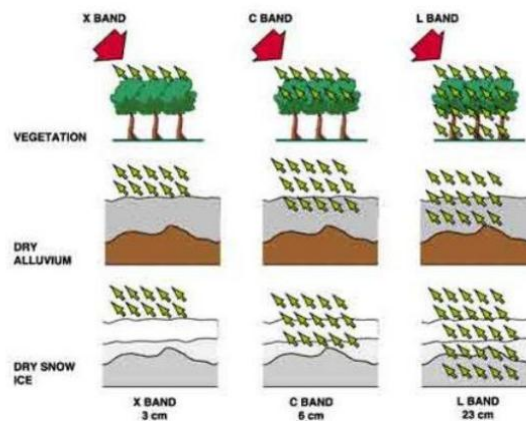


Figura 10. Penetración de onda

Fuente: (ESA, 2009)

3.11 Misión Copernicus

Copernicus es una misión elaborada por la Agencia Espacial Europea, con el fin de enviar un satélite equipado con sensores radar SAR (Sentinel A y B), estos proporcionan imágenes de alta resolución con datos fiables y exactos. El objetivo de esta misión es brindar una base de datos para monitorear desastres naturales, estado de salud de bosques y océanos, lo que permite a investigadores elaborar reportes sobre la situación climática global (Torres et al., 2012; Nagler et al., 2015).

Sentinel A fue lanzada el 3 de abril del 2014, seguido de la misión Sentinel B lanzada el 25 de abril del 2016 con una vida útil en órbita de 12 años; ambos orbitan el planeta tierra en un lapso de 12 días y los productos obtenidos por el sensor en forma de imágenes son: Strip

map, Extra wide Swath, Wide e Interferometric Wide Swath siendo esta última la que opera en la banda C en una longitud de onda de 5 cm y una franja de 250 km.

Entre las características técnicas de esta misión se encuentra que trabaja en una frecuencia central de 5,405 GHz y funciona con una polarización HH + HV, VV + VH es decir transmisión y recepción tanto horizontal como vertical, y una precisión radiométrica: 1 dB (3σ) (Torres et al., 2012; Nagler et al., 2015). Las resoluciones del satélite se detallan a continuación:

Tabla 1. Resoluciones Sentinel 1 A/B banda Interferométrica

Fuente: Guía de usuario Sentinel 1

Modo de adquisición	Resolución espacial	Espaciado de píxeles
Interferometric Wide IW	2.7 x 22 m a 3.5 x 22 m	2.3 x 14.1 m

3.11.1 Niveles de procesamiento Sentinel-1

El nivel 0 es para aquellas imágenes que poseen datos sin procesar comprimidos y con ruido, el nivel-1 son imágenes georreferenciadas con mayor procesamiento de datos, se puede obtener imágenes nivel-1 SLC (Single Look Complex) con mirada única las cuales dan imágenes de franja única o con sub-franjas de polarización simple y dual, son de rango inclinado y georreferenciadas empleando los datos de altitud y órbita del satélite, este producto contiene los datos de amplitud y fase.

Otro producto de nivel -1 es Ground Range Detected (GRD) el cual brinda imágenes SAR proyectadas en distintas resoluciones espaciales (completa, alta y media) empleando un modelo de elipsoide terrestre con datum WGS84, este producto se caracteriza por tener correcciones en amplitud, pero se pierde el valor de fase. En adición, los productos de nivel 2 son dirigidos al análisis de océanos empleando el OSW (espectro de oleaje bidimensional) que permite realizar un monitoreo de la superficie marina (Filipponi, 2019).

3.11.2 Modos de adquisición productos Sentinel 1

Sentinel-1 presenta cuatro modos de adquisición de sus productos como se muestra en la [figura 11](#), de estos los que ofrecen modo para interferometría son Interferometric Wide Swath Mode y Extra-Wide Swath Mode, debido a que emplean la técnica TopSAR de barrido en su recolección de datos de fase, la diferencia entre estos modos es la resolución, por

conveniencia se usa el modo Interferometric Wide Swath el cual posee mayor resolución por píxel.

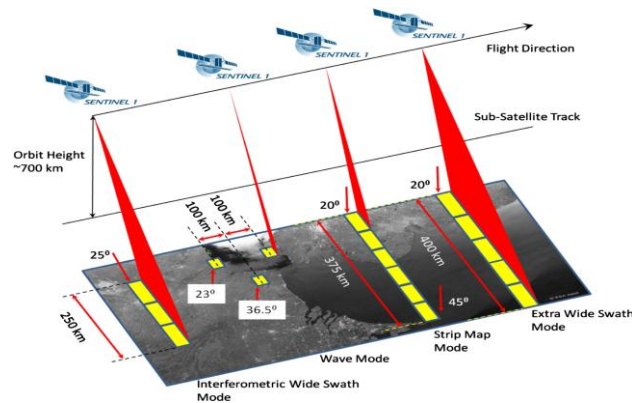


Figura 11. Modos de adquisición datos Sentinel 1

3.11.3 Stripmap o Mapa de franjas

El modo presenta una franja iluminada de resolución de 5m x 5m de vista única con un ancho de franja de 80 km, esto de manera ininterrumpida, para mejorar la cobertura 6 pulsos generan 6 swaths que están superpuestos para abastecer una mayor cobertura aproximada a 375 km (ESA, 2013c), el diseño de la antena apunta a un ángulo de azimut fijo y ángulo de incidencia es distinto para cada swath.

3.11.4 Interferometric Wide swath o franja de cobertura Interferométrica

Este es utilizado para realizar interferometría debido a que cumple con aplicaciones de monitoreo de suelo, en este modo se puede alcanzar una amplia cobertura, con una franja de 250 km a una resolución espacial 5m x 20m en vista única, se realiza una técnica de escaneo progresivo TOPSAR (Terrain Observation with Progressive Scanning) como se muestra en la [Figura 12](#), en donde se captura 3 sub franjas (burst) IW1, IW2 e IW3, debido a que el haz del sensor realiza un movimiento de atrás hacia adelante electrónicamente en azimut y trabajando en rango como ScanSAR para formar cada ráfaga (ESA, 2013c), con el fin de sincronizar todas sus pasadas para evitar el efecto de festoneado y contribuir homogeneidad a la imagen de cada franja.

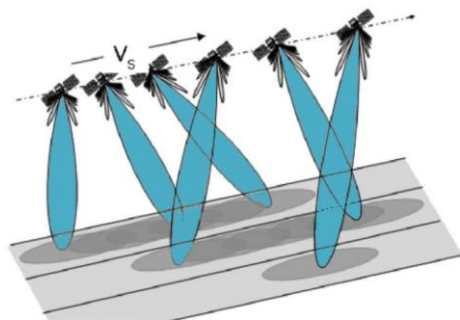


Figura 12. Modo de adquisición TOPSAR

Fuente: (ESA, 2013b)

3.11.5 Extra-Wide swath (Franja extra ancha)

Este modo EW se muestra similar al modo IW, debido a que emplea TOPSAR como técnica de adquisición de datos, esta es establecida para un área muy amplia de 400 km, utiliza 5 sub franjas en lugar de 3 sub franjas, además alcanza una resolución espacial de 20m x 40m (ESA, 2013c), este modo es adecuado para el monitoreo de derrames de petróleo y en particular zonas con cubierta de hielo marino, también puede ser utilizada en interferometría, pero con resolución más baja en pixel.

3.11.6 Wave (Onda)

En este modo se da la captura de datos en forma de escenas llamadas viñetas las cuales constan de una resolución espacial de 5m x5m con un área de 20 km x 20 km, este tipo de viñetas se toman con un patrón de saltos es decir de forma no continua y de manera alternada e independiente. En cuanto a la polarización VV del modo es exclusivo obtener por defecto datos en mar abierto, mientras que la polarización WV en mar abierto junto con modelos a nivel global permite estimar dirección y altura de olas (ESA, 2013c).

3.12 Geometría de adquisición Imagen SAR Sentinel 1

Con la misión Copernicus de Sentinel se puede observar una variedad muy grande de escenas de la superficie terrestre. Abastece una amplia cobertura de masas terrestres debido a la combinación del movimiento orbital que se realiza en pasadas ascendente -descendente, y su órbita helio-síncrona casi polar con un ángulo de inclinación de 98.8 grados y una altitud media de 693 km. El movimiento orbital es de Sur a Norte en ascendente y Norte a Sur en descendente, esto a lo largo de los meridianos y el plano ecuatorial de la tierra. La antena del satélite apunta hacia el lado derecho de la trayectoria en dirección Light of Sight (LOS), la [Figura 13](#) indica la forma en la que se da esta adquisición.

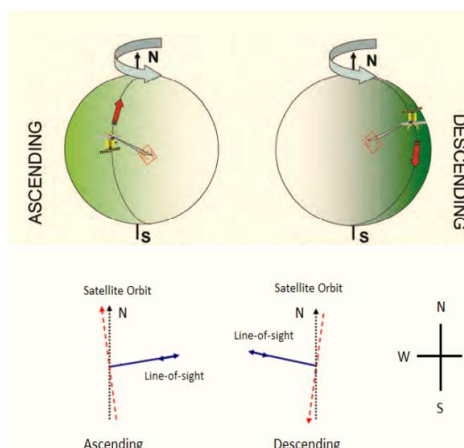
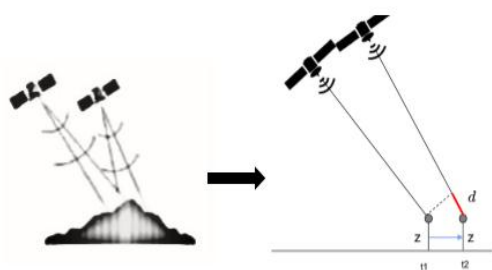


Figura 13. Modos de adquisición Sentinel 1 RADAR

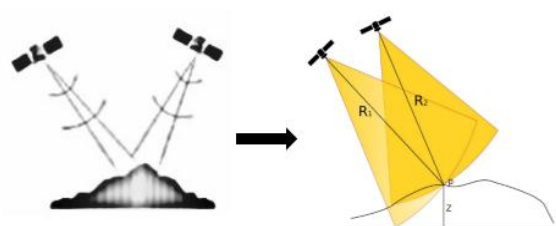
Fuente: Modificado a partir de (Ferretti et al., 2007)

Las imágenes adquiridas del satélite se obtienen en diferentes posiciones del haz según la órbita definida, lo cual permite obtener una visión estereoscópica tridimensional, de forma que incrementa la interpretabilidad de geológica una zona de estudio. Existen dos tipos de configuración de adquisición, las configuraciones estereoscópicas, como se observa en la [Figura 14a](#), ocurren cuando con dos imágenes SAR son tomadas en la misma visión, órbita, dirección y en pasadas sucesivas del satélite, con una mínima exageración vertical por disparidades radiométrica y geométricas por lo que es recomendado para la técnica de Interferometría diferencial debido a su característica de poseer línea base corta sensible, ideal para deformación. Por otro lado las configuraciones de distinta mirada presentada en la [Figura 14b](#) son aquellas compuestas por dos adquisiciones de imágenes SAR tomadas con distinta visión y dirección opuesta dando mayor exageración vertical, no presenta disparidades radiométricas ni geométricas, su línea base es mucho más larga por lo cual es ideal en caso de requerir Modelos Digitales de Elevación (Marchionni & Cavayas, 2014).

a)



b)



Fuente: (Grunfeld Brook, 2017)

Fuente: Modificado a partir de (Marchionni & Cavayas, 2014; Podest, 2017)

Figura 14. Adquisición de Imagen Radar

a) misma mirada y b) Distinta mirada

3.13 Interferometría

La interferometría se define como una técnica de recuperación de fase temporal o espacial, de las dos ondas propagadas por la superficie las cuales tuvieron contacto con dispersores, por lo tanto, la recuperación de la fase (fracción de longitud de onda) de estas dos ondas permite conocer un movimiento relativo, para ello se emplea el término cambio de fase (Guzman-Acevedo et al., 2020).

3.14 Principios de la interferometría InSAR-DInSAR

Conocida como InSAR es un método que combina las técnicas de interferometría con las técnicas SAR para obtener información relevante sobre un objetivo de interés. Este método aprovecha la diferencia de fase entre un par de imágenes SAR de un mismo objetivo, con el requisito de que al menos un parámetro de una de las imágenes sea diferente; dichos parámetros pueden ser la posición, la longitud de onda o la fecha de adquisición (Acevo, 2011), dicho par de imágenes estará compuesto por una imagen considerada máster y otra considerada esclava (slave), y proporcionará como resultado final un Modelo de Elevación Digital.

3.15 Interferometría Diferencial DInSAR

Es una variante de la técnica de procesamiento de imágenes InSAR, ya que estima el cambio de fase entre dos imágenes (Maestra y Esclava) adquiridas en distintas temporalidades, este cambio permite estimar el desplazamiento que ha sufrido una zona de interés. El eventual desplazamiento se detecta con la premisa de que la información que proporciona una imagen Master que tomó datos de la superficie terrestre en un tiempo t_1 en un punto, con respecto a una imagen esclava que tomó información en un tiempo t_2 (actual) en el mismo punto, produce un cambio en la fase de las mismas, el cual mediante un procesamiento vía software permitirá obtener un interferograma el cual al ser transformado a datos de deformación o desplazamiento en (LOS), permite generar un modelo de deformación en el cual se determine tanto la dirección de dicha deformación entre t_1 a t_2 . DInSAR tiene la ventaja de ser multitemporal ya que se puede evaluar varios pares de imágenes en el tiempo permitiendo

tener un registro histórico de meses o años sobre deformaciones de suelo (Sillerico et al., 2010).

3.15.1 Fase interferométrica

Es el número de ciclos de oscilación de la onda sinusoidal que el sensor radar emite para captar datos, este tipo de señal interviene y transita hacia el objetivo y sus diferentes dispersores de camino de ida y vuelta, por lo tanto, la fase dependerá de la longitud de onda que emite en sensor (la cual debe ser pequeña) de manera que se pueda obtener un orden submétrico en la banda C, permitiendo que la fase detecte la mayor deformación posible de los elementos del píxel. La siguiente fórmula indica el componente de una fase de una imagen Máster y Slave.

$$\text{Fase de imagen 1: } \Phi_1 = \frac{4\pi}{\lambda} * \rho_1 + \text{otras constantes} + n_1 \quad (6)$$

$$\text{Fase de imagen 2: } \Phi_2 = \frac{4\pi}{\lambda} * \rho_2 + \text{otras constantes} + n_2 \quad (7)$$

Donde λ es la longitud de onda del sensor, $\rho_{1,2}$ es la distancia al objeto y $n_{1,2}$ es el ruido o interferencias de señal

3.15.2 Cambio de fase interferométrica

Al momento de hacer dos observaciones a una misma superficie o espacio con distintas temporalidades la fase es directamente proporcional a los cambios de los elementos de la superficie. En donde la diferencia de esta fase se explica con la siguiente fórmula:

$$\Delta\Phi = \frac{4\pi}{\lambda} * (\rho(t_1) - \rho(t_2)) = 4\pi/\lambda * \Delta * \rho_{change} \quad (8)$$

Donde λ es la longitud de onda del sensor, $(\rho(t_1))$ es la distancia al objeto en un tiempo t_1 y $(\rho(t_2))$ es la distancia al objeto en un tiempo t_2 .

3.16 Comparación de Técnicas SAR

Las técnicas de interferometría Radar son utilizadas para monitorear la superficie, por ello la sensibilidad es un factor importante y determinante, dado el caso de la interferometría diferencial adquiere su sensibilidad de la componente altura con precisión (centimétrico-milimétrico) (Hongdong et al., 2011), descartando la componente topográfica y se realiza en función de su longitud de onda, no obstante en la técnica InSAR depende de su línea base y distinta mirada basando principalmente en el componente topográfico, alcanzando una

precisión en metros en el componente altura. En la tabla se puede observar los aspectos más relevantes.

Tabla 2. Diferencias entre InSAR y DInSAR

InSAR	DInSAR
Genera mapa de elevaciones	Genera mapa de deslizamiento (LOS) y deformación
Precisión en metros	Precisión en centímetros-milímetros
Usa adquisiciones simultáneas	Usa adquisiciones que engloben la zona de interés en el tiempo.
Se conserva la topografía en su procesamiento	Se remueve la topografía en su procesamiento
Sensibilidad $k_z = -\frac{4\pi B_1}{\lambda R_1 \sin \theta}$	Sensibilidad $k_d = -\frac{4\pi}{\lambda} \quad k_v = -\frac{4\pi}{\lambda} \Delta t$

3.17 Desenvolvimiento de fase Unwrapping

Dentro de un interferograma, su fase es ambigua con una escala de carácter de 2π , con el fin de poder relacionar esta fase a un componente de topografía o deformación es necesario desenvolver (unwrapping) dicha fase, como se observa en la [Figura 15](#). Al desenvolver la fase se busca resolver esta fase ambigua al integrar las diferencias de fase entre los píxeles vecinos, dando como resultado una medida de variación real de altitud, los resultados de fase desenvuelta serán por lo tanto interpretados como una relación altura/desplazamiento entre píxeles de cada par de imágenes (Braun & Veci, 2021).

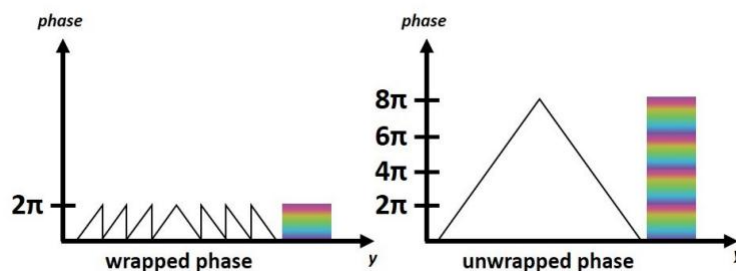


Figura 15. Desenvolvimiento de fase Unwrapping

Fuente: (Braun & Veci, 2021)

3.18 Técnicas avanzadas DInSAR

Se denominan técnicas avanzadas a todas aquellas que implementan los conceptos de DInSAR para procesar amplios stacks de adquisiciones satelitales con el fin de obtener series de tiempo de deformación para monitoreo, entre sus ventajas se encuentran que al requerir gran cantidad de imágenes (mínimo 20 imágenes por año) no existe una pérdida en la cobertura temporal con lo que se obtienen resultados de deformación más robustos, además permiten eliminar los posibles errores atmosféricos, lo cual es uno de los limitantes que posee DInSAR. La primera técnica en ser desarrollada se conoce como Permanent Scatterer Approach (Enfoque de dispersores permanentes), planteada por (Ferretti et al., 2001), su enfoque se basa en buscar aquellos pixeles estables evaluando la dispersión de amplitud de cada imagen satelital del stack, formando interferogramas tomando a una imagen como master para todo el periodo del evento, este método ha demostrado ser adecuado en zonas urbanas, ya que poseen estructuras que permiten evaluar dicha amplitud en cada par interferométrico. A partir de entonces y en conjunto con la rápida mejora tecnológica en sensores y algoritmos de procesamiento se han desarrollado varias técnicas, siendo PSI y SBAS las más utilizadas.

PSI o interferometría de dispersores persistentes, es una técnica que se enfoca en el cambio de fase que existe entre pares de imágenes satelitales, para determinar aquellos dispersores que no hayan sufrido un cambio aparente en el tiempo; a diferencia de Permanent Scatterer, PSI evalúa la correlación espacial de los valores de fase de cada par de imágenes, por lo que permite trabajar en zonas en las cuales Permanent Scatterer falla; por otro lado PSI elimina la fase topográfica, esto mediante el uso de un DEM externo con el fin de establecer los valores de fase a desplazamiento (Hooper et al., 2004) (Hooper et al., 2007) y reducir el error topográfico. Existen varios softwares que usan esta técnica, no obstante, tiene un alto costo

en licencia, razón por la cual se ha desarrollado lo que se conoce como STAMPS (Stanford Method of Persistent Scatterer), la cual emplea los principios de PSI mediante scripts escritos en lenguaje MATLAB y que actualmente es la forma más asequible para poder usar PSI (Paniagua-Jiménez et al., 2021). Otra técnica ampliamente usada es la SBAS (Small Baseline Subset), el fundamento de SBAS se basa en la línea base perpendicular entre las adquisiciones de imágenes, es decir busca formar pares interferométricos con imágenes que poseen órbitas con una baja separación espacial, esto con el fin de reducir al mínimo la decorrelación espacial y los posibles errores topográficos (Lanari et al., 2007).

3.19 Subsistencia

Se define como el hundimiento paulatino de la superficie terrestre por acción de mecanismos subsuperficiales, debido a factores naturales o por acción de actividades humanas (Sillerico et al., 2010).

4. Metodología

En esta investigación se estimó el desplazamiento (deformación) de suelo ocurrido en el barrio las Rosas, provincia del Azuay. Este trabajo cuenta con 3 secciones principales: a) Adquisición de imágenes b) Metodología DInSAR c) Método PSI d) Análisis de datos de precipitación. Para todo esto se empleó software de sistemas de información geográfica como lo son SNAP 9.0.0, Qgis Białowieża 3.22.8 y el software Matlab 2022rb.

4.1 Localización del área de es

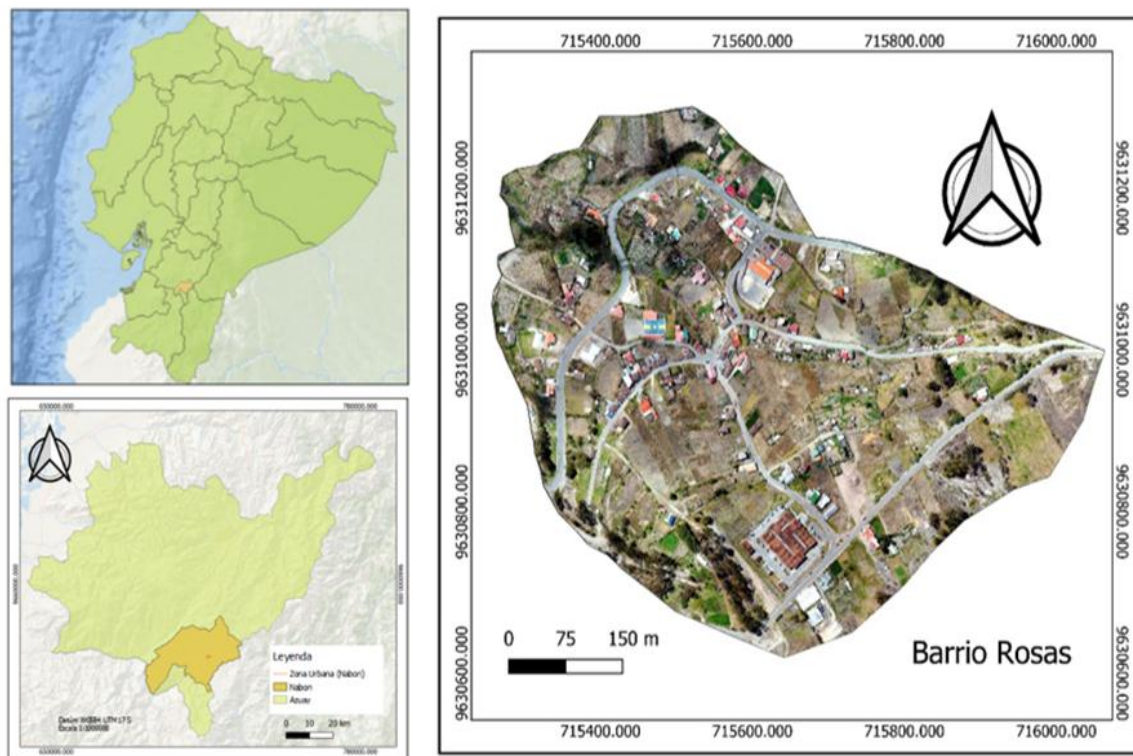


Figura 16. Ubicación de la zona de interés

La zona de estudio se encuentra en Ecuador en la provincia del Azuay cantón Nabón, lugar en la que deformaciones lentas de suelo han sido un problema para algunos barrios de la zona urbana, entre ellos se encuentran los Barrios Bellavista, Tamboloma, El Rosario y Rosas, siendo este último el más afectado, razón por la cual este trabajo se centró en dicho barrio como se observa en la [Figura 16](#). El barrio Rosas se ubica con coordenadas 715660,11 m E y 9630959,57 m S Zona 17M consta con una superficie de 325 m². El deslizamiento provoca que el barrio Rosas se encuentre en condiciones no favorables de estabilidad con su masa en estado latente (GEOPROJECT CONSULTORA, 2021). En el año 2021 se ha evidenciado el daño irreparable de casas e infraestructuras comunitarias, por lo cual se procedió al desalojo de sus habitantes. En el barrio se han detectado la presencia de tres escarpes (pendientes pronunciadas), dos son antiguos y uno es reciente, los cuales se observan en la [Figura 17](#), estos suelen ser factores determinantes en un suceso de desplazamiento (deformación) suelo.



Figura 17. Escarpes principales y secundarios

Fuente: (GEOPROJECT CONSULTORA, 2021)

4.2 Adquisición de imágenes satelitales

Las imágenes satelitales se obtuvieron a partir de la base de datos de Alaska Satellite Facility, esta plataforma permite generar un polígono de selección de datos que abarque la zona de estudio, además posee varios parámetros que pueden seleccionarse tales como el tipo de sensor, tipo de producto de imagen, modo de adquisición, tipo de órbita, polarización, el periodo de tiempo de captura de cada imagen, tal como se observa en la [Figura 18](#).

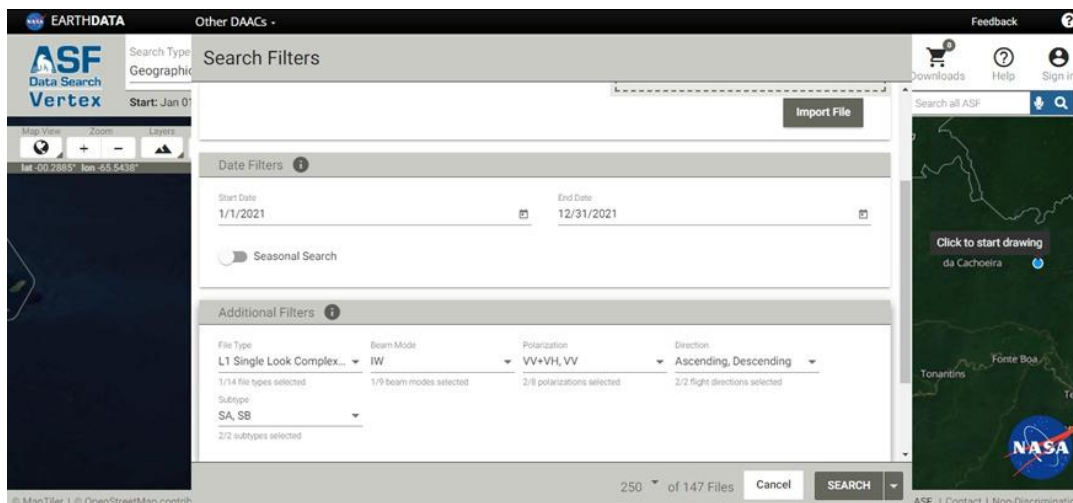


Figura 18. Interfaz de plataforma Alaska Satellite Facility

En este trabajo, se buscó obtener imágenes con un lapso de 12 días entre cada una (Mora et al., 2016), no obstante, debido a situaciones externas como fallas de energía en los sensores no se pudo cumplir este lapso, razón por la cual se extendió el lapso hasta máximo 24 días entre cada imagen, este proceso se realizó cubriendo un periodo desde el año 2018 a 2022 con el fin de dar seguimiento al deslizamiento en el barrio las Rosas. Se adquirió imágenes de la misión Sentinel 1A y 1B tanto en órbita ascendente y descendente, el tipo de producto de imagen obtenido es el SLC (Single Look Complex) el cual emplea el modo de adquisición IW (Interferometric Wide), además de que se escogió el tipo de polarización VV.

Software de Procesamiento DInSAR y PSI

Se seleccionó al software SNAP (Sentinel Application Platform) en su versión 9.0.0 como el programa para procesar los productos satelitales, dicho software pertenece a la ESA, es totalmente gratuito y posee herramientas para el procesamiento de datos de todas las misiones lanzadas por dicha agencia. Para ejecutar el método DInSAR es necesario instalar el plugin snaphu (statistical- cost network-flow algorithm for phase unwrapping) el cual es un plugin externo creado para desenvolver la fase.

Por otro lado, para poder emplear PSI se utilizó el software SNAP, MATLAB y el complemento Snap2stamps(Braun et al., 2020). STAMPS y snap2stamps fueron escritos en Matlab, no obstante ciertos procesos previos son ejecutados empleando el lenguaje de programación Python, siendo complicado ejecutar correctamente el software en sistemas operativos basados en Windows, esta es la razón por la cual PSI/STAMPS fue ejecutado en un entorno de trabajo UNIX, específicamente en un sistema operativo Ubuntu 20.04 LTS, además los requerimientos de hardware para poder ejecutar los scripts y paquetes es considerable, ya que mientras menos recursos posea el equipo el tiempo en obtener los resultados por stack podrá ser de hasta 1 día. En esta investigación, se empleó una computadora con 1,5 TB de almacenamiento, 16gb de RAM, procesador de 12 núcleos, tarjeta gráfica NVIDIA 1660 TI, con lo cual el tiempo de procesamiento por año es de 4 horas.

4.3 DInSAR

Como se observa en la Figura 19, el procesamiento de imágenes empieza con una imagen denominada Maestra y Esclava descargadas previamente de la misma órbita y polarización, este par de imágenes permite empezar el procesamiento diferencial de interferometría.

4.3.1 Procesamiento de datos satelitales

El procesamiento de las imágenes satelitales adquiridas para el método DInSAR, se apegó a todos los criterios recomendados por la ESA, se sigue el diagrama de trabajo que se observa en la [Figura 19](#), teniendo en cuenta que se debe analizar el resultado de cada preproceso para obtener un resultado de deformación o desplazamiento en (LOS) coherente.

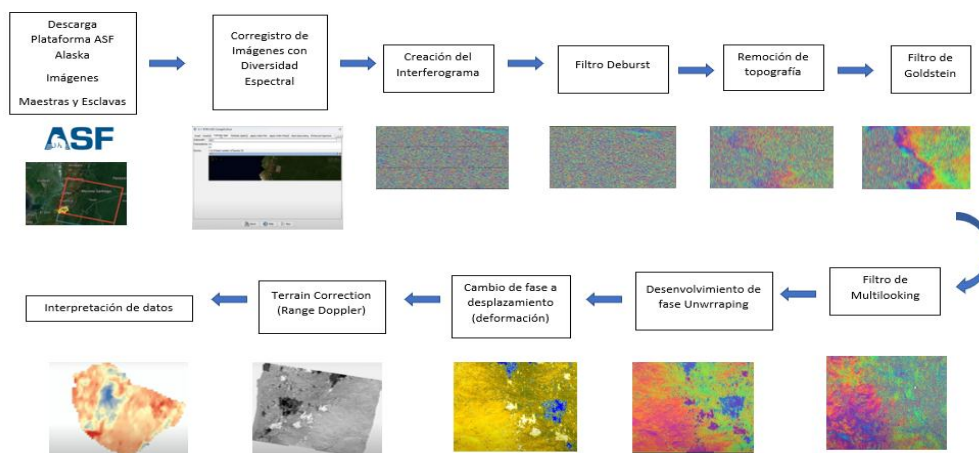


Figura 19. Metodología de procesamiento DInSAR

Adicionalmente se presenta en la [Figura 20](#) el diagrama de trabajo del software SNAP utilizado en este trabajo, donde se visualiza paso a paso las respectivas correcciones y filtros que se realiza a la imagen TOPSAR. Es importante aclarar que la aplicación de los filtros Goldstein y Multilooking son de mucha ayuda para mejorar la interpretabilidad de la imagen. Una vez que se exporta la fase esta fue desenvuelta (unwrapping) mediante el plugin snaphu y posteriormente fue importada al entorno de SNAP para seguir con el procesamiento hasta determinar el desplazamiento (deformación), como se observa en la [figura 21](#). Más adelante se describe cada parámetro y su aplicabilidad

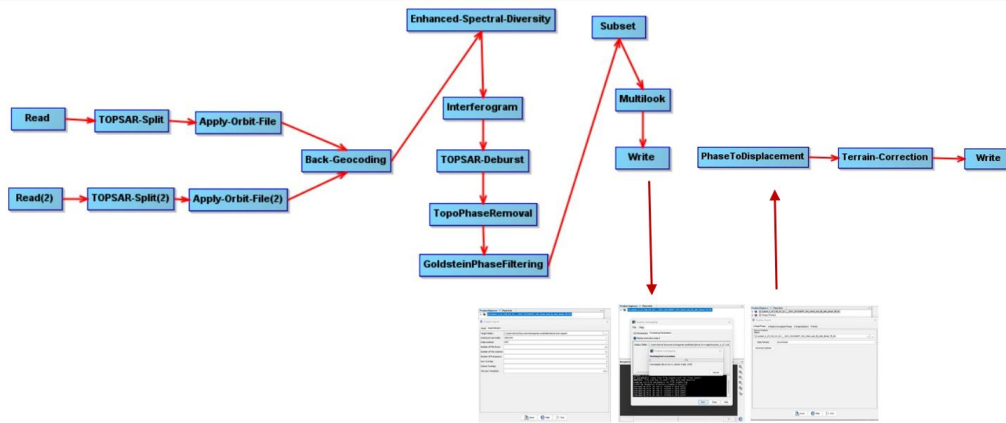


Figura 20. Metodología de procesamiento Software Snap

a)

b)

c)

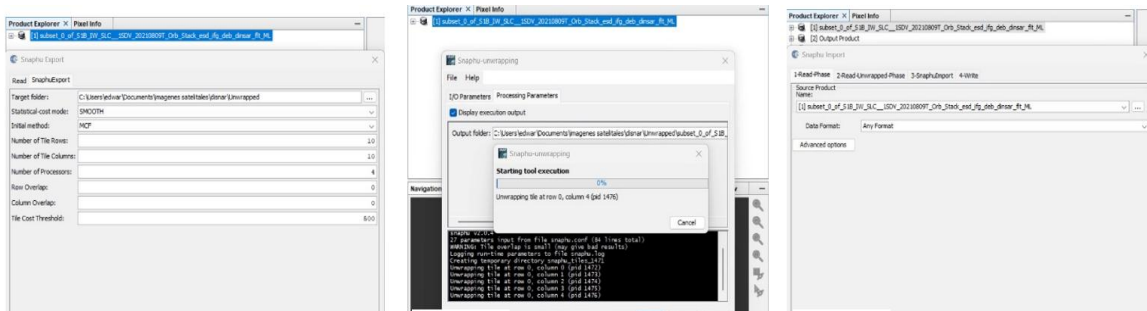


Figura 21. Entorno de trabajo de desenvolvimiento de fase con SNAPHU

a) Exportación de la fase b) unwrapping en la fase c) Importación de la fase

4.3.2 Corregistro de imágenes

La herramienta Tops Coregistration permite registrar y ajustar a la imagen Maestra con respecto a la esclava a la misma sub-franja (Split), polarización, órbita (Apply Orbit file) y geocodificación. La delimitación de la sub-franja en la que se encuentra ubicada la zona de estudio, se logró empleando la herramienta Split que permite reducir la extensión de la imagen y evitar una carga extra al procesador de la computadora que se use. Posteriormente se aplicó la función Apply Orbit File que permite corregir la precisión de la órbita, dicho archivo contiene información precisa de velocidad y posición del satélite, el programa descargara automáticamente estos metadatos desde la página oficial de la base de datos satelital. En este procedimiento se recomienda que la línea base perpendicular sea corta.

La Geocodificación registra a los dos productos de las imágenes Maestra y Esclava pixel-pixel en uno solo y sincroniza las bandas I/Q, además codifica las imágenes utilizando un modelo digital de terreno (DEM) referencial el cual estima puntos de elevación conocidos (valor real) para ambas imágenes. El DEM es facilitado por el mismo software y en caso de poseer un DEM externo, también se puede ingresar dicho archivo al software. Los DEM por defecto son Copernicus 30 y 90 M y SRTM 3 (arco segundo) y STRM 1 (arco segundo), en este caso se seleccionó el DEM SRTM 1.

4.3.3 Diversidad Espectral Mejorada

Esta función es usada para recuperar o compensar el salto de azimut que se genera en la imagen, esto se realiza mediante una correlación cruzada que permita asegurar que la pérdida de coherencia de la imagen Master-Slave sea insignificante, al usar esta herramienta se empleó los parámetros por defecto que brinda el software.

4.3.4 Generación del interferograma

Un interferograma es el resultado de la multiplicación de los píxeles del par de imágenes interferométricas (Master-Slave) para formar una nueva imagen compleja con nueva amplitud y una fase diferencial resultante de las dos imágenes procesadas en forma de interferograma. En caso de haber usado un DEM externo en los pasos anteriores, se debe ingresar dicho DEM al software para el proceso interferométrico, en este caso se usó los parámetros por defecto en el software y se seleccionó el DEM SRTM 1. La imagen obtenida luego de este proceso aún tiene varios errores como el ruido moteado “speckle” que no son más que información errónea, por lo que es importante aplicar correcciones antes de obtener el resultado final.

4.3.5 Coherencia

Se recomienda tener en cuenta la coherencia que posee el interferograma obtenido, con el fin de asegurar que se han generado datos válidos, esto se puede realizar mediante la revisión de la banda de coherencia, la cual indica la similitud entre el par de imágenes a nivel de píxel en una escala de 0 a 1 (baja a alta) donde los píxeles con mayor coherencia obtienen más brillo (color blanco) en la imagen. La poca coherencia en la imagen obtenida puede deberse a ciertos factores físicos y geométricos, a problemas en la órbita de los satélites, presencia de vegetación o errores de cálculo. De acuerdo con (Tocasuche Castro & Peñalosa Molina, 2018) valores entre 0.3 a 0.5 son considerados ruidosos y superiores a 0.5 son considerados como aceptables

4.3.6 Filtrado Deburst

Las imágenes SLC poseen tres sub-franjas, en la cual cada franja posee varias ráfagas sobrepuestas entre sí en orden de acimut-tiempo, generando líneas negras entre cada ráfaga, los mismos que generan distorsión en la imagen, este filtro lo que busca es generar una imagen continua en acimut y tiempo al remover estas líneas de separación. En el software se seleccionó los parámetros por defecto al aplicar esta herramienta.

4.3.7 Remoción de la fase Topográfica

Una vez generado el interferograma se sustrajo la contribución topográfica del DEM (valor real) previamente utilizado en la sección correregistro, esto debido a que la sensibilidad que se quiere alcanzar es en función de deformación no en altura, en SNAP se seleccionó los parámetros por defecto además de que se seleccionó el DEM SRTM 1.

4.3.8 Filtrado de Fase Goldstein

Este filtro, busca refinar el interferograma obtenido de manera que el resultado final sea más exacto, su función principal es filtrar o reducir el ruido producido en el interferograma, además permite acentuar y volver mucho más nítidas a las franjas interferométricas junto con una mejora la precisión para el posterior desenvolvimiento de fase. Al momento de usar esta herramienta en el software se usó los parámetros por defecto.

4.3.9 Filtro Multilooking

Esta es una herramienta opcional que mediante un promedio de píxeles se emplea en caso de que se desee reducir el ruido de la imagen, además de que se mejora la apariencia e interpretabilidad de esta. Al emplear esta herramienta se puede especificar el número de miradas de rango y acimut que se desea, en este caso se seleccionó los parámetros por defecto recomendados por el software.

4.3.10 Desenvolvimiento de fase

El interferograma resultante posee una diferencia de fase de módulo 2π , debido a que la imagen no calcula la distancia ida y vuelta de la señal entre el sensor y el objetivo, sino que sólo calcula la diferencia de fase que se recibe, por lo que la fase total es desconocida, por lo que la fase total no será más que el valor de la fase almacenada, más un número entero de ciclos (Montaño & Orozco, 2018). Este desenvolvimiento se lo realizó usando el plugin SNAPHU en el software SNAP. Como primer paso se exportó la imagen con todas las correcciones realizadas a la ventana de SNAPHU, luego de esto el software ejecutó el desenvolvimiento de fase el cual puede tardar entre una hora en ser procesado, luego de esto la fase desenvuelta fue importada desde el plugin hasta la ventana principal de SNAP.

4.3.11 Cambio de Fase a desplazamiento

La imagen con la fase desenvuelta se encuentra expresada en radianes, valor que no puede ser interpretado fácilmente, es por esta razón que se debe realizar una conversión que permita obtener valores expresados en metros (González Calvo, L, 2018). La herramienta Phase to displacement permite cambiar la fase interferométrica y producir un mapa de desplazamiento en LOS. La fórmula detalla a continuación indica el cambio de dos adquisiciones de imágenes:

$$\Delta\phi_d = -\frac{4\pi}{\lambda}d \quad d = -\frac{\lambda}{4\pi}\Delta\phi_d \quad (9)$$

Donde λ es la longitud de onda transmitida y d se estima el desplazamiento en dirección oblicua (slant range)

Es importante mencionar que de esta fórmula podemos encontrar la distancia (deformación) gracias a que la variación de la fase que se produce es proporcional a la altitud relativa del terreno, a la diferencia de rango de los objetivos y desplazamiento relativo (Ferretti et al., 2007).

4.3.12 Geocodificación

Luego de obtener los resultados, estos pueden ser manipulados de tal forma que permitan generar mapas temáticos útiles para la toma de decisiones, se recomienda exportar dichos resultados a un sistema de referencia geográfico (Montazeri et al., 2018), en esta investigación se seleccionó el sistema WGS84 17S.

4.4 STAMPS/PSI

4.4.1 Preprocesamiento de imágenes para PSI

El procesamiento PSI/STAMPS, busca determinar aquellos dispersores persistentes (PS) que se han mantenido a lo largo del tiempo, para poder llevar a cabo este método es necesario poseer un stack de imágenes considerable, siendo un requerimiento tener como mínimo 20 imágenes por año para poder obtener resultados aceptables, el workflow de este procesamiento se encuentra presente en la [Figura 22](#).

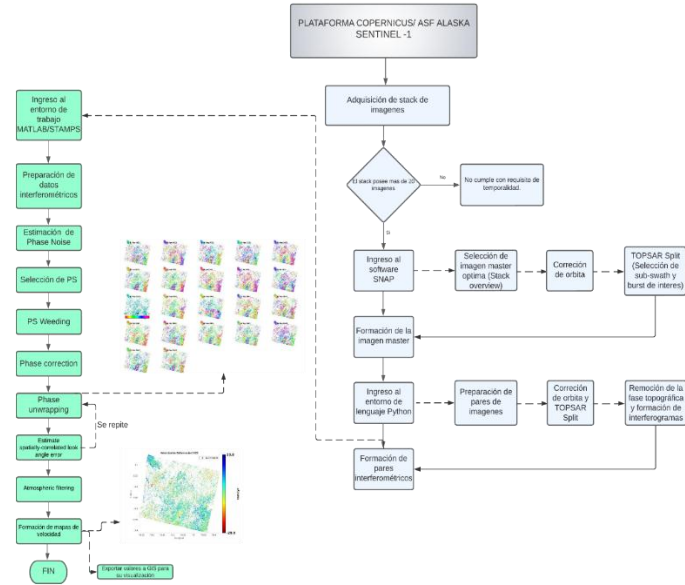


Figura 22. Workflow de procesamiento STAMPS

Similar a lo que se realiza con DInSAR, se debe preprocesar en este caso a la imagen que será seleccionada como master para la formación de los pares de imágenes. En SNAP, con la herramienta ubicada en Radar----Interferometric---InSAR Stack Overview, se determinó la imagen considerada como master para todo el año de estudio, tal como se observa en la [Figura 23a](#). Luego de obtener la imagen máster, se corrigió dicha imagen para procesos posteriores, esto se realizó nuevamente en Snap, tal como se muestra en la [Figura 23b](#).

a)

File Name	Type	Acquisition	Track	Orbit
S1B_IW_SLC__1SDV_20210129T105244_2_...SLC		29Jan2021	142	25368
S1B_IW_SLC__1SDV_20210227T105243_2_...SLC		27Feb2021	142	25718
S1B_IW_SLC__1SDV_20210318T105246_2_...SLC		18Mar2021	142	25543
S1B_IW_SLC__1SDV_20210117T105244_2_...SLC		17Jan2021	142	25193
S1B_IW_SLC__1SDV_20210306T105243_2_...SLC		06Mar2021	142	25893
S1B_IW_SLC__1SDV_20210317T105243_2_...SLC		17Mar2021	142	26143
S1B_IW_SLC__1SDV_20210411T105244_2_...SLC		11Apr2021	142	26418
S1B_IW_SLC__1SDV_20210318T105243_2_...SLC		18Mar2021	142	26068
S1B_IW_SLC__1SDV_20210307T105245_2_...SLC		07Mar2021	142	26768
S1B_IW_SLC__1SDV_20210423T105245_2_...SLC		23Apr2021	142	26593
S1B_IW_SLC__1SDV_20210517T105246_2_...SLC		17May2021	142	26943
S1B_IW_SLC__1SDV_20210527T105246_2_...SLC		27May2021	142	27118
S1B_IW_SLC__1SDV_20210610T105247_2_...SLC		10Jun2021	142	27293

File Name	Ref/Sec	Acquisition	Track	Orbit	Epspp [m]	Epspp [days]	Modelo	Height...	Delta f...
S1B_IW_SLC__1SDV_20210627T10...Secondary		27Jun2021	142	27468	0.00	0.00	1.00	147	0.00
S1B_IW_SLC__1SDV_20210129T10...Secondary		29Jan2021	142	25368	48.56	144.00	0.83	322.30	-0.04
S1B_IW_SLC__1SDV_20210227T10...Secondary		27Feb2021	142	25718	-26.38	120.00	0.87	393.18	-0.86
S1B_IW_SLC__1SDV_20210318T10...Secondary		18Mar2021	142	25543	46.42	120.00	0.85	244.55	1.89
S1B_IW_SLC__1SDV_20210117T10...Secondary		17Jan2021	142	25193	33.82	156.00	0.83	462.70	0.70
S1B_IW_SLC__1SDV_20210306T10...Secondary		06Mar2021	142	25893	47.07	100.00	0.85	233.33	0.26
S1B_IW_SLC__1SDV_20210317T10...Secondary		17Mar2021	142	26143	-49.32	84.00	0.88	217.29	-2.60
S1B_IW_SLC__1SDV_20210411T10...Secondary		11Apr2021	142	26418	8.91	72.00	0.93	-176.21	-0.73
S1B_IW_SLC__1SDV_20210318T10...Secondary		18Mar2021	142	26068	-90.65	96.00	0.84	172.65	-1.45
S1B_IW_SLC__1SDV_20210307T10...Secondary		07Mar2021	142	26768	-54.51	48.00	0.91	287.12	-2.82
S1B_IW_SLC__1SDV_20210423T10...Secondary		23Apr2021	142	26593	16.83	60.00	0.93	420.81	0.33
S1B_IW_SLC__1SDV_20210517T10...Secondary		17May2021	142	26943	15.47	36.00	0.95	-101.58	0.79
S1B_IW_SLC__1SDV_20210527T10...Secondary		27May2021	142	27118	-14.72	24.00	0.97	1063.37	-0.91

b)

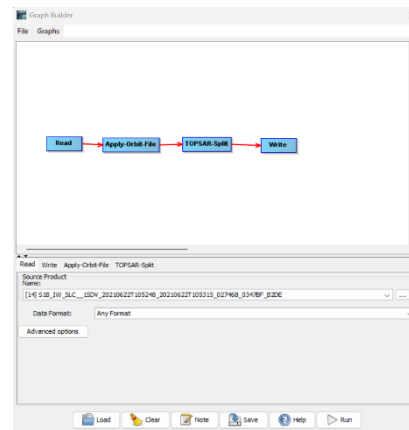


Figura 23. Procesamiento de stack en SNAP

a) Selección de imagen master b) Corregistro de imagen master

Con la imagen master corregistrada, se llevó a cabo la formación de los pares interferométricos, para esto se debe emplearon scripts escritos en Python, los mismos se encuentran disponibles en la base de datos GitHub disponibles para ser descargados. Cabe resaltar que esta sección es altamente demandante en cuestión de tiempo, llegando a tardar hasta 2 horas en generar el stack de pares interferométricos.

4.4.2 Procesamiento en Matlab

Para esta técnica se utilizó el software MATLAB, puesto que inicialmente el método fue escrito en este lenguaje de programación. Luego de corregistrar el stack de imágenes se usó el complemento `snap2stamps`, el cual convierte a la información de los pares interferométricos en el formato requerido para correr en Matlab, de esta manera luego de ser convertidos realizó la estimación del ruido de fase (phase noise), que estima el valor de ruido que posee cada píxel candidato en cada uno de los interferogramas, luego de esto se procedió con la selección de los PS, basándose en las características de ruido de cada píxel, luego todos los PS candidatos pasaron por un filtro (PS weeding) que excluye a todos los píxeles que sean considerados demasiado ruidosos, a continuación corrigió la fase envuelta en función del error de ángulo de visión (DEM) no correlacionado espacialmente, luego de las correcciones en los interferogramas se procedió con el desenvolvimiento de fase de todo el stack de imágenes, posteriormente se procedió a corregir los interferogramas en función del error de ángulo de visión correlacionado espacialmente, luego de estimar dicho error el desenvolvimiento de fase se ejecutó nuevamente, esta vez con el error extraído. Una vez realizado el nuevo desenrollo de fase, se realizaron las correcciones atmosféricas mediante el paquete TRAIN (Toolbox for Reducing Atmospheric InSAR Noise) el cual se encuentra integrado en STAMPS, luego de eliminar los errores atmosféricos se obtuvo valores de velocidad para el stack de imágenes satelitales, dichos valores fueron exportados para ser procesados en cualquier software de sistema de procesamiento de información geográfica.

4.5 Análisis de Datos

Posterior a obtener datos de deformación mensual, estos se correlacionaron con datos de precipitación, los cuales fueron adquiridos a partir de la base de datos del satélite GPM_3IMERGHHL ([Giovanni \(nasa.gov\)](http://Giovanni.nasa.gov)) el cual tiene una resolución de aproximadamente 11km con una temporalidad de 30 minutos, sus datos se obtuvieron en valores de mm/h,

como se observa en la [Figura 24](#). Con estos datos se realizó un análisis estadístico mediante una correlación lineal simple, la cual se fundamenta en evaluar la relación que puede existir entre dos variables cuantitativas, los resultados se encuentran en función de -1 a 1, donde valores cercanos a cero indican la no existencia de relación y valores cercanos a 1 o -1 indican una relación fuerte, esto se lo realizo empleando el software Rstudio.

The screenshot shows the GIOVANNI web interface. At the top, it says 'EARTHDATA Find a DAAC - GIOVANNI The Bridge Between Data and Science v 4.38'. Below this, there are search filters: 'Select Plot' (Time Averaged Map), 'Select Date Range (UTC)' (2022-01-01 to 2022-01-31), and 'Select Region (Bounding Box or Shape)' (Countries and Areas Ecuador). A search bar contains the keyword 'precipitation gpm'. Below the search bar is a table of results with columns: Variable, Units, Source, Temp Res, Spat Res, Begin Date, and End Date. The table lists several precipitation variables, with the 'Multi-satellite precipitation estimate with climatological gauge calibration - Early Run' selected. At the bottom, there are buttons for 'Reset', 'Plot Data', and 'Go to Results'.

Variable	Units	Source	Temp Res	Spat Res	Begin Date	End Date
<input type="checkbox"/> Daily accumulated precipitation (combined microwave-IR estimate - Final Run (GPM_3IMERGDF_V06))	mm	GPM	Daily	0.1°	2000-06-01	2021-09-30
<input type="checkbox"/> Merged satellite-gauge precipitation estimate - Final Run (recommended for general use) (GPM_3IMERGM_V06)	mm/hr	GPM	Monthly	0.1°	2000-06-01	2021-09-30
<input type="checkbox"/> Daily accumulated precipitation (combined microwave-IR estimate - Late Run (GPM_3IMERGDL_V06))	mm	GPM	Daily	0.1°	2000-06-01	2023-01-21
<input type="checkbox"/> Multi-satellite precipitation estimate with climatological gauge calibration - Late Run (GPM_3IMERGH1_V06)	mm/hr	GPM	Half-Hourly	0.1°	2000-06-01	2023-01-22
<input checked="" type="checkbox"/> Multi-satellite precipitation estimate with climatological gauge calibration - Early Run (GPM_3IMERGH1E_V06)	mm/hr	GPM	Half-Hourly	0.1°	2000-06-01	2023-01-22
<input type="checkbox"/> Random Error for multi-satellite precipitation with climatological gauge calibration - Early Run (GPM_3IMERGH1E_V06)	mm/hr	GPM	Half-Hourly	0.1°	2000-06-01	2023-01-22

Figura 24. Interfaz de base de datos GIOVANNI

5. Resultados

Con el fin de tener fáciles accesos a los stacks de imágenes seleccionados se creó una geodatabase de archivos con el historial de cada descarga que se utilizaron en este trabajo, ver anexo 1. La adquisición de imágenes se realizó a partir de la página web <https://search.asf.alaska.edu/#/>, con esto se obtuvo un total de 277 imágenes tanto en órbita ascendente y descendente de los satélites Sentinel-1 A y B.

5.1 DInSAR

5.1.1 Estimación de Deformación Acumulada

Todos los pares de imágenes procesados en este trabajo siguieron el diagrama de trabajo de Snap (ver Figura 19), dando como resultado interferogramas, los mismos que debido a su naturaleza compleja no indica un resultado aparente dado que su fase se encuentra en radianes, por ello se corrigió a desplazamiento (deformación) en (LOS) siendo este georreferenciado, como se muestra en la [Figura 25](#). Una vez obtenido los resultados se descargó la información de la imagen satelital en formato TIFF para el análisis en el software Qgis.

En cuanto al desplazamiento (deformación acumulada) se realizó una pila o stack de imágenes, en formatos de pares de imágenes maestras y esclavas sucesivamente de todos

los meses siguiendo los mismos principios ya mencionados, posteriormente se realizó una suma de los resultados de la pila, obteniendo la deformación acumulada.

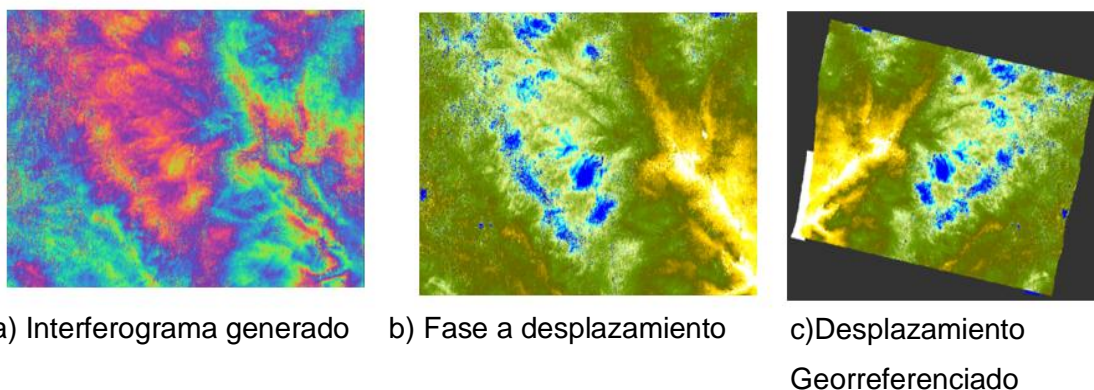
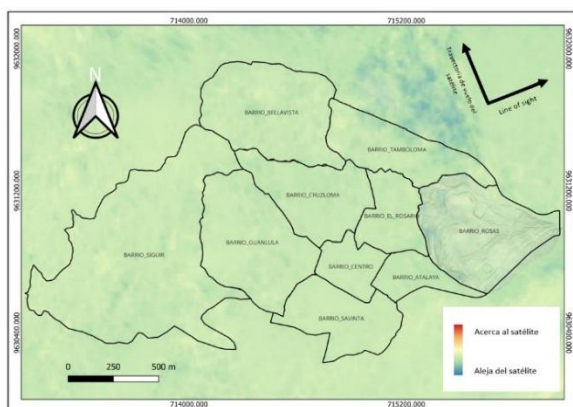


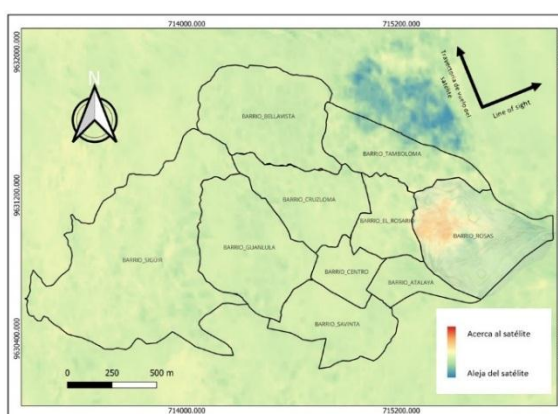
Figura 25. Resultado DInSAR de una imagen satelital procesada

Al realizar el procesamiento por stack de imágenes satelitales de cada año mediante el software SNAP 9.0.0 se obtuvo datos de deformación en formato ráster tanto en órbita ascendente como descendente, con estos datos fue posible identificar el inicio del evento de deformación, el mismo que se situó en el año 2021, tal como se puede observar en la [Figura 26](#). Cabe resaltar que debido a la ubicación del barrio Rosas la mejor órbita es la descendente ya que se ubica a favor de la deformación.

a)



b)



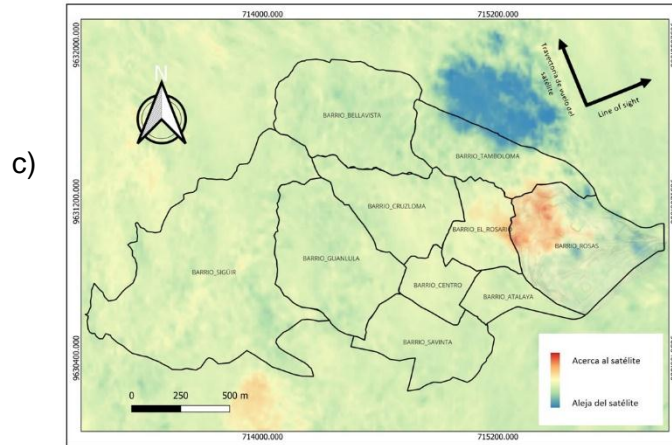


Figura 26. Proceso de Deformación Ascendente Barrio Rosas año 2021

a) enero-marzo b) marzo-junio c) junio-diciembre

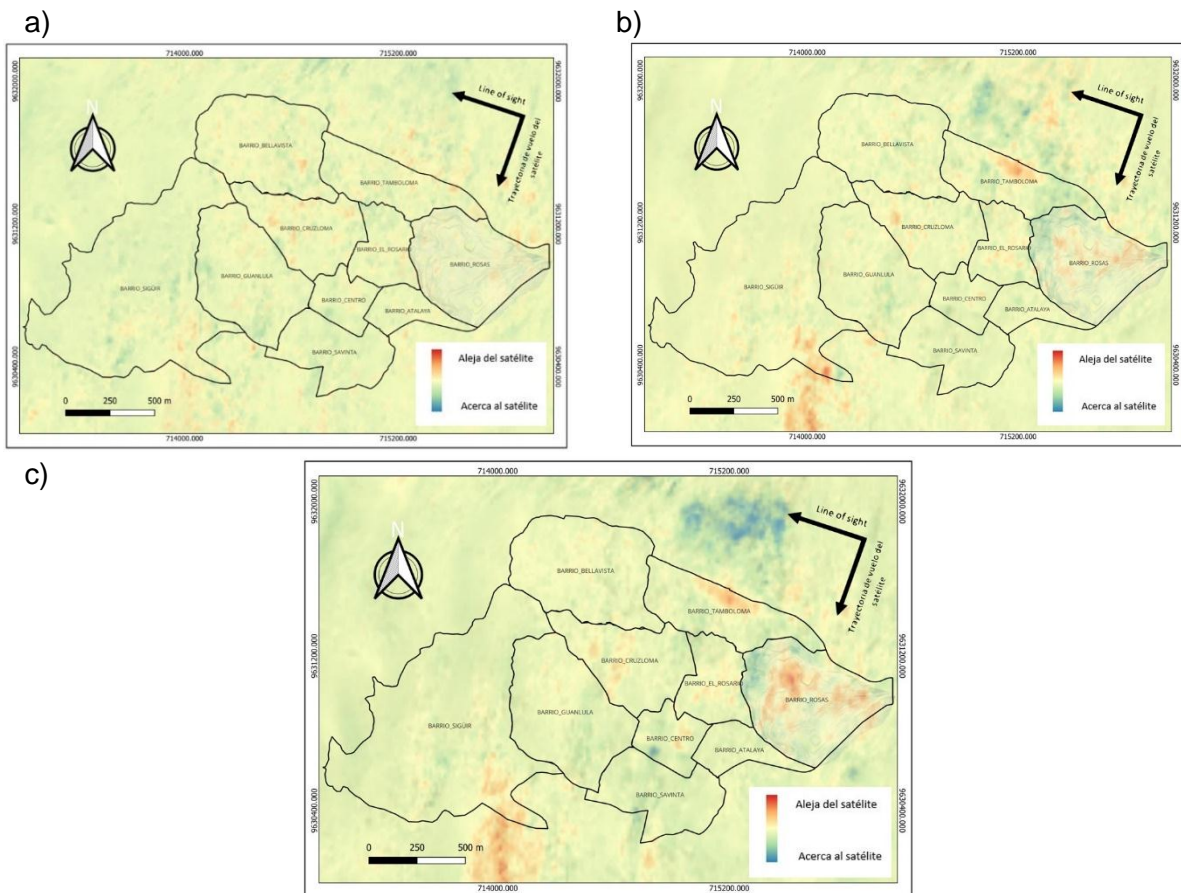


Figura 27. Proceso de Deformación Descendente Barrio Rosas año 2021

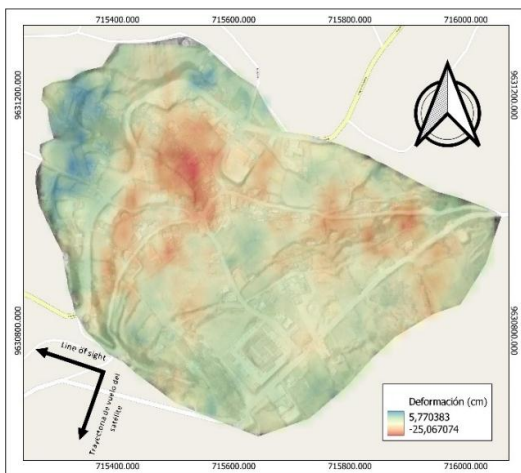
a) Enero-marzo b) Marzo-Julio c) Julio-diciembre

Como se observa en la [Figura 27a](#) el evento de deformación tuvo inicio en el par interferométrico correspondiente al mes de marzo del año 2021, teniendo una afectación en los barrios Rosas, Rosario y Tamboloma considerados como zona urbana, la deformación se produce en su mayoría en la parte noroeste del barrio. Con esta consideración empleando la técnica DInSAR se dio seguimiento a la deformación en los años 2021 y 2022.

Se realizó la estimación de la deformación acumulada en línea de visión (LOS) por órbita teniendo en cuenta que valores negativos indican un alejamiento en la visión del satélite y valores positivos indican un acercamiento al mismo, para el año 2021 en órbita descendente dicha deformación presento un valor máximo de -25,06 cm en el barrio Rosas evidenciando un alejamiento en LOS y a su vez indica la presencia de una subsidencia en la zona, tal como se observa en la [figura 28a](#), adicionalmente y como observa en la [figura 28b](#), se generó un perfil de ruta acumulado que abarca desde el inicio del suceso hasta finales de 2022, esto con el fin de evaluar la dirección de la deformación en el tiempo.

En cuanto a la órbita ascendente se procesó un stack de 29 imágenes, con lo que se obtuvo un valor de deformación máximo de 21,81 cm como se observa en la [Figura 29a](#), esto indica un acercamiento hacia la línea de visión ascendente, contrario a lo que sucede con la dirección de deformación en órbita descendente, esto permitió determinar la dirección de deformación del evento, el cual se encuentra hacia el noroeste del barrio.

a)



b)

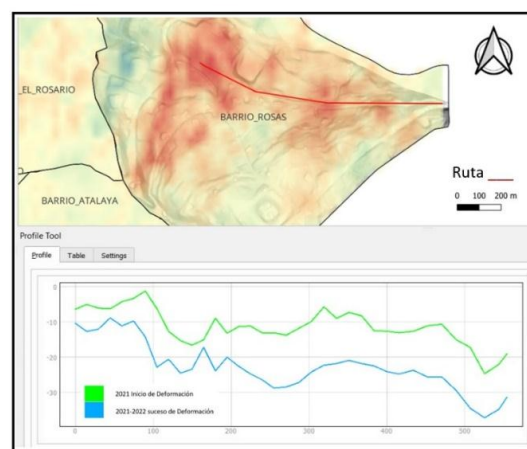


Figura 28. Deformación acumulada Descendente

a) Mapa de Deformación acumulado b) Perfil de ruta de Deformación 2021-2022

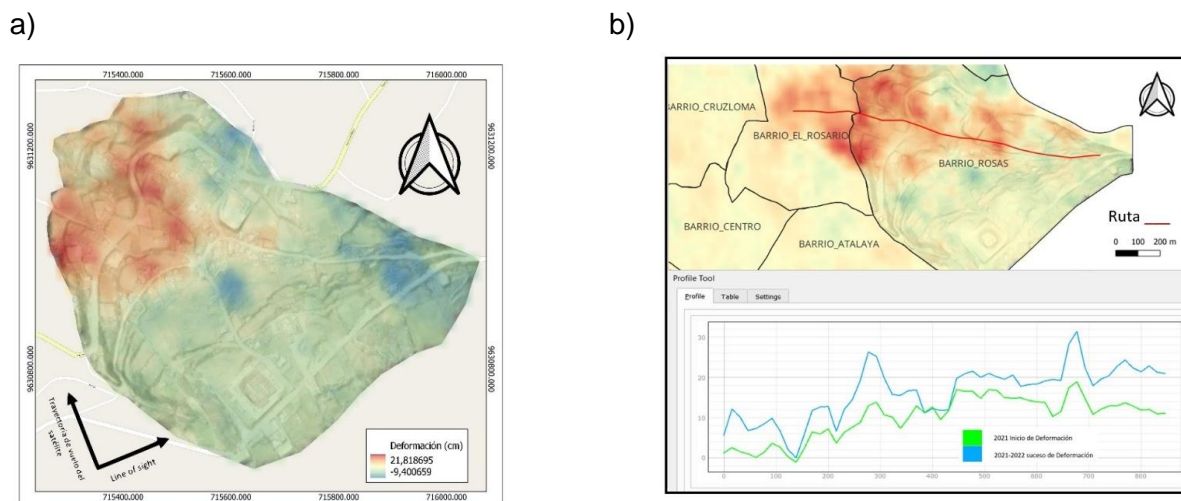
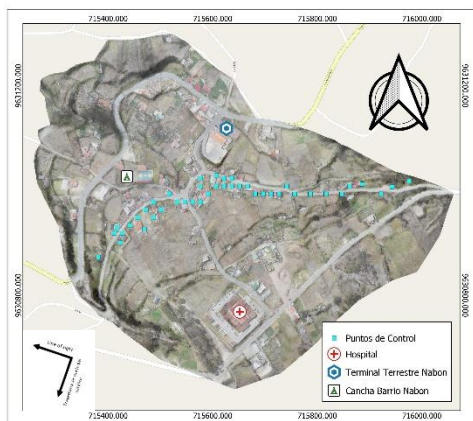


Figura 29. Deformación acumulada Ascendente

a) Mapa de Deformación acumulada b) Perfil de ruta de Deformación 2021-2022

Por otro lado, con el propósito de dar un seguimiento a la serie de tiempo anual obtenida empleando DInSAR se generó una ruta de desplazamiento por cada año en busca de observar la tendencia que se da en cada orbita que posee la misión Sentinel 1. Como se observa en la [Figura 30](#) los puntos de control cubrieron un periodo entre 2019 a 2021 para orbita descendente omitiendo los años 2018 y 2022, esto se debe a que en dichos años la temporalidad entre imágenes es pobre, razón por la cual sus resultados no son representativos, asimismo solo se empleó la órbita descendente debido a que esta se encuentra a favor de la dirección de deformación.

a)



b)

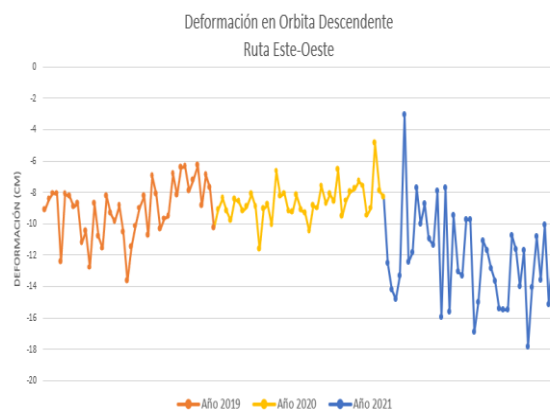


Figura 30. Seguimiento de Deformación Ascendente

a) Puntos de Control b) Seguimiento de Deformación

Con la finalidad de evaluar la situación real que se da en la zona de estudio, se llevó a cabo una visita de campo, el cual verificó el estado real de barrio especialmente en casas, carreteras y estructuras (ver anexo 2), adicionalmente se procedió a la toma de puntos GPS a lo largo del barrio, tal como se observa en las [Figura 31](#), esto con el propósito de evaluar la veracidad de los resultados obtenidos. Luego de registrar todos los puntos GPS se comparó cada punto con los resultados de deformación acumulados en ambas orbitas, esto evidenció que aquellos píxeles con valores altos de deformación son coincidentes con los puntos donde se ubica la mayor densidad de casas y construcciones en un potencial riesgo de sufrir fallas estructurales, cabe recalcar que el Centro de salud de Nabón no presento mayor afectación, situación que se corroboró en la visita de campo.

a)

b)

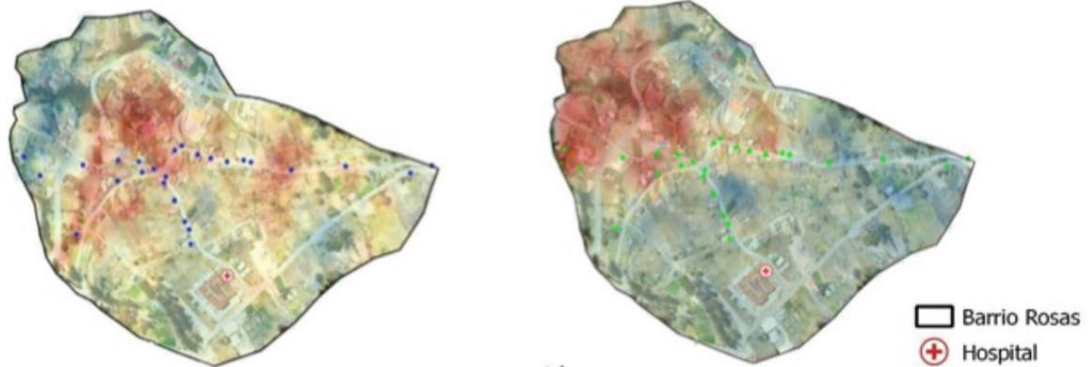


Figura 31. Puntos GPS tomados en Campo

a) órbita descendente b) órbita ascendente

Luego de activarse las alertas por evento de desplazamiento, la consultora GEOPROJECT, con el apoyo del Gad de Nabón, realizó un estudio en el cantón, luego de obtener acceso a cierta información como shapefiles de escarpes y movimientos elaborados por la consultora, se generaron mapas temáticos de evaluación de comportamiento de la deformación para corroborar los resultados obtenidos. Como se observa en la [Figura 32](#) se estableció la dirección de deformación la cual se encuentra en sentido noroeste, similar los resultados obtenidos en este trabajo.

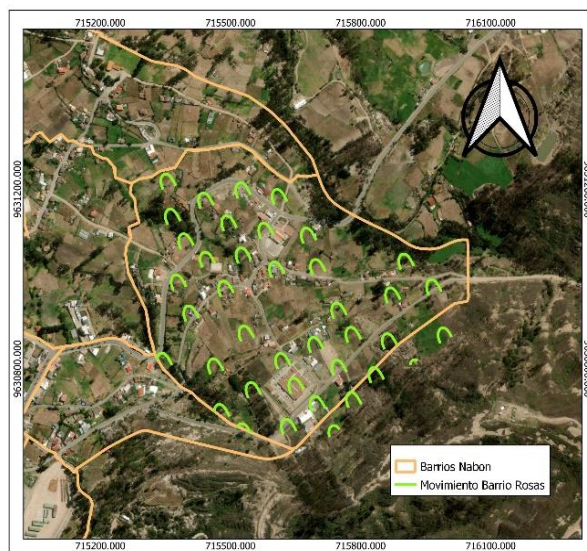


Figura 32. Dirección de movimiento por Consultora GEOPROJECT

5.2 PSI/STAMPS

5.2.1 Formación de interferogramas

El método STAMPS/snap2stamps permite generar un stack de interferogramas procesados a la vez, con esto se obtuvo una serie de stacks interferométrico desde el año 2018 a 2022 (ver anexo 3). En particular y tal como se presenta en la [Figura 33](#) se genera el stack para el año del inicio del evento, en este se observa la presencia de una imagen master en la cual se encuentra el rango de valores en radianes, ya que son valores previos al desenvolvimiento de fase. Luego de obtener el stack de interferogramas en radianes para cada año, se procedió a convertir estos valores en datos de desplazamiento anual, es decir se obtuvieron datos de velocidad anual en milímetros/año. En la [Figura 34](#) se observan los valores máximos y mínimos de velocidad para cada año de estudio en la órbita descendente.

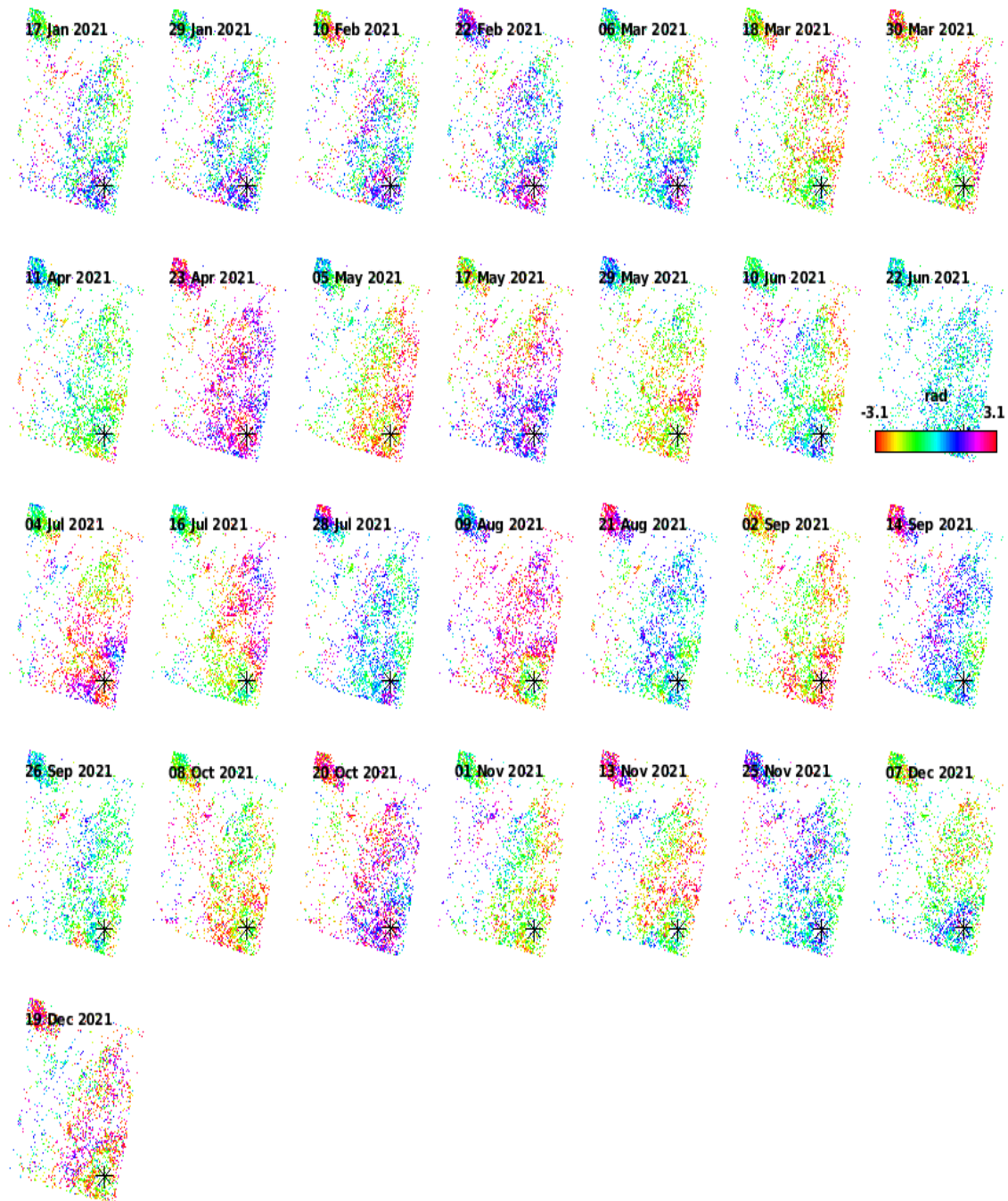


Figura 33. Stack de interferogramas Generados 2021

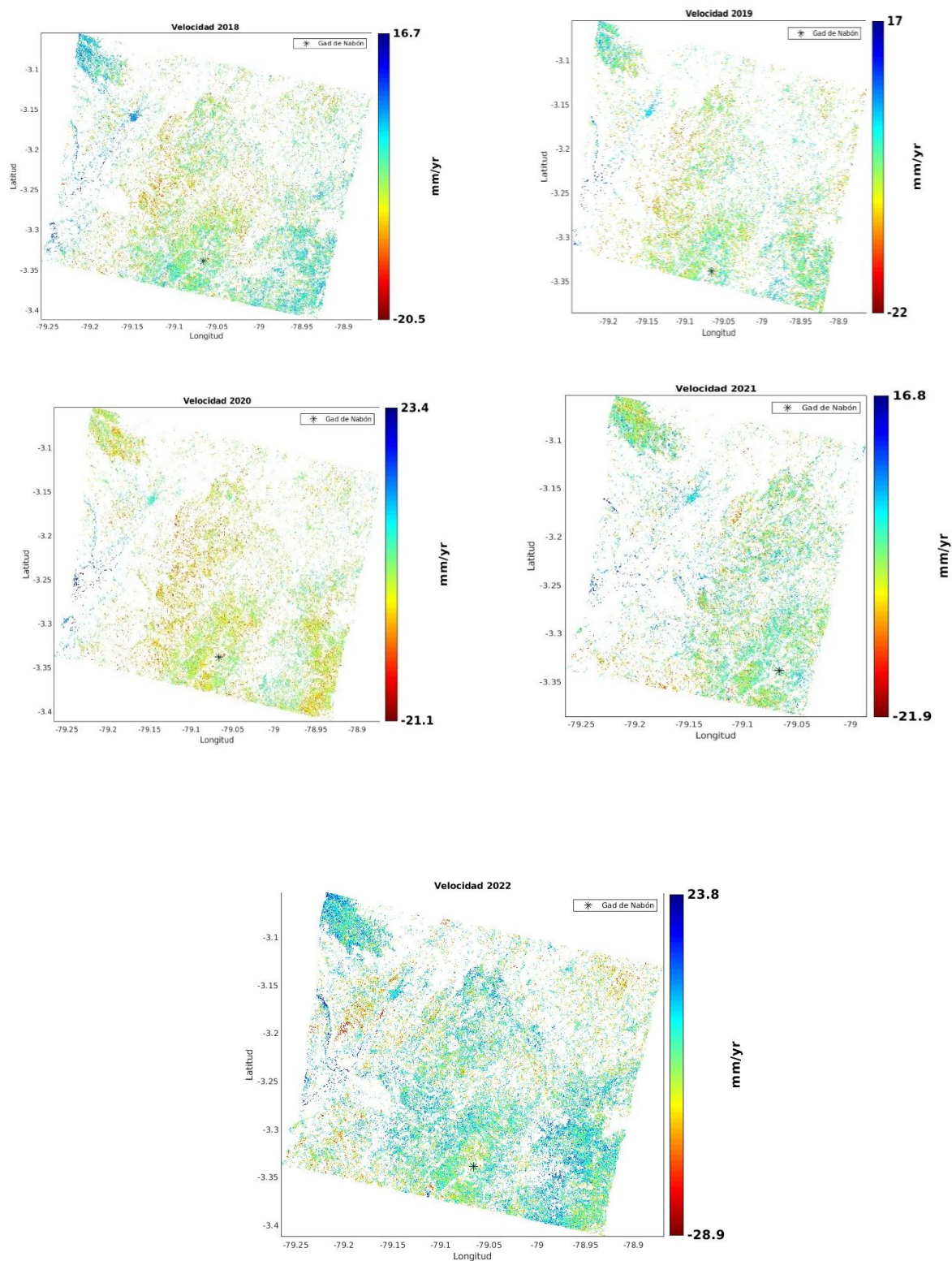
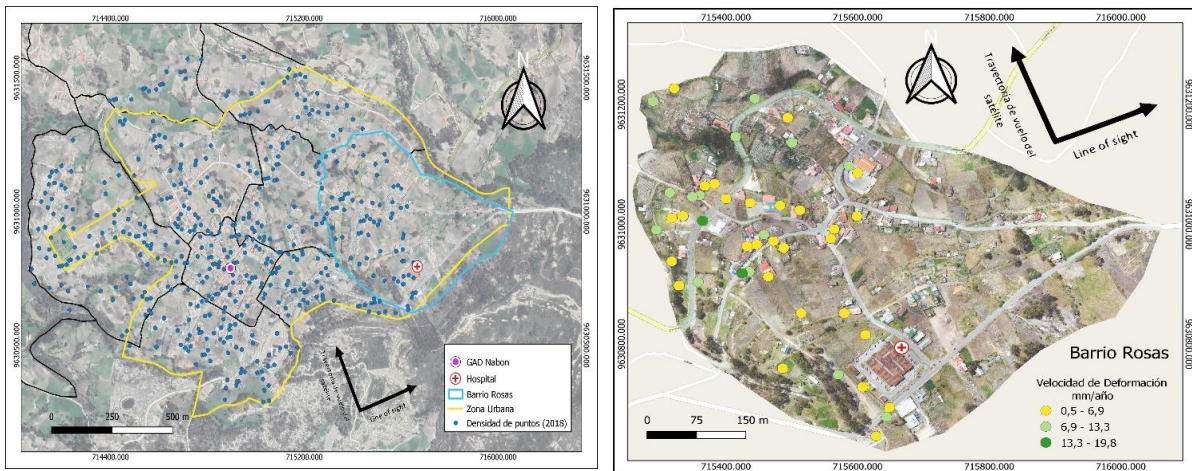


Figura 34. Mapas de Velocidad mediante STAMPS

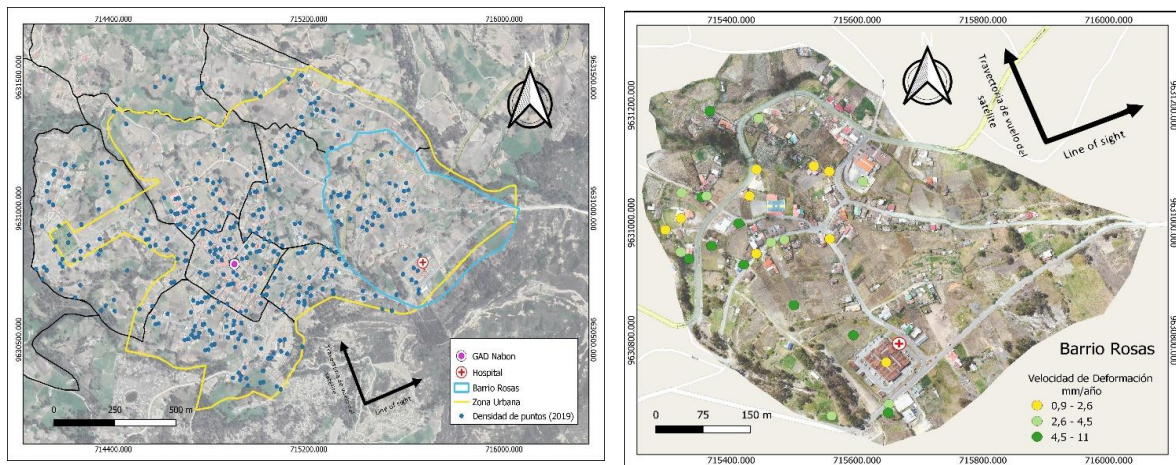
Los resultados de velocidad cubren una gran extensión de terreno, por lo que se procedió a seleccionar aquellos PS que cubren la zona urbana de Nabón, teniendo en cuenta un punto

de referencia el cual fue las oficinas del Gad de Nabón abarcando un radio de 1 km, lo que permitió evaluar de mejor manera la situación de la zona. Se obtuvieron mapas de velocidad por año tanto en órbita ascendente como descendente, en estos se observa que los valores de velocidad variaron anualmente hasta llegar al 2022, no obstante, en el año 2018 y 2021 ocurrió un efecto contrario, esto pudo suceder a causa de varios factores, los cuales se abordarán en la siguiente sección. Para el año del evento se obtuvo valores de velocidad en órbita ascendente (ver [Figura 35](#)) de -15,2 a 11,3 mm/año, para la órbita descendente (ver [Figura 36](#)), los valores de velocidad fueron de -18 a 10,4 mm/año. Con respecto a el barrio Rosas se obtuvo un valor en ascendente de -2,9 a 10,5 mm/año y -13,5 a 2 mm/año en ascendente; con respecto al año 2021 y 2022 en ascendente no existen suficientes PS en el barrio Rosas para establecer un valor aceptable de velocidad, ya que se generaron puntos solo en la zona del hospital de la ciudad y no a lo largo de casas como años anteriores, a pesar de esto su mapa de velocidad si fue generado.

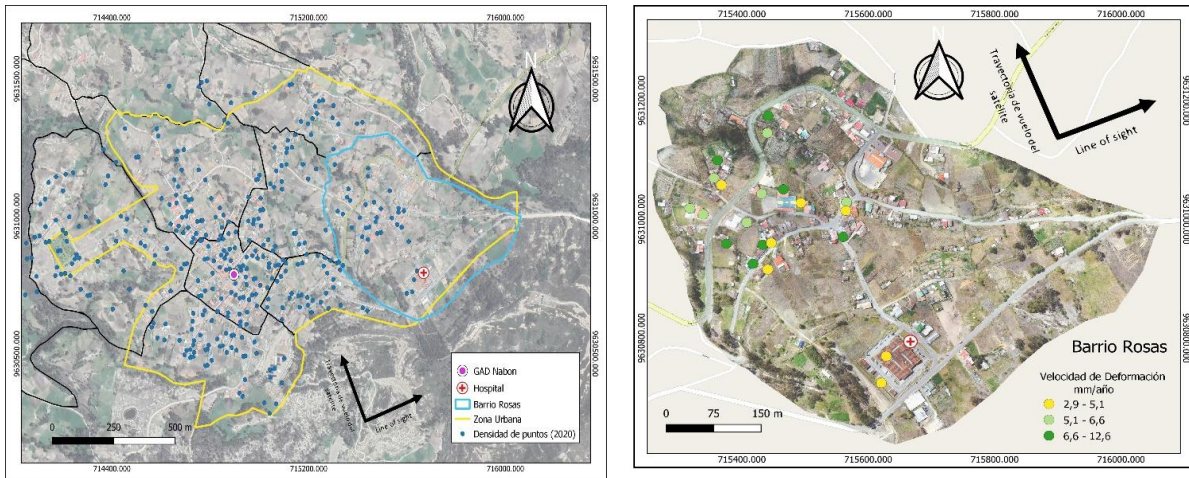
a) 2018



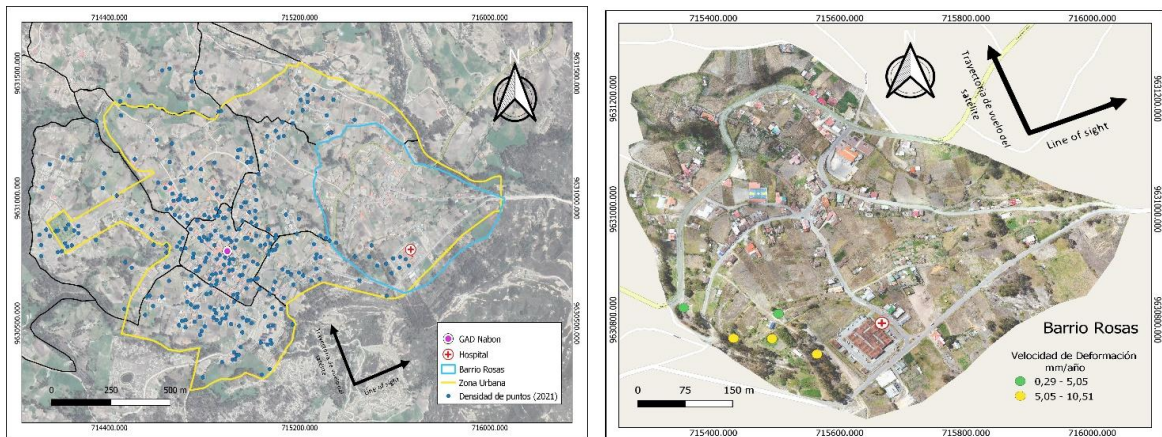
b) 2019



c) 2020



d) 2021



e) 2022

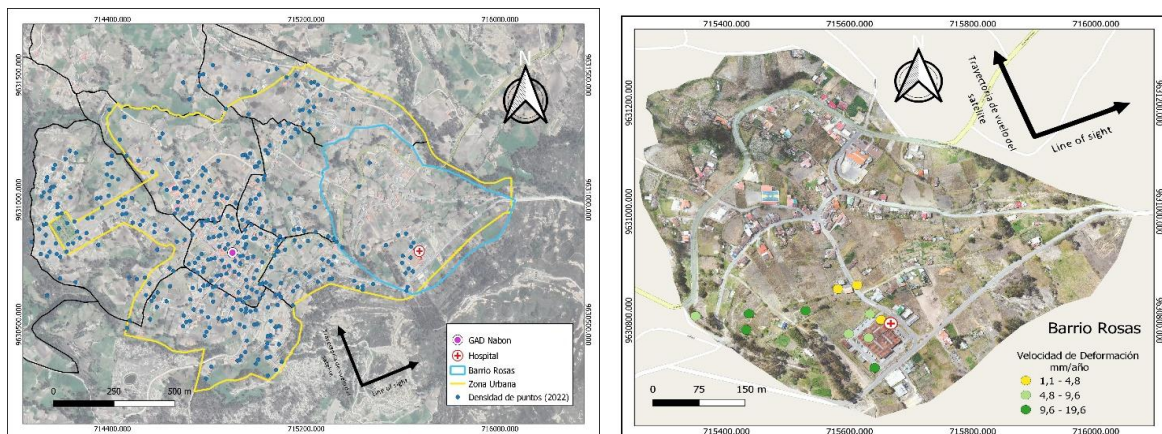
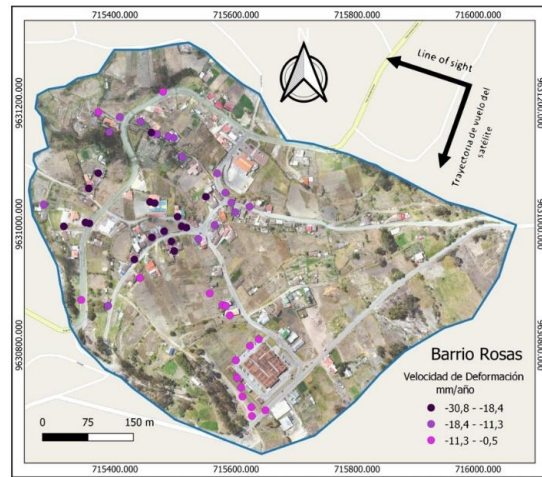
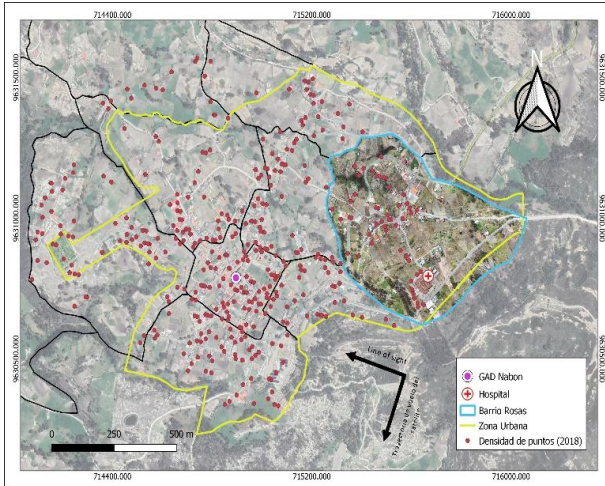
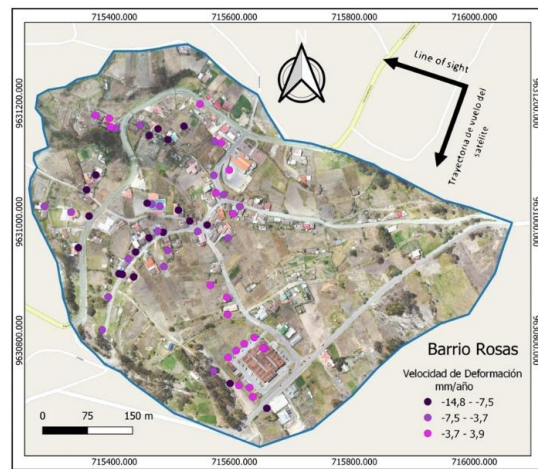
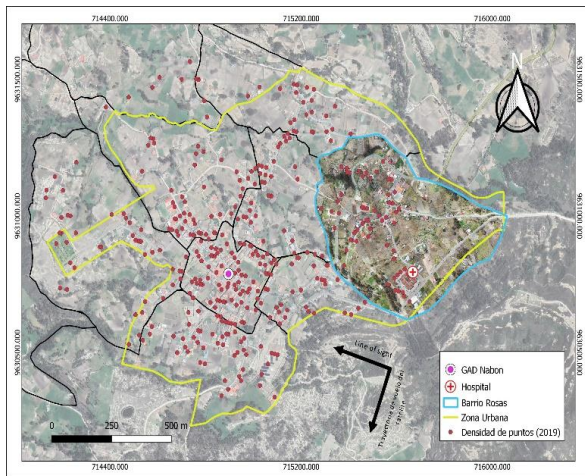


Figura 35. Densidad de puntos y velocidad De Deformación Por Año Ascendente

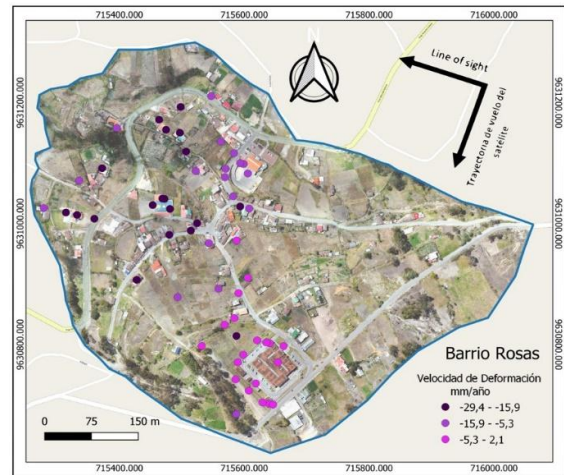
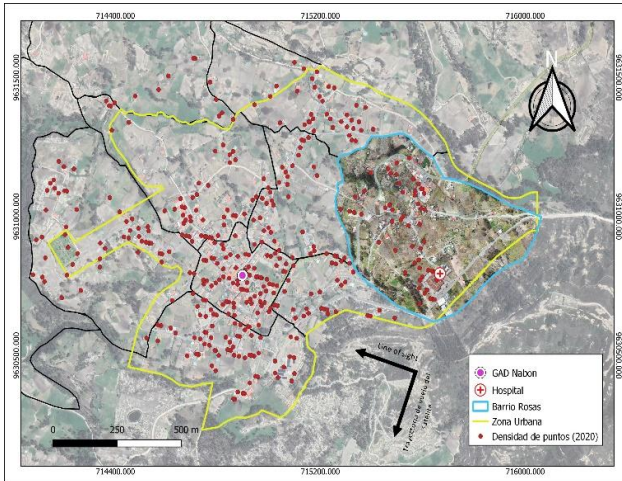
a) 2018



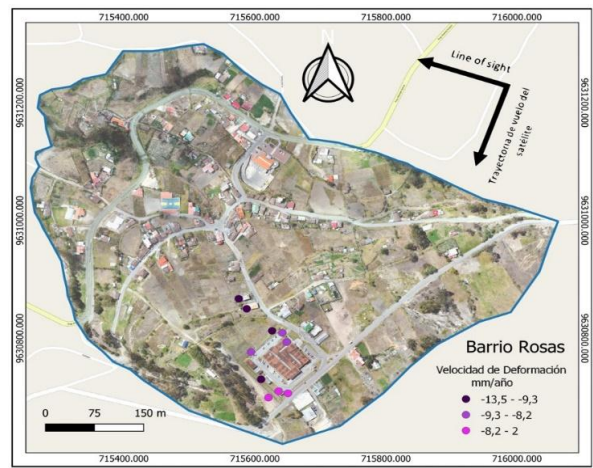
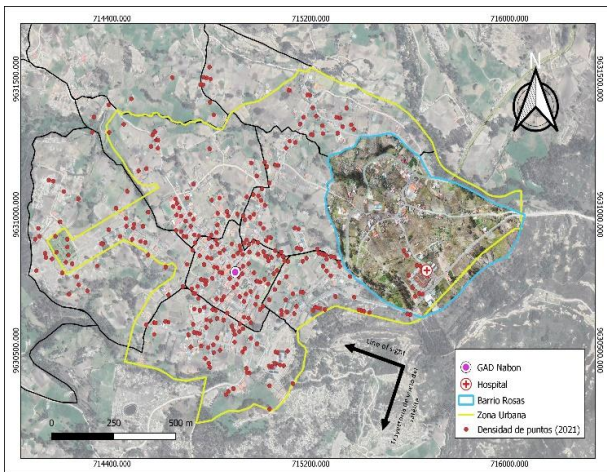
b) 2019



c) 2020



d) 2021



e) 2022

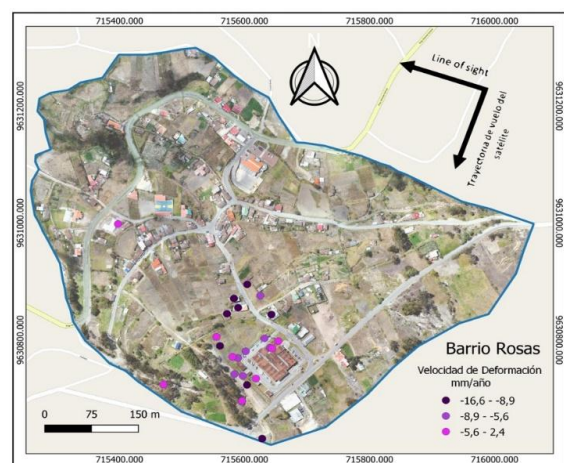
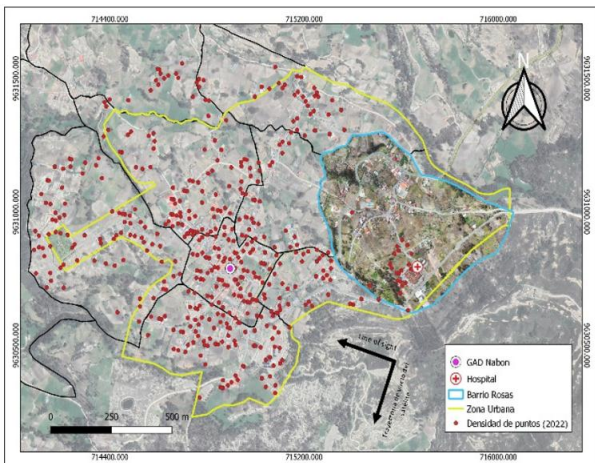


Figura 36. Densidad de puntos y velocidad De Deformación Por Año Descendente

Cabe mencionar que además de datos anuales de velocidad, PSI brinda datos de movimiento por píxel por cada par interferométrico, estos valores permitieron observar el comportamiento mensual de movimiento. A partir de la Figura 37 a la Figura 41 se presenta el comportamiento de deformación por año en órbita descendente y de la Figura 42 a 45 el mismo comportamiento en órbita ascendente, cabe recalcar que dicho comportamiento fue monitorizado empleando puntos de control los cuales se tomaron de zonas representativas del barrio, como lo son el centro de salud, la cancha deportiva y el terminal terrestre, cabe recalcar que en caso de 2021 en órbita ascendente al no encontrarse suficientes PS en el barrio este no presenta un comportamiento congruente por lo que no fue tomado en cuenta.



Figura 37. Seguimiento de Deformación 2018 Descendente

a) Ubicación de puntos de control b, c y d) Comportamiento por zona

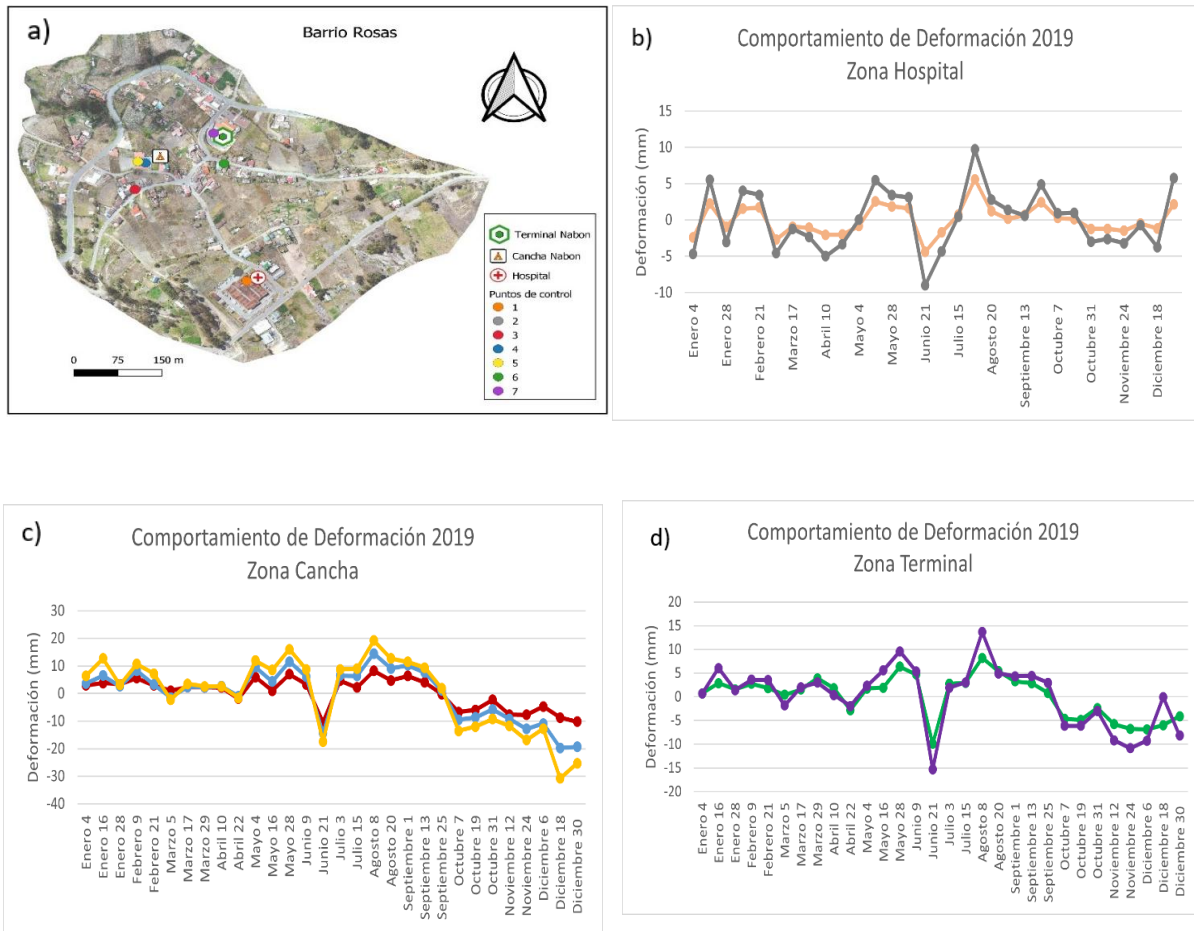
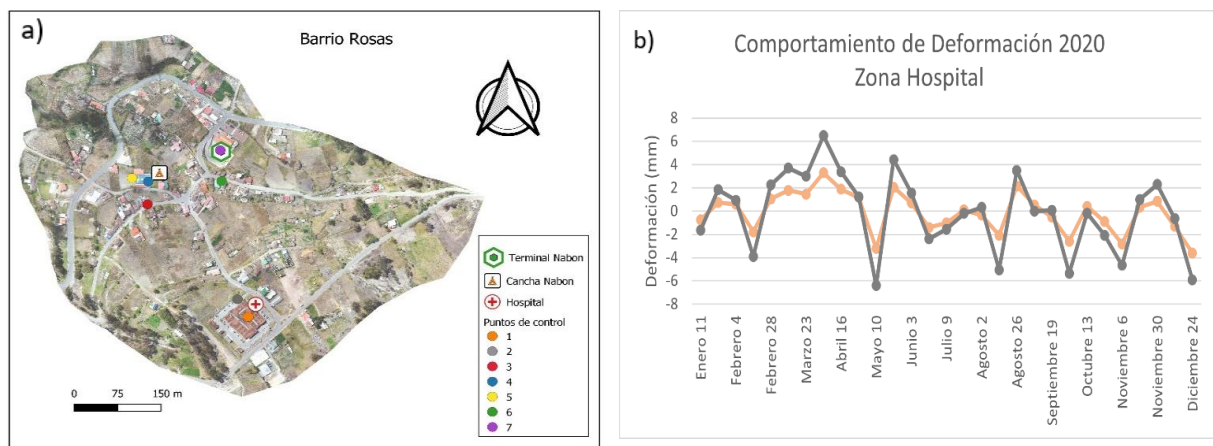


Figura 38. Seguimiento de Deformación 2019 Descendente

a) Ubicación de puntos de control b, c y d) Comportamiento por zona



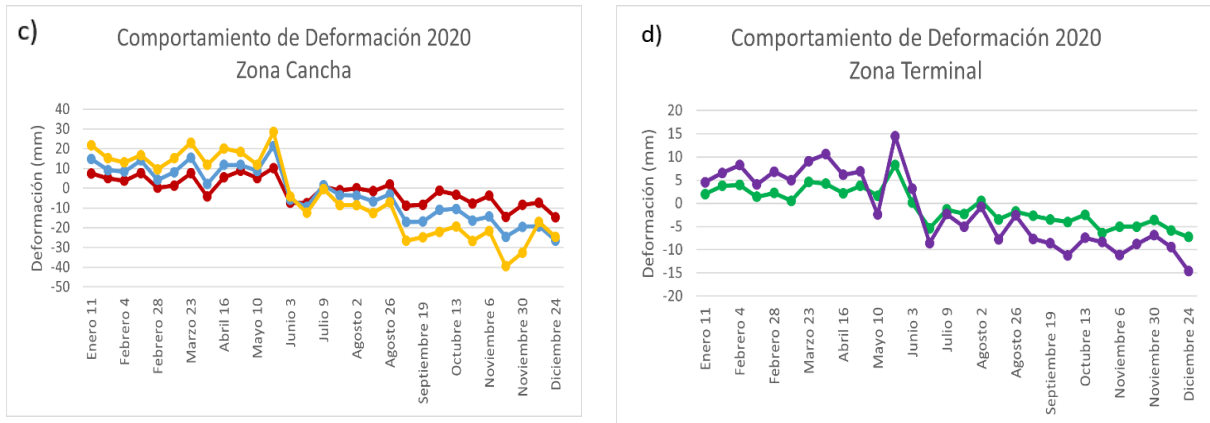


Figura 39. Seguimiento de Deformación 2020 Descendente

a) Ubicación de puntos de control b, c y d) Comportamiento por zona

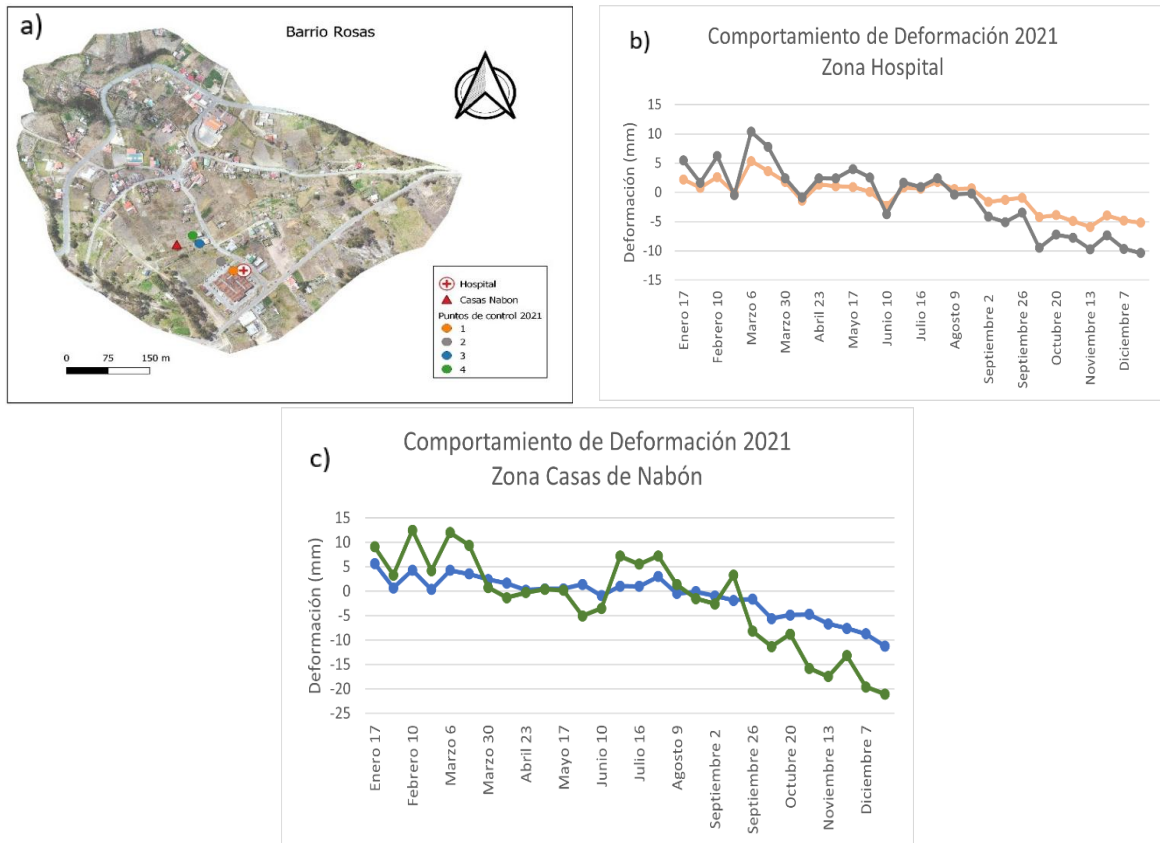


Figura 40. Seguimiento de Deformación 2021 Descendente

a) Ubicación de puntos de control b y c) Comportamiento por zona

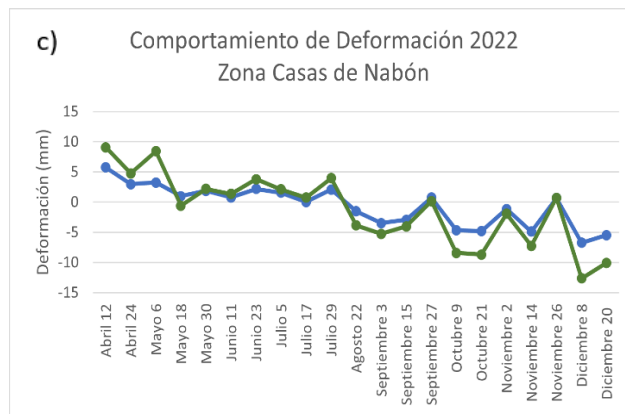
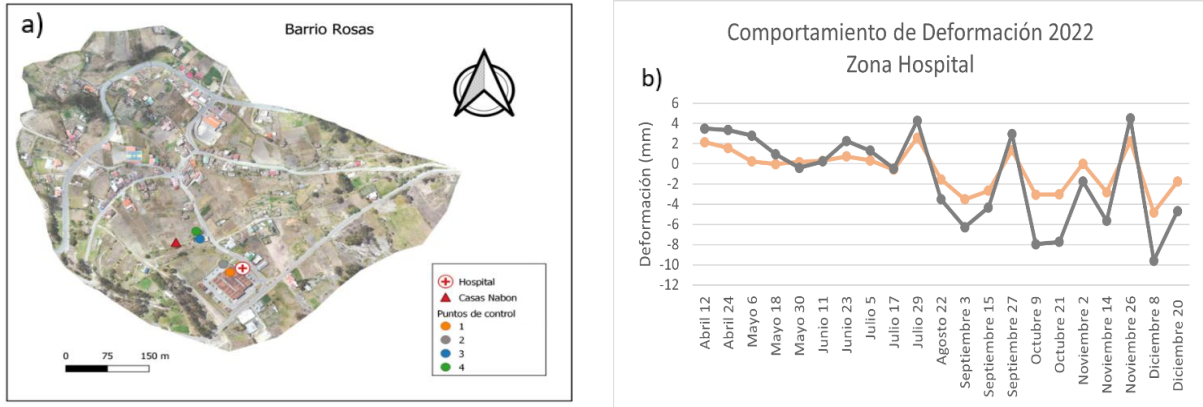
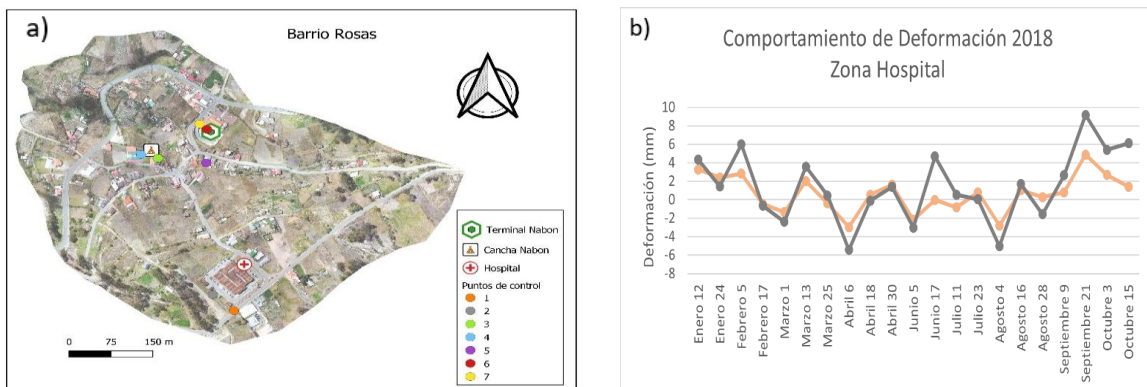


Figura 41. Seguimiento de Deformación 2022 Descendente

a) Ubicación de puntos de control b y c) Comportamiento por zona



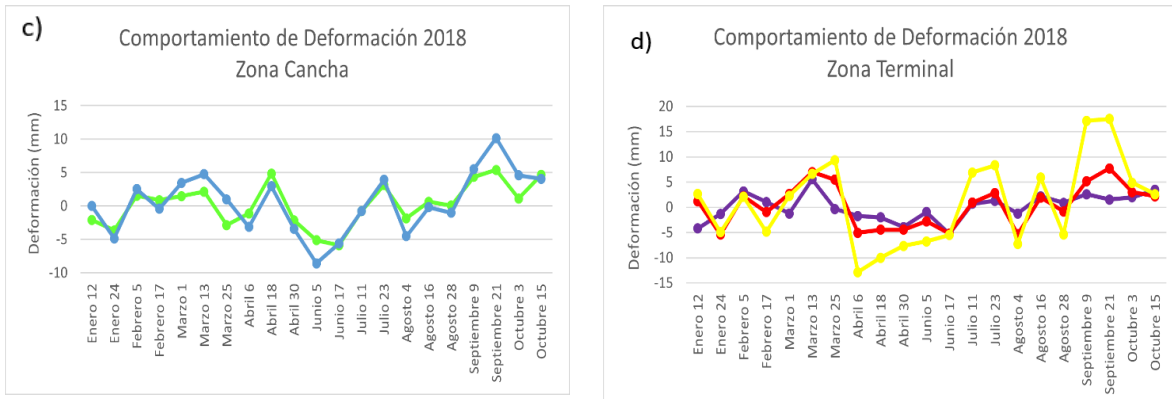


Figura 42. Seguimiento de Deformación 2018 Ascendente

a) Ubicación de puntos de control b, c y d) Comportamiento por zona



Figura 43. Seguimiento de Deformación 2019 Ascendente

a) Ubicación de puntos de control b, c y d) Comportamiento por zona

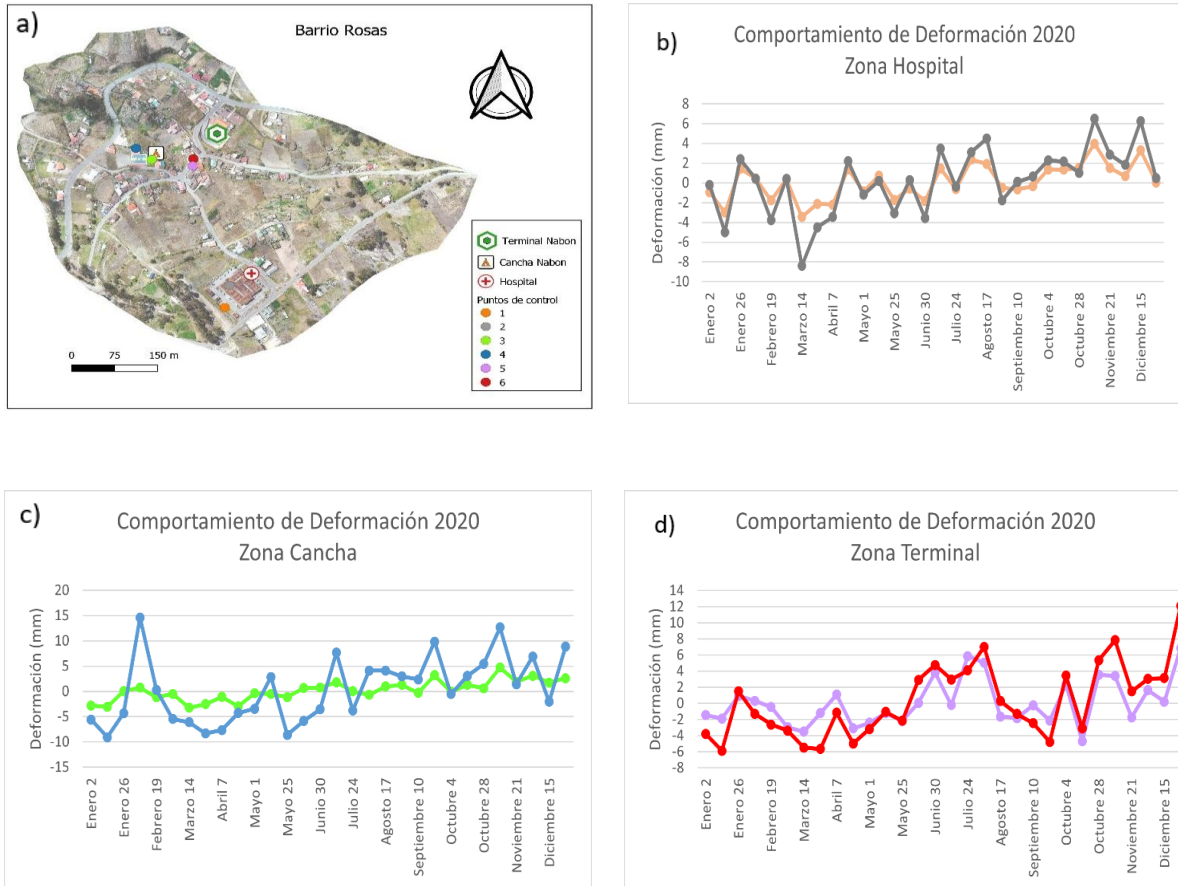


Figura 44. Seguimiento de Deformación 2020 Ascendente

a) Ubicación de puntos de control b, c y d) Comportamiento por zona

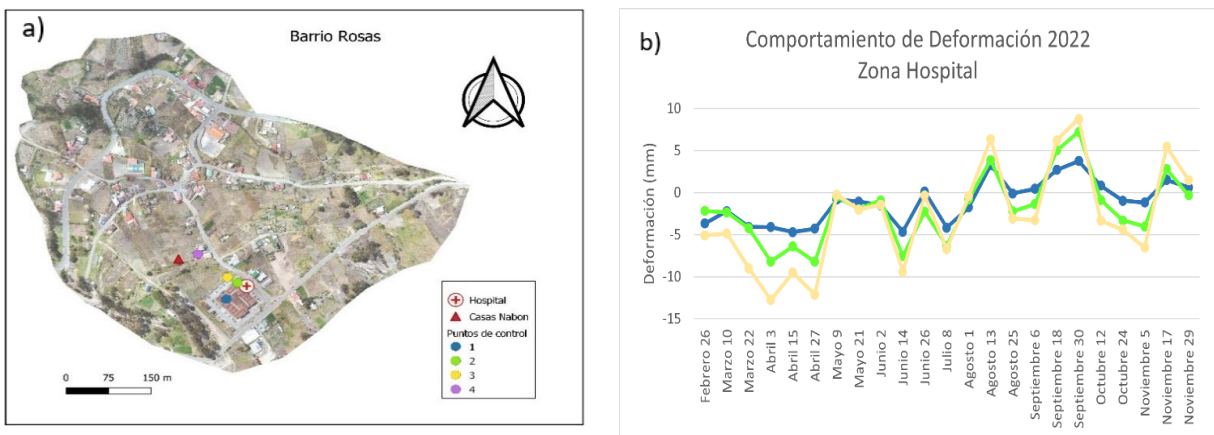




Figura 45. Seguimiento de Deformación 2022 Ascendente

a) Ubicación de puntos de control b, c y d) Comportamiento por zona

Como se menciona en párrafos anteriores, la órbita que mejor resultados genera fue la descendente, es por esto que se elaboró graficas de deformación promedio para todos los pixeles de esta orbita entre los años 2018 a 2020 presentes en la [Figura 46](#), en las mismas se puede ver una tendencia a alejarse de la dirección en LOS del sensor, lo que se traduce a una dirección noroeste, la misma dirección determinada empleando el método DInSAR.

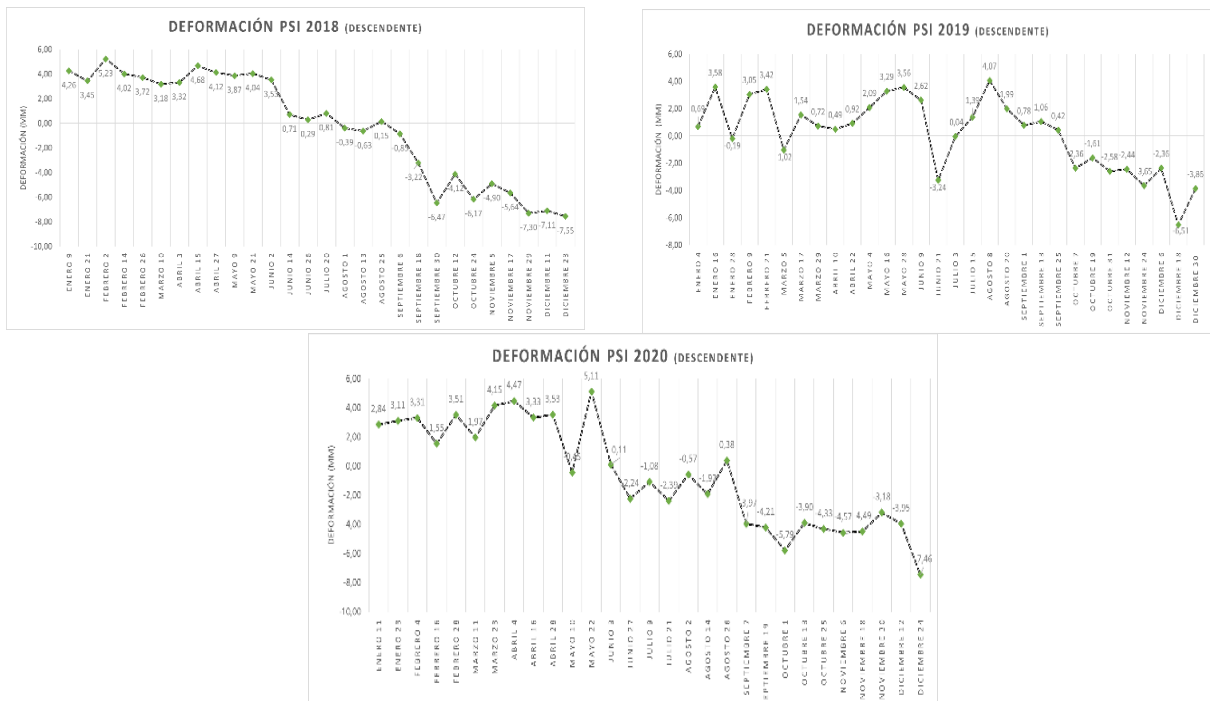


Figura 46. Comportamiento de Deformación promedio PSI/STAMPS

5.2.2 Seguimiento de pixel

Empleando el software R, los resultados de STAMPS pueden tener un seguimiento en el tiempo por pixel, tal como el que se presenta en la [Figura 47](#), este seguimiento es continuo, es decir el software permitió seleccionar el pixel a monitorear y generar automáticamente el grafico de comportamiento por año

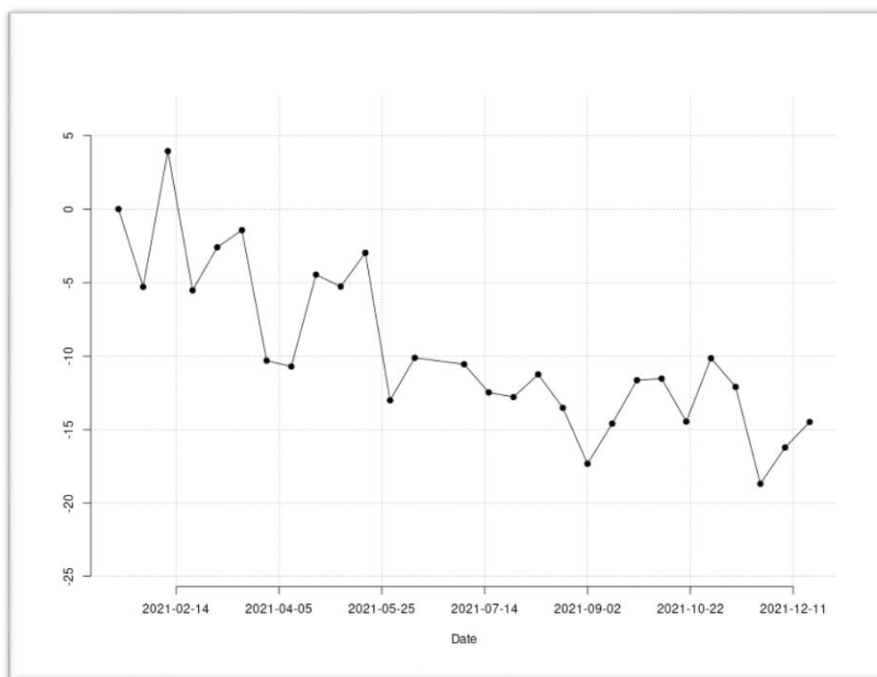


Figura 47. Seguimiento pixel-pixel con R

5.2.3 Correlación con Precipitación

Los datos de precipitación se obtuvieron de la base de datos del multi-satélite GPM_3IMERGHHL, en la sección de anexos se observa la interfaz y la cobertura de datos en Ecuador que posee esta misión. Luego de la adquisición de estos datos se procedió a calcular el coeficiente de correlación lineal de Pearson para dichos valores con los datos obtenidos de deformación acumulada con PSI. Se realizó la correlación para los años 2018 a 2020, excluyendo al año 2021 y 2022 debido a que no existe una cantidad suficiente de dispersores persistentes en la zona de deformación; esta correlación se logró mediante el software RStudio, para la órbita descendente, los gráficos de correlación se encuentran presentes en la sección anexos. El valor de correlación para el año 2018 y 2019 es negativo e inferior al valor óptimo de -0.5, esto indica una leve relación inversa entre precipitación y

deformación, en cuanto al año 2020 esta relación cambia convirtiéndose en positiva y al igual que en años anteriores su valor es inferior al recomendado como aceptable (0.5).

6. Discusión

El uso de técnicas DInSAR permite evaluar de una manera visual e intuitiva a fenómenos de deformación y desplazamiento en función de la línea de visión que posea la misión satelital (Yastika et al., 2019; Amighpey & Arabi, 2016), los valores obtenidos fueron del orden de centímetros siendo una herramienta útil para evaluar eventos lentos de deformación. Los resultados obtenidos son similares a los reportados por (Pradhan et al., 2022) el cual menciona que realizar pares interferométricos consecutivos entre master y slave permite obtener información de deformación acumulada que minimice a la decorrelación temporal. Esto es similar a lo mencionado por (Dai et al., 2016) quien reporta evaluaciones de deformación exitosas al emplear líneas base temporal bajas, este es un requisito importante al momento de emplear estos métodos, como se observó en la sección de resultados los valores del año 2018 fueron ligeramente mayores a los del año 2021, esto se debe a que al no existir una temporalidad de 12 días a lo largo del stack de imágenes se incrementa el riesgo de obtener resultados erróneos, otro error encontrado fue el retardo de fase atmosférica (relacionado a condiciones meteorológicas) y ciertas fallas en el modelo digital de elevación (MDE) (Cascini et al., 2010), es por esto que se empleó varios MDE, siendo SRTM el que mejores resultados generó y por lo cual fue usado para todos los stacks.

Como se observó en los mapas generados, a pesar de que la zona de interés se encuentra rodeada de vegetación y áreas verdes los resultados obtenidos concuerdan con la situación real que ocurre, esto es similar a lo reportado por (Barra et al., 2016) quien señala que, si bien en zonas con extensa vegetación existe una condición desfavorable, para la coherencia en áreas urbanas se puede obtener resultados favorables sobre deformaciones

Asimismo y tal como se mencionó anteriormente se llevó a cabo un estudio externo previo realizado por la consultora GEOPROJECT, sus resultados fueron de gran utilidad para determinar la efectividad de los resultados de este trabajo, ya que dicha consultora abordó la parte geológica de Nabón, esto permitió obtener datos sobre escarpes y dirección del movimiento, este último al ser comparado con los resultados de este trabajo concuerda en su totalidad; otro aspecto importante es que se observó la existencia de depósitos de agua infiltrada, fenómeno que incide en la generación de deslizamientos de amenaza muy alta.

En cuanto al uso de orbitas, se encontró que, debido a la ubicación de la zona de estudio los resultados obtenidos en la órbita descendente son adecuados para evaluar la dirección de deformación y subsidencia ya que se encuentra a favor de la pendiente, incrementando la

exactitud de los resultados, esto se pudo observar en el año 2021 el cual posee valores máximos de deformación vertical (subsistencia) de 25,6 cm. Cabe recalcar que para el año 2022 el valor máximo de deformación fue de 15,99 cm el cual es inferior al del 2021, esto pudo deberse mayormente a la falta de imágenes satelitales debido a un fallo en el satélite Sentinel, lo cual incrementó la decorrelación temporal. Los resultados obtenidos en descendente se asumieron como desplazamiento vertical, ya que depende de la longitud de onda de penetración del satélite como se demuestra en el trabajo de (Simmons & Wempen, 2021).

En cuanto a la órbita ascendente, si bien se encuentra en contra de la dirección de pendiente, esta órbita brindó una mejor visión del comportamiento del suceso, se reportaron valores de deformación acumulada de 20,32 cm en el año 2021 y 16,02 cm en el año 2022, aproximadas a los obtenidos en la órbita contraria. Teniendo en cuenta que la órbita ascendente en este trabajo tuvo una dirección contraria al escarpe y a la dirección de deformación real esto permitió determinar la presencia de un sollevamiento, lo cual fue evidenciado en campo; este punto es importante en el momento de evaluar deformaciones empleando técnicas interferométricas ya que los resultados dependen de la interpretabilidad que se den a los mismos, de esta manera se pudo determinar de una manera visual que valores positivos y negativos en (LOS) indican dirección.

Para reforzar la evaluación e interpretabilidad de los datos, se debe comparar los resultados obtenidos con datos reales, de acuerdo con lo reportado por (Calvo, 2018) empleando un GPS de alta precisión, evaluó el rendimiento de DInSAR en una minera, sus resultados mostraron que tanto los valores de la estación como los obtenidos por DInSAR se encuentran próximos, lamentablemente estas estaciones requieren una inversión económica, la misma que no se pudo efectuar en este trabajo.

Con respecto a PSI/STAMPS si bien se realizó el procesamiento de stack de imágenes entre las órbitas ascendente y descendente, se seleccionó la órbita descendente con el fin de obtener resultados más relevantes, esto se debe a como se mencionó anteriormente, dicha órbita se encuentra en dirección de la pendiente en la zona afectada, además de acuerdo a (Carstairs et al., 2022) zonas en contra de la pendiente generan resultados con pobre coherencia por lo cual se descartó la órbita ascendente. Como se observa en los resultados, el método PSI/STAMPS permitió obtener resultados más representativos sobre el evento de movimiento en el barrio Rosas, ya que se pudo dar un seguimiento por píxeles (dispersores) a lo largo del periodo de estudio. En la Figura 42 y 43 se observa que la cantidad de PS presentes en el barrio Rosas disminuyó considerablemente al pasar los años hasta llegar a 2022, esta disminución pudo deberse a varios factores, entre estos se encuentra el aspecto

de la pendiente, de acuerdo a (Cascini et al., 2010) cambios repentinos de pendiente entre adquisiciones afectan a los resultados deslizamiento, esto se debe a que la señal retrodispersada por la superficie depende del tipo de superficie, al existir un cambio brusco (debido a el evento de movimiento) en la superficie de captura entre dos imágenes se genera un interferograma con demasiado ruido (Yerro et al., 2014). Otro aspecto importante es la ubicación de la zona de interes, como mencionan (Cascini et al., 2009; Yerro et al., 2014) la coherencia entre los resultados de desplazamiento incrementa en zonas urbanas, esto debido a que poseen una mayor reflectividad que en áreas boscosas, esta situación es lo que ocurre en este trabajo, tal como se observa en los mapas obtenidos el barrio Rosas se encuentra rodeado por una gran cantidad de árboles y zonas de cultivo razón por la cual sus PS disminuyen gradualmente.

Con respecto a los valores de velocidad totales obtenidos, se observó un gradual incremento hasta alcanzar los valores obtenidos en 2022, no obstante se dio un caso especial entre los años 2018 y 2019 ya que se obtuvieron valores de velocidad superiores a los obtenidos en 2021, esta decorrelación pudo deberse a la falta de temporalidad entre las adquisiciones de dichos años, tal como menciona (Confuorto et al., 2021) los resultados de PS se encuentran relacionados con la distribución temporal entre sus adquisiciones, al no existir una diferencia de 12 a máximo 24 días entre ciertas imágenes, la temporalidad genera un incremento en el error en los resultados de velocidad.

Con respecto a la correlación con la variable pluvial, se buscó adquirir datos provenientes del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INHAMI), lamentablemente no existen estaciones funcionales cercanas a Nabón, es por esto que se adquirieron datos de precipitación provenientes de la misión GPM-IMERG-3, el cual brinda valores mensuales en mm/h, de acuerdo a (Delgado et al., 2022) esta misión es una alternativa para la adquisición de datos de atmosféricos en Ecuador, esto debido a los vacíos de información que genera el INHAMI; si bien esta misión puede subestimar o sobrestimar valores especialmente a lo largo de la cordillera de los andes, sus resultados son más confiables que otras misiones atmosféricas como por ejemplo TRMM (Misión de Medición de Lluvias Tropicales). Al correlacionar estos datos con los valores de deformación entre 2018 a 2020, tal como se observa en la figura 46, se determinó la existencia de una relación inversa leve entre estos valores, mientras que a partir de 2021 se invierte dicha relación, razón por la cual no se pudo definir a la precipitación como factor influyente en este trabajo ya que sus valores son inferiores al mínimo de 0.5 aceptable, asimismo de acuerdo al informe de (GEOPROJECT CONSULTORA, 2021) las posibles causas de este desplazamiento (deformación) son la infiltración de agua y debilitamiento del suelo mas no un evento de precipitación propiamente

dicho. Otra razón por la cual la correlación de precipitación es baja fue la densidad de píxeles que cubren el barrio Rosas, como se observó en la Figura 42 y 43 a medida que avanza el tiempo la cantidad de PS fue disminuyendo en la zona de deformación, esto provocó que no existan la cantidad adecuada de dispersores con los cuales se pueda llegar a evaluar el evento de forma aceptable.

7. Conclusiones

Las imágenes satelitales son herramientas importantes en varios campos debido a su facilidad de uso y con el tiempo puede llegar a ser una herramienta útil para estudios geológicos e investigativos, no obstante, varios países poseen misiones privadas y con acceso restringido, por lo tanto, misiones de acceso libre como lo es Sentinel-1 se convierten en misiones importantes para proyectos públicos de interés social.

La técnica DInSAR es extremadamente útil para evaluar y monitorizar deformaciones a gran y pequeña escala siempre y cuando la temporalidad entre imágenes satelitales sea la adecuada, esta es la razón por la cual entre el año 2019 a 2021 se obtuvo valores de deformación congruentes a la situación que se da en campo en órbita descendente para el barrio las Rosas, por otro lado para los años 2018 y 2022 no se observó esta congruencia, debido a la falta de cobertura y temporalidad de imágenes que toma el sensor Sentinel siendo este uno de los problemas más relevantes al usar datos de acceso libre.

En cuanto a la técnica PSI, esta se encuentra enfocada a zonas urbanas con mucha reflectividad, en otras palabras la presencia de extensas áreas verdes incide en los valores de coherencia, esta es una de las razones por la cual en los resultados obtenidos la cantidad de dispersores persistentes disminuye con el tiempo, otro inconveniente fue la resolución de la imagen satelital lo cual incide directamente en la cantidad de información que se obtiene del sensor, este hecho fue evidenciado en los años 2021 y 2022; a pesar de esto esta técnica resultó útil para dar seguimiento de deformación por píxeles.

Mediante las técnicas interferométricas se determinó que el inicio de la deformación sufrida en el barrio fue en el mes de marzo del año 2021, el método DiNSAR tuvo éxito al detectar la deformación sufrida, no obstante, también logró captar otras deformaciones adyacentes lo cual es fundamental para la planificación territorial, en cuanto al método PSI este subestimó los valores de velocidad en la zona dado que no se encuentra una densidad de puntos importantes.

Los resultados obtenidos en este trabajo de titulación demuestran la utilidad y versatilidad de las técnicas interferométricas al usar más de una técnica de evaluación de deformación, el

emplear DInSAR en conjunto con PSI permite cubrir las limitaciones de cada técnica, lo cual permite ampliar la interpretabilidad de los resultados.

Estas técnicas emplean tecnologías que, si bien no son nuevas, la accesibilidad a herramientas tecnológicas adecuadas es limitada debido a la necesidad de almacenar una gran cantidad de datos y procesarlos, es por esto que la mayor parte de este trabajo se enfocó en obtener resultados relevantes sin requerir al acceso de equipos de alta gama, los cuales poseen precios elevados.

8. Recomendaciones

La falta de temporalidad entre imágenes fue uno de los problemas más importantes en este trabajo de titulación por lo tanto es un factor para considerar ya que en caso de replicar lo realizado se debe verificar el cumplimiento la temporalidad para elaborar una serie de tiempo de deformación.

Los resultados obtenidos al procesar imágenes satelitales deben ser evaluados con datos de estaciones de campo, no obstante, no existe una estación GNSS en la zona de estudio, es por esto que en caso de desear realizar un seguimiento para años posteriores es necesario implementar dicha estación, además como se menciona no existe actualmente una estación meteorológica funcional en Nabón lo cual es necesario en caso de realizar un seguimiento continuo a esta variable. Otro aspecto importante es la resolución de imagen, en caso de requerir una mejor resolución en los resultados, se debe adquirir imágenes radar de acceso restringido, las cuales tienen un costo considerable por ejemplo el de la misión ALOS-3 y TERRASAR-X.

El método PSI es altamente demandante en cuanto a recursos computacionales, para evaluar stacks de datos mayores a 30 imágenes se recomienda adquirir una computadora con especificaciones superiores a las usadas en este trabajo, o en su defecto solicitar el uso de servidores externos que posean interfaz gráfica.

9. Referencias

Acevo, R. (2011). Sistemas de teledetección activos y pasivos embarcados en sistemas aéreos no tripulados para la monitorización de la tierra [Ph.D. Thesis, Universitat Politècnica de Catalunya]. En TDX (Tesis Doctorals en Xarxa). <http://www.tdx.cat/handle/10803/22669>

Bakker, W. H., Janssen, L. L. F., Reeves, C. V., Gorte, B. G., Pohl, C., Weir, M. J. C., Horn, J. A., Prakash, A., & Woldai, T. (2001). Principles of remote sensing: An introductory textbook (L. L. F. Janssen & G. C. Huurneman, Eds.; 2nd ed). International Institute for Aerospace Survey and Earth Sciences.

Barra, A., Monserrat, O., Mazzanti, P., Esposito, C., Crosetto, M., & Scarascia Mugnozza, G. (2016). First insights on the potential of Sentinel-1 for landslides detection. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 7(6), 1874-1883. <https://doi.org/10.1080/19475705.2016.1171258>

Braun, A. (2019). Radar satellite imagery for humanitarian response. Bridging the gap between technology and application [Dissertation, Universität Tübingen]. <https://doi.org/10.15496/publikation-32698>

Braun, A. (2021). Retrieval of digital elevation models from Sentinel-1 radar data—Open applications, techniques, and limitations. *Open Geosciences*, 13, 532-569. <https://doi.org/10.1515/geo-2020-0246>

Braun, A., & Veci, L. (2021). TOPS Interferometry Tutorial. SKYWATCH. https://step.esa.int/docs/tutorials/S1TBX%20TOPSAR%20Interferometry%20with%20Sentinel-1%20Tutorial_v2.pdf

Braun, A., Hoerer, T., & Delgado Blasco, J. M. (2020). Elevation change of Bhasan Char measured by persistent scatterer interferometry using Sentinel-1 data in a humanitarian context. *European Journal of Remote Sensing*, 54, 109-126. <https://doi.org/10.1080/22797254.2020.1789507>

Carstairs, H., Mitchard, E. T. A., McNicol, I., Aquino, C., Burt, A., Ebanega, M. O., Dikongo, A. M., Bueso-Bello, J.-L., & Disney, M. (2022). An Effective Method for InSAR Mapping of Tropical Forest Degradation in Hilly Areas. *Remote Sensing*, 14(3), Art. 3. <https://doi.org/10.3390/rs14030452>

Carter, A. (2012, febrero 28). Learn About the AC Phase Difference. EEWeb. <https://www.eeweb.com/learn-about-the-ac-phase-difference/>

Cascini, L., Fornaro, G., & Peduto, D. (2009). Analysis at medium scale of low-resolution DInSAR data in slow-moving landslide-affected areas. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 64(6), 598-611. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2009.05.003>

Cascini, L., Fornaro, G., & Peduto, D. (2010). Advanced low- and full-resolution DInSAR map generation for slow-moving landslide analysis at different scales. *Engineering Geology*, 112(1), 29-42. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2010.01.003>

Comisión Europea, & Ministerio de Transportes, Movilidad y AGENDA URBANA de España. (2019). El componente espacio Copernicus. ESA. https://www.ign.es/web/resources/docs/IGNCnig/actividades/OBS/Programa_Marco_Copernicus_User_Uptake/3_componente_espacio_Copernicus.pdf

Comisión Europea, & Ministerio de Transportes, Movilidad y AGENDA URBANA de España. (2020). Fundamentos de teledetección radar. ESA. https://www.ign.es/web/resources/docs/IGNCnig/actividades/OBS/Programa_Marco_Copernicus_User_Uptake/5_Fundamentos_de_teledeteccion_radar.pdf

Confuorto, P., Del Soldato, M., Solari, L., Festa, D., Bianchini, S., Raspini, F., & Casagli, N. (2021). Sentinel-1-based monitoring services at regional scale in Italy: State of the art and main findings. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 102, 102448. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2021.102448>

Dai, K., Li, Z., Tomás, R., Liu, G., Yu, B., Wang, X., Cheng, H., Chen, J., & Stockamp, J. (2016). Monitoring activity at the Daguangbao mega-landslide (China) using Sentinel-1 TOPS time series interferometry. *Remote Sensing of Environment*, 186, 501-513. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2016.09.009>

Delgado, D., Sadaoui, M., Ludwig, W., & Méndez, W. (2022). Spatio-temporal assessment of rainfall erosivity in Ecuador based on RUSLE using satellite-based high frequency GPM-IMERG precipitation data. *CATENA*, 219, 106597. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2022.106597>

ESA. (2009, agosto 29). Synthetic Aperture Radar and SARscape [Webinar]. <https://www.sarmap.ch/pdf/SAR-Guidebook.pdf>

ESA. (2013a). ASAR Product Handbook. European Space Agency. <https://earth.esa.int/eogateway/documents/20142/37627/ASAR-Product-Handbook.pdf>

ESA. (2013b, septiembre 5). TOPSAR Processing [Gubernamental]. Sentinel Online.

European Spatial Agency. (2015, diciembre 18). SAR Instrument. Gubernamental. <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/technical-guides/sentinel-1-sar/sar-instrument>

ESA. (2013c, septiembre 5). User Guides—Sentinel-1 SAR -. <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/user-guides/sentinel-1-sar>

Fernández Oliveras, P. (2009). Determinación de movimientos verticales del terreno mediante técnicas de interferometría radar DINSAR [Http://purl.org/dc/dcmitype/Text, Universidad de Granada]. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=69566>

Ferretti, A., Monti-Guarnieri, A., Prati, C., Rocca, F., & Massonet, D. (2007). InSAR Principles—Guidelines for SAR Interferometry Processing and Interpretation. ESA Training Manual, 19.

Ferretti, A., Prati, C., & Rocca, F. (2001). Permanent scatterers in SAR interferometry. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 39(1), 8-20. <https://doi.org/10.1109/36.898661>

Filipponi, F. (2019). Sentinel-1 GRD Preprocessing Workflow. Proceedings, 18(1), 11. <https://doi.org/10.3390/ecrs-3-06201>

García Lebière, E. (2012). Simulación de un radar de alta resolución (SAR) multicanal [Grado, Universidad Politécnica de Cataluña]. <https://upcommons.upc.edu/handle/2099.1/16785>

GEOPROJECT CONSULTORA. (2021). ESTUDIOS GEOLÓGICOS GEOTÉCNICOS PARA DETERMINAR MEDIDAS DE MITIGACIÓN A LOS MOVIMIENTOS DE MASAS (SUELO) DE LOS BARRIOS: ROSAS, BELLAVISTA, TAMBOLOMA DEL CANTÓN NABON, PROVINCIA DEL AZUAY (Técnico N.o 1; p. 70). Consultora Geoproject.

Gomez-Palacios, D. (2019). Aplicación de la interferometría SAR satelital para la detección y monitoreo de los deslizamientos en la carretera escénica Tijuana-Ensenada, BC [Maestría, Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja California]. <http://cicese.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1007/2801>

Gómez, R. (2020). Interferometría de imágenes radar de apertura sintética (DINSAR) aplicada al análisis del desplazamiento del terreno producido tras un terremoto [Universidad de Salamanca]. <https://gredos.usal.es/handle/10366/143963>

González Calvo, L. (2018). Seguimiento y control cuantitativo del desplazamiento del terreno en una zona de la explotación minera. UNIVERSIDAD DE SALAMANCA.

Guzman-Acevedo, G. M., Quintana-Rodriguez, J. A., Gasca-Zamora, H. M., Carrion-Viramontes, F. J., Martinez-Trujano, L. A., Hernandez-Figueroa, J. A., Hernandez-Guzman, A., Valenzuela-Delgado, J. I., & Anaya-Diaz, M. (2020). ANALISIS DEL POTENCIAL DE TECNOLOGIA SATELITAL INSAR PARA EL MONITOREO DE LA INFRAESTRUCTURA CARRETERA. PUBLICACION TECNICA, 593. <https://trid.trb.org/view/1753212>

Grunfeld Brook, N. (2017, mayo 15). Introducción a interferometría SAR - generación de DEM [Webinar].

<https://appliedsciences.nasa.gov/sites/default/files/SAR%20Desastres%20Parte%203.pdf>

Hervés Blanco, M. (2019). Detección de aprovechamientos forestales mediante imágenes multitemporales del satélite Sentinel-1 [Maestría, Universidad Pública de Navarra]. <https://academica-e.unavarra.es/xmlui/handle/2454/35104>

Hongdong, F., Deng, K., Ju, C., Zhu, C., & Xue, J. (2011). Land subsidence monitoring by D-InSAR technique. *Mining Science and Technology (China)*, 21, 869-872. <https://doi.org/10.1016/j.mstc.2011.05.030>

Hooper, A., Segall, P., & Zebker, H. A. (2007). Persistent scatterer InSAR for crustal deformation analysis, with application to Volcán Alcedo, Galápagos. *Journal of Geophysical Research*, 112. <https://doi.org/10.1029/2006JB004763>

Hooper, A., Zebker, H., Segall, P., & Kampes, B. (2004). A new method for measuring deformation on volcanoes and other natural terrains using InSAR persistent scatterers. *Geophysical Research Letters*, 31(23). <https://doi.org/10.1029/2004GL021737>

Lanari, R., Casu, F., Manzo, M., Zeni, G., Berardino, P., Manunta, M., & Pepe, A. (2007). An Overview of the Small BAseline Subset Algorithm: A DInSAR Technique for Surface Deformation Analysis. *Pure and Applied Geophysics*, 164(4), 637-661. <https://doi.org/10.1007/s00024-007-0192-9>

Marcello-Ruiz, F. (2016). Procesado de datos SAR del satélite Sentinel-1 para el estudio de zonas costeras. [Grado, Universidad De Las Palmas De Gran Canaria]. <https://accedacris.ulpgc.es/jspui/handle/10553/92185>

Marchionni, D., & Cavayas, F. (2014). La teledetección por radar como fuente de información litológica y estructural: Análisis espacial de imágenes SAR de RADARSAT-1. *Geoacta*, 39(1), 62-89.

Marsilli, D. (2021). Modelos digitales de elevación a partir de imágenes de radar en bandas L, C y X [Grado, Universidad de Buenos Aires]. https://campus.fi.uba.ar/pluginfile.php/268404/mod_page/content/56/Tesis%20-%20Damian%20Marsilli.pdf

Mayorga Torres, M. (2013). Determinación de la deformación del terreno por movimientos en masa usando interferometría SAR (Radar de Apertura Sintética) [MasterThesis]. <https://rdu.unc.edu.ar/handle/11086/11534>

Mondini, A. C., Guzzetti, F., Chang, K.-T., Monserrat, O., Martha, T. R., & Manconi, A. (2021). Landslide failures detection and mapping using Synthetic Aperture Radar: Past, present and future. *Earth-Science Reviews*, 216, 103574. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2021.103574>

Montaño, D. Y., & Orozco, Y. (2018). Estudios preliminares interferométricos en el departamento de la Guajira para actualización cartográfica [MONOGRAFÍA, Universidad Distrital Francisco José De Caldas]. <http://repository.udistrital.edu.co/handle/11349/13766>

Montazeri, S., Rodríguez, F., & Zhu, X. X. (2018). Geocoding Error Correction for InSAR Point Clouds. *Remote Sensing*, 10(10), 1523. <https://doi.org/10.3390/rs10101523>

Mora, O., Aragüés, F. P., Pipia, L., Marchán, J. F., Marturià, J., Corbera, J., & Tardà, A. (2016). Análisis de subsidencia en el Delta del Ebro mediante el uso de imágenes SENTINEL-1A/B: Resultados preliminares y lecciones aprendidas. *banda C*, 3–6.

Nagler, T., Rott, H., Hetzenecker, M., Wuite, J., & Potin, P. (2015). The Sentinel-1 mission: New opportunities for ice sheet observations. *Remote Sensing*, 7(7), 9371–9389. <https://doi.org/10.3390/rs70709371>

Ormeño, S. (1999). Teledetección fundamental (Universidad Politécnica de Madrid. Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Topográfica (ed.); Tercera). Universidad Politécnica, Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Topográfica. <https://books.google.com.ec/books?id=QI-HxwEACAAJ>

Paniagua-Jiménez, D., Valverde-Calderón, J., Molina-Calderón, P., Barrantes-Castillo, G., Paniagua-Jiménez, D., Valverde-Calderón, J., Molina-Calderón, P., & Barrantes-Castillo, G. (2021). Aplicación del método Persistent Scatterer Interferometry (PSI) en la ciudad de Limón, Costa Rica. *Revista Geográfica de América Central*, 67, 1-29. <https://doi.org/10.15359/rgac.67-2.1>

Panozzo, M. (2013). Focalización de imágenes SAR utilizando el algoritmo Omega-K. Simulación y Validación [Grado, Universidad Nacional de Córdoba]. <https://www.famaf.unc.edu.ar/documents/1322/15-Gulich-PanozzoZenere.pdf>

Pérez, C., & Muñoz, A. (2006). Teledetección: Nociones y Aplicaciones (Primera). Universidad de Salamanca. <https://books.google.com.ec/books?id=SfrGxbO1DT0C&printsec=frontcover#v=onepage&q&f=false>

Podest, E. (2017, abril 24). Conceptos Básicos del Radar de Apertura Sintética.

Pradhan, R. K., Markonis, Y., Vargas Godoy, M. R., Villalba-Pradas, A., Andreadis, K. M., Nikolopoulos, E. I., Papalexiou, S. M., Rahim, A., Tapiador, F. J., & Hanel, M. (2022). Review of GPM IMERG performance: A global perspective. *Remote Sensing of Environment*, 268, 112754. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2021.112754>

Royo, R. (2015). Reflejos en termografía infrarroja. Nuevo método para la estimación de la emisividad de superficies con acabado especular. IX Congreso Nacional de Ingeniería Termodinámica: libro de actas : 3 al 5 de junio 2015 Cartagena, 2015, ISBN 978-84-606-8931-7, págs. 657-664, 657-664. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8085908>

Serrano, D. (2011). Medición de Topografía de Superficies Difusas y Especulares por Técnicas de Proyección y Reflexión de Franjas. CONACYT.

Sillerico, E., Marchamalo, M., Rejas, J. G., & Martínez, R. (2010). La técnica DInSAR: Bases y aplicación a la medición de subsidencias del terreno en la construcción. *Informes de La Construcción*, 62(519), 47–53. <https://doi.org/10.3989/ic.09.063>

Simmons, B. S., & Wempen, J. M. (2021). Quantifying relationships between subsidence and longwall face advance using DInSAR. *International Journal of Mining Science and Technology*, 31(1), 91-94. <https://doi.org/10.1016/j.ijmst.2020.12.021>

Téllez, A. L., & Ortega, G. J. (2021). Usos y aplicaciones de la teledetección para monitorización agrícola en Nicaragua con tres estudios de casos [Grado, UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA]. <https://repositorio.una.edu.ni/4403/1/tnn20t275.pdf>

Tocasuche Castro, N. del P., & Peñaloza Molina, L. K. (2018). Detección y análisis de desplazamientos utilizando interferometría diferencial (D-InSAR) entre los años 2015 y 2017 en las provincias Norte y valderrama del departamento de Boyacá. In Facultad de ingeniería.

Torres, R., Snoeij, P., Geudtner, D., Bibby, D., Davidson, M., Attema, E., Potin, P., Rommen, B. Ö., Floury, N., Brown, M., Traver, I. N., Deghaye, P., Duesmann, B., Rosich, B., Miranda, N., Bruno, C., L'Abbate, M., Croci, R., Pietropaolo, A., ... Rostan, F. (2012). GMES Sentinel-1 mission. *Remote Sensing of Environment*, 120, 9–24. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2011.05.028>

Vasquez Prieto, L. P. (2019). Diseño de una metodología de clasificación de cobertura de manglar empleando imágenes SAR polarimétricas [Maestría, Universidad Católica de Manizales]. <https://repositorio.ucm.edu.co/jspui/handle/10839/2511>

Yastika, P. E., Shimizu, N., & Abidin, H. Z. (2019). Monitoring of long-term land subsidence from 2003 to 2017 in coastal area of Semarang, Indonesia by SBAS DInSAR analyses using Envisat-ASAR, ALOS-PALSAR, and Sentinel-1A SAR data. *Advances in Space Research*, 63(5), 1719-1736. <https://doi.org/10.1016/j.asr.2018.11.008>

Yerro, A., Corominas, J., Monells, D., & Mallorquí, J. J. (2014). Analysis of the evolution of ground movements in a low densely urban area by means of DInSAR technique. *Engineering Geology*, 170, 52-65. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2013.12.002>

Zozaya, A. (2015). Simulador básico de un radar de apertura sintética. Instituto Espacial Ecuatoriano. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.3951.3448>

Zozaya, A., Carrera, F., & Bolaños, R. (2017). Radar imaging basics. *Revista INGENIERÍA UC*, 24(1), 73-80.

10. Anexos

Anexo A Geodatabase de Archivos

Se generó una base de datos con identificación única para cada imagen TOP-SAR, anclados a la fuente de descarga Alaska Search Facility, se tiene un historial de 277 imágenes de órbita ascendente y descendente de los satélites A-B de la misión Copernicus que fueron utilizados para este estudio.

Año de adquisición 2022 Órbita Ascendente



https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SA/S1A_IW_SLC_1SDV_20221223T233655_2022123T233723_046465_05912D_2DF9.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SA/S1A_IW_SLC_1SDV_20221211T233656_20221211T233723_046290_058B32_D974.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SA/S1A_IW_SLC_1SDV_20221129T233656_20221129T233724_046115_05853B_9C77.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SA/S1A_IW_SLC_1SDV_20221117T233656_20221117T233724_045940_057F48_0077.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SA/S1A_IW_SLC_1SDV_20221105T233657_20221105T233725_045765_057963_B60E.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SA/S1A_IW_SLC_1SDV_20221024T233657_20221024T233725_045590_057379_FB20.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SA/S1A_IW_SLC_1SDV_20221012T233657_20221012T233725_045415_056E4F_2E46.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SA/S1A_IW_SLC_1SDV_20220930T233657_20220930T233725_045240_056868_DF40.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SA/S1A_IW_SLC_1SDV_20220918T233656_20220918T233724_045065_05628C_8C90.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SA/S1A_IW_SLC_1SDV_20220906T233657_20220906T233724_044890_055CAE_A3D6.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SA/S1A_IW_SLC_1SDV_20220825T233656_20220825T233724_044715_0556BF_33F3.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SA/S1A_IW_SLC_1SDV_20220813T233655_20220813T233723_044540_0550DA_AF7F.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SA/S1A_IW_SLC_1SDV_20220801T233655_20220801T233722_044365_054B6E_885A.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SA/S1A_IW_SLC_1SDV_20220720T233654_20220720T233722_044190_054649_0831.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SA/S1A_IW_SLC_1SDV_20220708T233653_20220708T233721_044015_054105_D8AD.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SA/S1A_IW_SLC_1SDV_20220626T233652_20220626T233720_043840_053BD7_FCC6.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SA/S1A_IW_SLC_1SDV_20220614T233651_20220614T233718_043665_053696_D308.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SA/S1A_IW_SLC_1SDV_20220602T233651_20220602T233719_043490_05315C_316F.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SA/S1A_IW_SLC_1SDV_20220521T233650_20220521T233718_043315_052C35_5A67.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SA/S1A_IW_SLC_1SDV_20220509T233649_20220509T233717_043140_052700_2EF9.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SA/S1A_IW_SLC_1SDV_20220427T233648_20220427T233716_042965_05212B_B6E8.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SA/S1A_IW_SLC_1SDV_20220415T233648_20220415T233716_042790_051B70_F8CB.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SA/S1A_IW_SLC_1SDV_20220403T233647_20220403T233715_042615_05158A_73DE.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SA/S1A_IW_SLC_1SDV_20220322T233647_20220322T233715_042440_050F97_520F.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SA/S1A_IW_SLC_1SDV_20220310T233647_20220310T233715_042265_0509A0_D3D3.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SA/S1A_IW_SLC_1SDV_20220226T233647_20220226T233715_042090_0503B3_2AC6.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SA/S1A_IW_SLC_1SDV_20220121T233652_20220121T233722_041565_04F197_5179.zip

Año de adquisición 2022 Órbita Descendente



https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SA/S1A_IW_SLC_1SDV_20220319T105331_20220319T105404_042389_050DD3_AA0A.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SA/S1A_IW_SLC_1SDV_20220331T105331_20220331T105358_042564_0513C4_B1E7.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SA/S1A_IW_SLC_1SDV_20221220T105339_20221220T105406_046414_058F67_679D.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SA/S1A_IW_SLC_1SDV_20221208T105340_20221208T105407_046239_05896C_09F2.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SA/S1A_IW_SLC_1SDV_20221126T105340_20221126T105407_046064_058370_98D1.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SA/S1A_IW_SLC_1SDV_20221114T105340_20221114T105407_045889_057D89_EDF1.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SA/S1A_IW_SLC_1SDV_20221102T105340_20221102T105407_045714_05779C_3F76.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SA/S1A_IW_SLC_1SDV_20221021T105341_20221021T105408_045539_0571B2_6E57.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SA/S1A_IW_SLC_1SDV_20221009T105341_20221009T105408_045364_056C85_712B.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SA/S1A_IW_SLC_1SDV_20220927T105341_20220927T105408_045189_0566AB_C040.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SA/S1A_IW_SLC_1SDV_20220915T105340_20220915T105407_045014_0560C5_4B9E.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SA/S1A_IW_SLC_1SDV_20220903T105340_20220903T105407_044839_055AE6_3954.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SA/S1A_IW_SLC_1SDV_20220822T105339_20220822T105406_044664_0554FD_7250.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SA/S1A_IW_SLC_1SDV_20220810T105339_20220810T105406_044489_054F1C_381A.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SA/S1A_IW_SLC_1SDV_20220729T105338_20220729T105405_044314_0549E3_8062.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SA/S1A_IW_SLC_1SDV_20220717T105337_20220717T105404_044139_0544BD_120F.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SA/S1A_IW_SLC_1SDV_20220705T105337_20220705T105403_043964_053F7D_035A.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SA/S1A_IW_SLC_1SDV_20220623T105336_20220623T105403_043789_053A49_9874.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SA/S1A_IW_SLC_1SDV_20220611T105335_20220611T105402_043614_05350B_AEF2.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SA/S1A_IW_SLC_1SDV_20220530T105334_20220530T105401_043439_052FDF_08C6.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SA/S1A_IW_SLC_1SDV_20220518T105333_20220518T105400_043264_052AB3_153F.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SA/S1A_IW_SLC_1SDV_20220506T105332_20220506T105359_043089_05253D_9F90.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SA/S1A_IW_SLC_1SDV_20220424T105332_20220424T105359_042914_051F76_6D06.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SA/S1A_IW_SLC_1SDV_20220412T105331_20220412T105358_042739_0519A4_DE0A.zip

Año de adquisición 2021 Órbita ascendente



https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SB/S1B_IW_SLC_1SDV_20211222T233554_20211222T233621_030144_03997B_D9FA.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SB/S1B_IW_SLC_1SDV_20211210T233555_20211210T233622_029969_0393EC_DA23.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SB/S1B_IW_SLC_1SDV_20211128T233555_20211128T233622_029794_038E69_66CF.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SB/S1B_IW_SLC_1SDV_20211116T233556_20211116T233623_029619_0388E6_E389.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SB/S1B_IW_SLC_1SDV_20211104T233556_20211104T233623_029444_03838B_231C.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SB/S1B_IW_SLC_1SDV_20211023T233556_20211023T233623_029269_037E30_EE77.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SB/S1B_IW_SLC_1SDV_20211011T233556_20211011T233623_029094_0378C3_2378.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SB/S1B_IW_SLC_1SDV_20210929T233556_20210929T233623_028919_037386_1921.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SB/S1B_IW_SLC_1SDV_20210917T233556_20210917T233623_028744_036E26_12AE.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SB/S1B_IW_SLC_1SDV_20210905T233555_20210905T233622_028569_0368C9_B6D7.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SB/S1B_IW_SLC_1SDV_20210824T233555_20210824T233622_028394_03634F_9F68.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SB/S1B_IW_SLC_1SDV_20210812T233554_20210812T233621_028219_035DD2_A9FC.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SB/S1B_IW_SLC_1SDV_20210731T233554_20210731T233620_028044_03586A_74FB.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SB/S1B_IW_SLC_1SDV_20210719T233553_20210719T233620_027869_035350_F53E.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SB/S1B_IW_SLC_1SDV_20210707T233552_20210707T233619_027694_034E1A_C8DD.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SB/S1B_IW_SLC_1SDV_20210625T233551_20210625T233618_027519_0348F8_2927.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SB/S1B_IW_SLC_1SDV_20210613T233551_20210613T233618_027344_03440C_A271.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SB/S1B_IW_SLC_1SDV_20210601T233550_20210601T233617_027169_033ECA_F54F.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SB/S1B_IW_SLC_1SDV_20210520T233549_20210520T233616_026994_033999_70FB.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SB/S1B_IW_SLC_1SDV_20210508T233549_20210508T233616_026819_033430_47B4.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SB/S1B_IW_SLC_1SDV_20210426T233548_20210426T233615_026644_032E95_B83C.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SB/S1B_IW_SLC_1SDV_20210414T233547_20210414T233614_026469_0328F9_4D51.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SB/S1B_IW_SLC_1SDV_20210402T233547_20210402T233614_026294_032365_C2A0.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SB/S1B_IW_SLC_1SDV_20210321T233547_20210321T233614_026119_031DDE_B6A0.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SB/S1B_IW_SLC_1SDV_20210309T233547_20210309T233614_025944_03183E_F0FE.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SB/S1B_IW_SLC_1SDV_20210225T233547_20210225T233614_025769_031283_D8D4.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SB/S1B_IW_SLC_1SDV_20210213T233547_20210213T233614_025594_030CD1_9690.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SB/S1B_IW_SLC_1SDV_20210201T233547_20210201T233614_025419_030716_D1BE.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SB/S1B_IW_SLC_1SDV_20210120T233547_20210120T233614_025244_030180_2825.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SB/S1B_IW_SLC_1SDV_20210108T233548_20210108T233615_025069_02FBE6_86BF.zip

Año de adquisición 2021 Órbita Descendente



Sentinel-1 • C-Band	
▼	
Start Time • 12/19/21, 10:52:51Z ⚙	Flight Direction • DESCENDING ⚙
Stop Time • 12/19/21, 10:53:18Z ⚙	Polarization • VV+VH ⚙
Beam Mode • IW ⚙	Absolute Orbit • 30093
Path • 142 ⚙	Data courtesy of ESA
Frame • 601 ⚙	Citation

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SB/S1B_IW_SLC_1SDV_20211219T105251_20211219T105318_030093_0397E1_4664.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SB/S1B_IW_SLC_1SDV_20211207T105252_20211207T105319_029918_039252_5649.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SB/S1B_IW_SLC_1SDV_20211125T105252_20211125T105319_029743_038CD3_8DEF.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SB/S1B_IW_SLC_1SDV_20211113T105253_20211113T105320_029568_038756_75DC.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SB/S1B_IW_SLC_1SDV_20211101T105253_20211101T105320_029393_038205_053B.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SB/S1B_IW_SLC_1SDV_20211020T105253_20211020T105320_029218_037CAB_8F31.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SB/S1B_IW_SLC_1SDV_20211008T105253_20211008T105320_029043_037731_C0BA.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SB/S1B_IW_SLC_1SDV_20210926T105253_20210926T105320_028868_0371F7_D5D1.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SB/S1B_IW_SLC_1SDV_20210914T105252_20210914T105319_028693_036C94_E784.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SB/S1B_IW_SLC_1SDV_20210902T105252_20210902T105319_028518_036733_1398.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SB/S1B_IW_SLC_1SDV_20210821T105251_20210821T105318_028343_0361C0_53AD.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SB/S1B_IW_SLC_1SDV_20210809T105251_20210809T105318_028168_035C46_D229.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SB/S1B_IW_SLC_1SDV_20210728T105250_20210728T105317_027993_0356EF_761B.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SB/S1B_IW_SLC_1SDV_20210716T105249_20210716T105316_027818_0351C9_7B7D.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SB/S1B_IW_SLC_1SDV_20210704T105248_20210704T105315_027643_034C9E_FE17.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SB/S1B_IW_SLC_1SDV_20210622T105248_20210622T105315_027468_0347BF_B2DE.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SB/S1B_IW_SLC_1SDV_20210610T105247_20210610T105314_027293_03428B_DBE6.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SB/S1B_IW_SLC_1SDV_20210529T105246_20210529T105313_027118_033D4B_0622.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SB/S1B_IW_SLC_1SDV_20210517T105246_20210517T105313_026943_03380B_FBCE.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SB/S1B_IW_SLC_1SDV_20210505T105245_20210505T105312_026768_033293_5354.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SB/S1B_IW_SLC_1SDV_20210423T105245_20210423T105312_026593_032CFC_B60A.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SB/S1B_IW_SLC_1SDV_20210411T105244_20210411T105311_026418_03275C_D7A4.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SB/S1B_IW_SLC_1SDV_20210330T105243_20210330T105310_026243_0321D0_4711.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SB/S1B_IW_SLC_1SDV_20210318T105243_20210318T105310_026068_031C3F_F798.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SB/S1B_IW_SLC_1SDV_20210306T105243_20210306T105310_025893_03169A_7AB3.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SB/S1B_IW_SLC_1SDV_20210222T105243_20210222T105310_025718_0310E2_013E.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SB/S1B_IW_SLC_1SDV_20210210T105244_20210210T105311_025543_030B2E_D1C2.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SB/S1B_IW_SLC_1SDV_20210129T105244_20210129T105311_025368_03057C_13CA.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SB/S1B_IW_SLC_1SDV_20210117T105244_20210117T105311_025193_02FFE6_86FA.zip

Año de adquisición 2020 Órbita ascendente



https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SB/S1B_IW_SLC_1SDV_20201227T233549_20201227T233616_024894_02F64E_41FA.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SB/S1B_IW_SLC_1SDV_20201215T233549_20201215T233616_024719_02F0A4_69D4.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SB/S1B_IW_SLC_1SDV_20201203T233550_20201203T233617_024544_02EAF2_91DA.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SB/S1B_IW_SLC_1SDV_20201121T233550_20201121T233617_024369_02E56A_BDA7.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SB/S1B_IW_SLC_1SDV_20201109T233550_20201109T233617_024194_02DFE1_D61E.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SB/S1B_IW_SLC_1SDV_20201028T233550_20201028T233617_024019_02DA7C_5764.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SB/S1B_IW_SLC_1SDV_20201016T233550_20201016T233617_023844_02D4F9_22FE.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SB/S1B_IW_SLC_1SDV_20201004T233550_20201004T233617_023669_02CF90_94D7.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SB/S1B_IW_SLC_1SDV_20200922T233550_20200922T233617_023494_02CA12_EB06.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SB/S1B_IW_SLC_1SDV_20200910T233550_20200910T233617_023319_02C495_C141.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SB/S1B_IW_SLC_1SDV_20200829T233549_20200829T233616_023144_02BF1C_ED47.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SB/S1B_IW_SLC_1SDV_20200817T233549_20200817T233615_022969_02B99B_D55A.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SB/S1B_IW_SLC_1SDV_20200805T233548_20200805T233615_022794_02B431_B26A.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SB/S1B_IW_SLC_1SDV_20200724T233547_20200724T233614_022619_02AEDE_F59B.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SB/S1B_IW_SLC_1SDV_20200712T233546_20200712T233613_022444_02A991_F243.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SB/S1B_IW_SLC_1SDV_20200630T233546_20200630T233613_022269_02A442_74FA.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SB/S1B_IW_SLC_1SDV_20200618T233545_20200618T233612_022094_029EDF_B566.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SB/S1B_IW_SLC_1SDV_20200606T233544_20200606T233611_021919_029993_5604.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SB/S1B_IW_SLC_1SDV_20200525T233544_20200525T233611_021744_029451_6ACE.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SB/S1B_IW_SLC_1SDV_20200513T233543_20200513T233610_021569_028F33_3D6B.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SB/S1B_IW_SLC_1SDV_20200501T233542_20200501T233609_021394_0289C8_611A.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SB/S1B_IW_SLC_1SDV_20200419T233542_20200419T233609_021219_02843E_1343.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SB/S1B_IW_SLC_1SDV_20200407T233541_20200407T233608_021044_027EBA_F52E.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SB/S1B_IW_SLC_1SDV_20200326T233541_20200326T233608_020869_02792B_46C2.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SB/S1B_IW_SLC_1SDV_20200314T233541_20200314T233608_020694_0273A9_D3EC.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SB/S1B_IW_SLC_1SDV_20200302T233541_20200302T233608_020519_026E1D_A585.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SB/S1B_IW_SLC_1SDV_20200219T233541_20200219T233608_020344_02687D_961D.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SB/S1B_IW_SLC_1SDV_20200207T233541_20200207T233608_020169_0262E0_F2A5.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SB/S1B_IW_SLC_1SDV_20200126T233541_20200126T233608_019994_025D2F_9D8D.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SB/S1B_IW_SLC_1SDV_20200114T233542_20200114T233609_019819_025798_C385.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SB/S1B_IW_SLC_1SDV_20200102T233542_20200102T233609_019644_025203_3C17.zip

Año de adquisición 2020 Órbita Descendente



https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SB/S1B_IW_SLC_1SDV_20201224T105245_20201224T105312_024843_02F4B0_B796.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SB/S1B_IW_SLC_1SDV_20201212T105246_20201212T105313_024668_02EF02_EED2.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SB/S1B_IW_SLC_1SDV_20201130T105247_20201130T105314_024493_02E95B_740B.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SB/S1B_IW_SLC_1SDV_20201118T105247_20201118T105314_024318_02E3D0_EFBC.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SB/S1B_IW_SLC_1SDV_20201106T105247_20201106T105314_024143_02DE4E_254B.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SB/S1B_IW_SLC_1SDV_20201025T105247_20201025T105314_023968_02D8E8_5BCA.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SB/S1B_IW_SLC_1SDV_20201013T105247_20201013T105314_023793_02D36B_BF02.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SB/S1B_IW_SLC_1SDV_20201001T105247_20201001T105314_023618_02CDFC_210A.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SB/S1B_IW_SLC_1SDV_20200919T105247_20200919T105314_023443_02C87D_6AEF.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SB/S1B_IW_SLC_1SDV_20200907T105246_20200907T105313_023268_02C303_4176.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SB/S1B_IW_SLC_1SDV_20200826T105246_20200826T105313_023093_02BD8E_EEB4.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SB/S1B_IW_SLC_1SDV_20200814T105245_20200814T105312_022918_02B80A_C162.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SB/S1B_IW_SLC_1SDV_20200802T105244_20200802T105311_022743_02B2A3_7819.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SB/S1B_IW_SLC_1SDV_20200721T105244_20200721T105311_022568_02AD57_6A52.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SB/S1B_IW_SLC_1SDV_20200709T105243_20200709T105310_022393_02A805_FB69.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SB/S1B_IW_SLC_1SDV_20200627T105242_20200627T105309_022218_02A2B0_EF4B.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SB/S1B_IW_SLC_1SDV_20200615T105242_20200615T105309_022043_029D5A_909A.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SB/S1B_IW_SLC_1SDV_20200603T105241_20200603T105308_021868_029818_66B2.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SB/S1B_IW_SLC_1SDV_20200522T105240_20200522T105307_021693_0292D6_FD05.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SB/S1B_IW_SLC_1SDV_20200510T105240_20200510T105306_021518_028DB2_60A2.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SB/S1B_IW_SLC_1SDV_20200428T105239_20200428T105306_021343_028835_4A80.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SB/S1B_IW_SLC_1SDV_20200416T105238_20200416T105305_021168_0282B1_2264.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SB/S1B_IW_SLC_1SDV_20200404T105238_20200404T105305_020993_027D27_D665.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SB/S1B_IW_SLC_1SDV_20200323T105238_20200323T105305_020818_02779B_B85D.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SB/S1B_IW_SLC_1SDV_20200311T105237_20200311T105304_020643_027215_6C85.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SB/S1B_IW_SLC_1SDV_20200228T105237_20200228T105304_020468_026C83_ABAD.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SB/S1B_IW_SLC_1SDV_20200216T105238_20200216T105305_020293_0266E6_49E1.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SB/S1B_IW_SLC_1SDV_20200204T105238_20200204T105305_020118_026145_87C2.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SB/S1B_IW_SLC_1SDV_20200123T105238_20200123T105305_019943_025B99_15A9.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SB/S1B_IW_SLC_1SDV_20200111T105239_20200111T105306_0197

Año de adquisición 2019 Órbita ascendente



Sentinel-1 · C-Band	
▼	
Start Time · 12/21/19, 23:35:43Z ⚙	Flight Direction · ASCENDING ⚙
Stop Time · 12/21/19, 23:36:10Z ⚙	Polarization · VV+VH ⚙
Beam Mode · IW ⚙	Absolute Orbit · 19469
Path · 18 ⚙	Data courtesy of ESA
Frame · 1167 ⚙	Citation

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SB/S1B_IW_SLC_1SDV_20191221T233543_20191221T233610_019469_024C73_3067.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SB/S1B_IW_SLC_1SDV_20191209T233543_20191209T233610_019294_0246E1_C3BA.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SB/S1B_IW_SLC_1SDV_20191127T233544_20191127T233611_019119_024158_B01E.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SB/S1B_IW_SLC_1SDV_20191115T233544_20191115T233611_018944_023BBE_9C0D.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SB/S1B_IW_SLC_1SDV_20191103T233544_20191103T233611_018769_02360B_2939.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SB/S1B_IW_SLC_1SDV_20191022T233544_20191022T233611_018594_023085_883D.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SB/S1B_IW_SLC_1SDV_20191010T233544_20191010T233611_018419_022B26_1D2B.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SB/S1B_IW_SLC_1SDV_20190928T233544_20190928T233611_018244_0225A7_275C.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SB/S1B_IW_SLC_1SDV_20190916T233544_20190916T233611_018069_022045_3C28.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SB/S1B_IW_SLC_1SDV_20190904T233543_20190904T233610_017894_021AD1_F91E.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SB/S1B_IW_SLC_1SDV_20190823T233543_20190823T233609_017719_021566_75BE.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SB/S1B_IW_SLC_1SDV_20190706T233540_20190706T233607_017019_02004D_5B3D.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SB/S1B_IW_SLC_1SDV_20190612T233538_20190612T233605_016669_01F5F3_C037.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SB/S1B_IW_SLC_1SDV_20190531T233539_20190531T233600_016494_01F0BD_B7F4.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SB/S1B_IW_SLC_1SDV_20190519T233537_20190519T233604_016319_01EB69_BB4A.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SB/S1B_IW_SLC_1SDV_20190507T233536_20190507T233603_016144_01E601_52C8.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SB/S1B_IW_SLC_1SDV_20190425T233536_20190425T233603_015969_01E02B_B092.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SB/S1B_IW_SLC_1SDV_20190413T233535_20190413T233602_015794_01DA64_A4A5.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SB/S1B_IW_SLC_1SDV_20190401T233535_20190401T233602_015619_01D493_060B.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SB/S1B_IW_SLC_1SDV_20190320T233534_20190320T233601_015444_01CED5_A3BB.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SB/S1B_IW_SLC_1SDV_20190308T233534_20190308T233601_015269_01C928_359F.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SB/S1B_IW_SLC_1SDV_20190224T233535_20190224T233602_015094_01C363_14F3.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SB/S1B_IW_SLC_1SDV_20190131T233535_20190131T233602_014744_01B7E5_CE61.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SB/S1B_IW_SLC_1SDV_20190119T233535_20190119T233602_014569_01B247_27E9.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SB/S1B_IW_SLC_1SDV_20190107T233536_20190107T233603_014394_01ACA7_D566.zip

Año de adquisición 2019 Órbita Descendente



Sentinel-1 • C-Band	
▼	
Start Time • 12/24/20, 10:52:45Z ⚙	Flight Direction • DESCENDING ⚙
Stop Time • 12/24/20, 10:53:12Z ⚙	Polarization • VV+VH ⚙
Beam Mode • IW ⚙	Absolute Orbit • 24843
Path • 142 ⚙	Data courtesy of ESA
Frame • 601 ⚙	Citation

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SB/S1B_IW_SLC_1SDV_20191218T105240_20191218T105307_019418_024AE7_5411.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SB/S1B_IW_SLC_1SDV_20191206T105240_20191206T105307_019243_024550_46A4.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SB/S1B_IW_SLC_1SDV_20191124T105241_20191124T105308_019068_023FC3_D14E.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SB/S1B_IW_SLC_1SDV_20191112T105241_20191112T105308_018893_023A24_E40B.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SB/S1B_IW_SLC_1SDV_20191031T105241_20191031T105308_018718_02347D_2444.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SB/S1B_IW_SLC_1SDV_20191019T105241_20191019T105308_018543_022F07_DE45.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SB/S1B_IW_SLC_1SDV_20191007T105241_20191007T105308_018368_0229A7_4FA6.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SB/S1B_IW_SLC_1SDV_20190925T105241_20190925T105308_018193_02241F_142E.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SB/S1B_IW_SLC_1SDV_20190913T105240_20190913T105307_018018_021EBB_CD44.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SB/S1B_IW_SLC_1SDV_20190901T105240_20190901T105307_017843_021944_C477.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SB/S1B_IW_SLC_1SDV_20190820T105239_20190820T105306_017668_0213D5_553F.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SB/S1B_IW_SLC_1SDV_20190808T105238_20190808T105305_017493_020E5D_F971.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SB/S1B_IW_SLC_1SDV_20190727T105238_20190727T105304_017318_020916_642F.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SB/S1B_IW_SLC_1SDV_20190715T105237_20190715T105304_017143_020400_BD9B.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SB/S1B_IW_SLC_1SDV_20190703T105236_20190703T105303_016968_01FED6_9971.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SB/S1B_IW_SLC_1SDV_20190621T105235_20190621T105302_016793_01F9AB_783E.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SB/S1B_IW_SLC_1SDV_20190609T105235_20190609T105302_016618_01F475_8E25.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SB/S1B_IW_SLC_1SDV_20190528T105234_20190528T105301_016443_01EF3E_AC3A.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SB/S1B_IW_SLC_1SDV_20190516T105233_20190516T105300_016268_01E9DF_5BF6.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SB/S1B_IW_SLC_1SDV_20190504T105233_20190504T105300_016093_01E45B_4B0E.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SB/S1B_IW_SLC_1SDV_20190422T105232_20190422T105259_015918_01DE80_8277.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SB/S1B_IW_SLC_1SDV_20190410T105232_20190410T105259_015743_01D8B7_A2A3.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SB/S1B_IW_SLC_1SDV_20190329T105232_20190329T105258_015568_01D2E4_6C2F.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SB/S1B_IW_SLC_1SDV_20190317T105231_20190317T105258_015393_01CD2F_704F.zip
https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SB/S1B_IW_SLC_1SDV_20190305T105231_20190305T105258_015218_01C785_19BA.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SB/S1B_IW_SLC_1SDV_20190221T105231_20190221T105258_015043_01C1C0_A3D5.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SB/S1B_IW_SLC_1SDV_20190209T105231_20190209T105258_014868_01BC03_F4F8.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SB/S1B_IW_SLC_1SDV_20190128T105232_20190128T105259_014693_01B641_E069.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SB/S1B_IW_SLC_1SDV_20190116T105232_20190116T105259_014518_01B0AC_F8B9.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SB/S1B_IW_SLC_1SDV_20190104T105233_20190104T105300_014343_01AB02_FA30.zip

Año de adquisición 2018 Órbita ascendente



Sentinel-1 • C-Band	
Start Time • 10/27/18, 23:35:38Z ⚙	Flight Direction • ASCENDING ⚙
Stop Time • 10/27/18, 23:36:05Z ⚙	Polarization • VV+VH ⚙
Beam Mode • IW ⚙	Absolute Orbit • 13344
Path • 18 ⚙	Data courtesy of ESA
Frame • 1167 ⚙	Citation

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SB/S1B_IW_SLC_1SDV_20181003T233529_20181003T233555_012994_018004_B91C.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SB/S1B_IW_SLC_1SDV_20180921T233528_20180921T233555_012819_017AAA_62BE.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SB/S1B_IW_SLC_1SDV_20180909T233528_20180909T233555_012644_017551_23BA.zip
https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SB/S1B_IW_SLC_1SDV_20180828T233527_20180828T233554_012469_016FED_056E.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SB/S1B_IW_SLC_1SDV_20180816T233527_20180816T233554_012294_016A7A_3D46.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SB/S1B_IW_SLC_1SDV_20180804T233526_20180804T233553_012119_01650E_AC0A.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SB/S1B_IW_SLC_1SDV_20180723T233525_20180723T233552_011944_015FC8_37EE.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SB/S1B_IW_SLC_1SDV_20180711T233524_20180711T233551_011769_015A75_1462.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SB/S1B_IW_SLC_1SDV_20180617T233523_20180617T233550_011419_014F97_3CCE.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SB/S1B_IW_SLC_1SDV_20180605T233522_20180605T233549_011244_014A37_AB69.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SB/S1B_IW_SLC_1SDV_20180512T233521_20180512T233548_010894_013EEF_8944.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SB/S1B_IW_SLC_1SDV_20180430T233520_20180430T233547_010719_013947_31BA.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SB/S1B_IW_SLC_1SDV_20180418T233520_20180418T233546_010544_0133AB_A424.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SB/S1B_IW_SLC_1SDV_20180406T233519_20180406T233546_010369_012E17_FF93.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SB/S1B_IW_SLC_1SDV_20180325T233519_20180325T233546_010194_012863_F819.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SB/S1B_IW_SLC_1SDV_20180313T233519_20180313T233546_010019_0122B4_D80D.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SB/S1B_IW_SLC_1SDV_20180301T233519_20180301T233546_009844_011CDD_8103.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SB/S1B_IW_SLC_1SDV_20180217T233519_20180217T233546_009669_011712_9214.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SB/S1B_IW_SLC_1SDV_20180205T233519_20180205T233546_009494_011151_3CA1.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SB/S1B_IW_SLC_1SDV_20180124T233519_20180124T233546_009319_010B95_41C0.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SB/S1B_IW_SLC_1SDV_20180112T233520_20180112T233547_009144_0105DE_FCF1.zip

Año de adquisición 2018 Órbita Descendente



https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SB/S1B_IW_SLC_1SDV_20181223T105233_20181223T105300_014168_01A542_E732.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SB/S1B_IW_SLC_1SDV_20181211T105233_20181211T105300_013993_019F75_3508.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SB/S1B_IW_SLC_1SDV_20181129T105234_20181129T105301_013818_0199CB_32E9.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SB/S1B_IW_SLC_1SDV_20181117T105234_20181117T105301_013643_019433_BAFA.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SB/S1B_IW_SLC_1SDV_20181105T105234_20181105T105301_013468_018EB7_C85F.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SB/S1B_IW_SLC_1SDV_20181024T105235_20181024T105308_013293_018938_26D6.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SB/S1B_IW_SLC_1SDV_20181012T105235_20181012T105302_013118_0183CD_1B89.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SB/S1B_IW_SLC_1SDV_20180930T105234_20180930T105301_012943_017E7D_9D4B.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SB/S1B_IW_SLC_1SDV_20180918T105234_20180918T105301_012768_01791F_46E8.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SB/S1B_IW_SLC_1SDV_20180906T105234_20180906T105301_012593_0173C2_6040.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SB/S1B_IW_SLC_1SDV_20180825T105233_20180825T105300_012418_016E5A_E639.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SB/S1B_IW_SLC_1SDV_20180813T105232_20180813T105259_012243_0168EF_5817.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SB/S1B_IW_SLC_1SDV_20180801T105232_20180801T105259_012068_01638A_88BF.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SB/S1B_IW_SLC_1SDV_20180720T105231_20180720T105258_011893_015E41_DCDF.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SB/S1B_IW_SLC_1SDV_20180708T105230_20180708T105257_011718_0158E4_3A3A.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SB/S1B_IW_SLC_1SDV_20180626T105229_20180626T105256_011543_015373_BE0D.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SB/S1B_IW_SLC_1SDV_20180614T105229_20180614T105256_011368_014E09_ADA5.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SB/S1B_IW_SLC_1SDV_20180602T105228_20180602T105255_011193_0148A4_1D33.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SB/S1B_IW_SLC_1SDV_20180521T105227_20180521T105254_011018_0142FA_9161.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SB/S1B_IW_SLC_1SDV_20180509T105227_20180509T105253_010843_013D51_A8A3.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SB/S1B_IW_SLC_1SDV_20180427T105226_20180427T105253_010668_0137A7_A771.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SB/S1B_IW_SLC_1SDV_20180415T105225_20180415T105252_010493_01320F_7E35.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SB/S1B_IW_SLC_1SDV_20180403T105225_20180403T105252_010318_012C73_D3C9.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SB/S1B_IW_SLC_1SDV_20180310T105225_20180310T105252_009968_012112_8916.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SB/S1B_IW_SLC_1SDV_20180226T105225_20180226T105252_009793_011B34_32D0.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SB/S1B_IW_SLC_1SDV_20180214T105225_20180214T105252_009618_01156D_C95E.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SB/S1B_IW_SLC_1SDV_20180202T105225_20180202T105252_009443_010FA2_0FDC.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SB/S1B_IW_SLC_1SDV_20180121T105225_20180121T105252_009268_0109E9_1437.zip

https://datapool.asf.alaska.edu/SLC/SB/S1B_IW_SLC_1SDV_20180109T105226_20180109T105253_009093_010436_3982.zip

Anexo B Visita de campo a Nabón



Casa Cuarteada



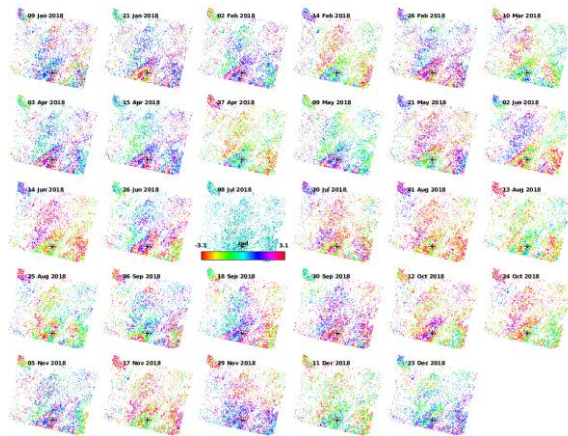
Cancha deportiva abandonada



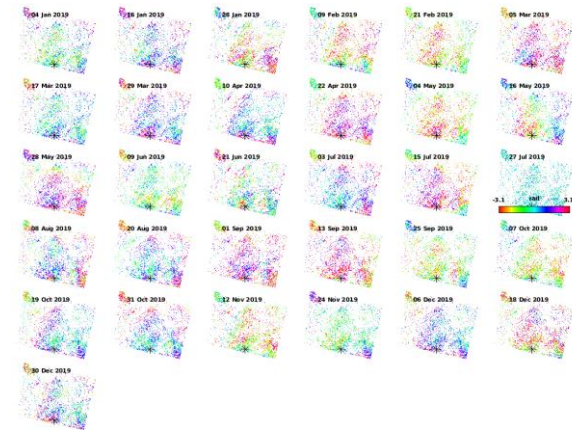
Estado de carretera

Anexo C Interferogramas Generados por PSI/STAMPS

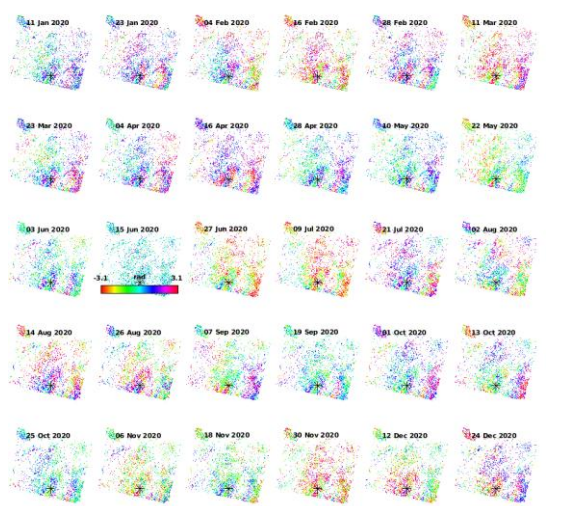
2018



2019



2020



2021

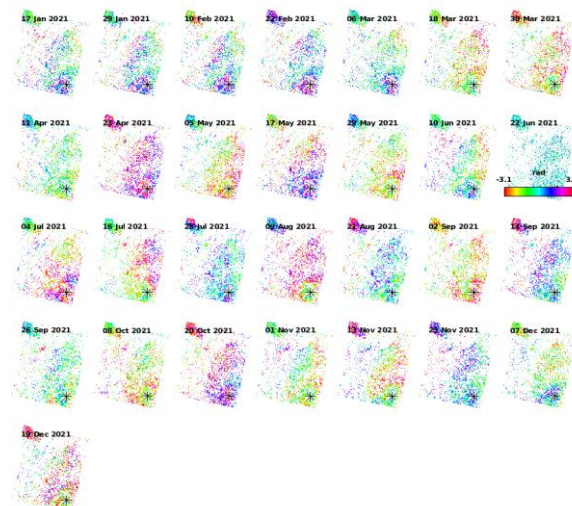
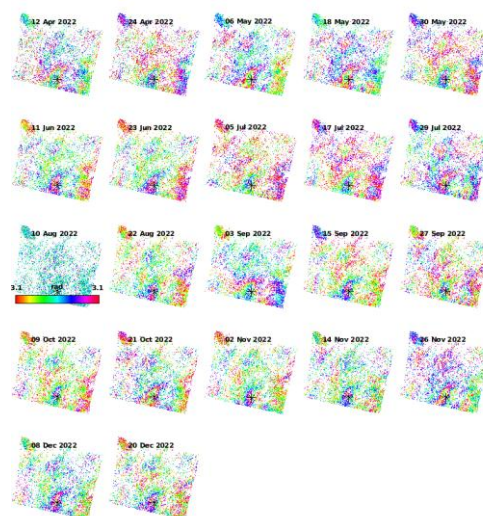
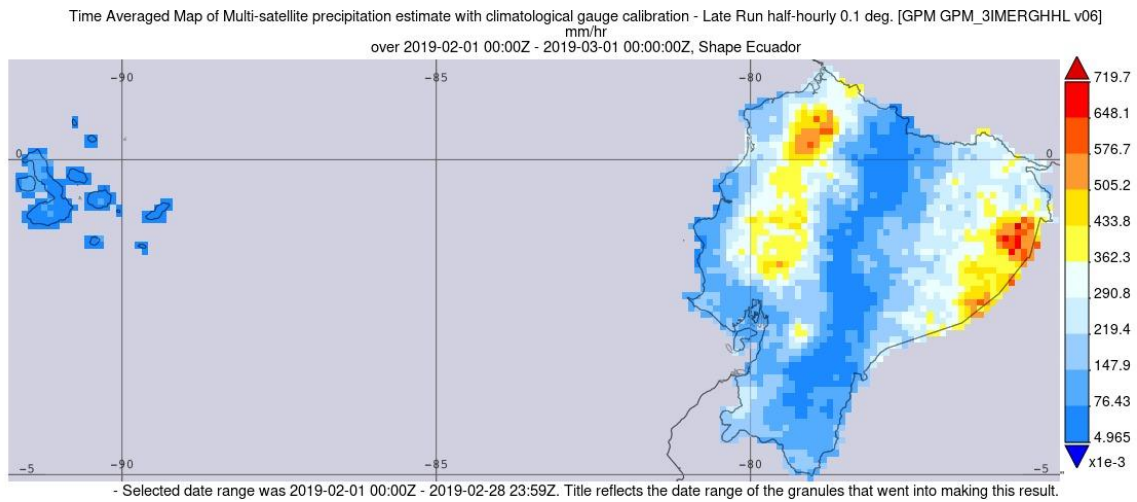


Figura 2022.

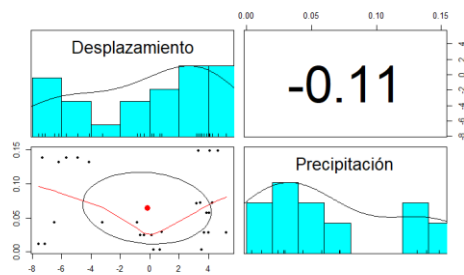


Anexo D Mapa de Precipitación Multi-Satélite GPM_3IMERGHHL en Ecuador

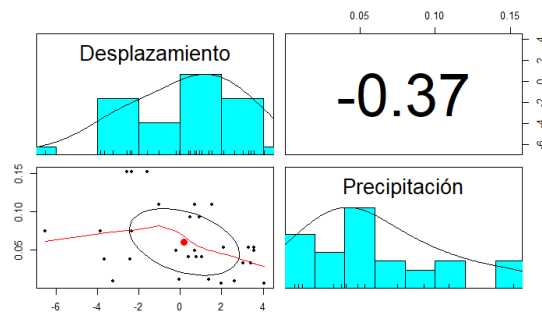


Anexo E Correlación con Precipitación

a) 2018



b) 2019



c) 2020

