

PROPUESTA METODOLÓGICA PARA LA APLICACIÓN DE TECNOLOGÍA DE  
INTERFEROMETRÍA SATELITAL (InSAR) EN EL PROCESO DE LA GESTIÓN DEL RIESGO,  
CASO DE ESTUDIO VILLAVICENCIO-META



IVAN RAMIRO SUTA URREGO



UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL  
VILLAVICENCIO  
2026

PROPUESTA METODOLÓGICA PARA LA APLICACIÓN DE TECNOLOGÍA DE  
INTERFEROMETRÍA SATELITAL (InSAR) EN EL PROCESO DE LA GESTIÓN DEL RIESGO,  
CASO DE ESTUDIO VILLAVICENCIO-META

IVAN RAMIRO SUTA URREGO

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título profesional de Ingeniero Civil

Aprobado por:

Ing. Mg. ÁNGEL ARTURO RINCÓN SUÁREZ  
Magíster en Gestión Ambiental

I.C. ALBERT GIOVANNI CABREJO LIÉVANO  
Ingeniero Civil  
Directores

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL  
VILLAVICENCIO

2026

**Autoridades Académicas**

**P. Álvaro José ARANGO RESTREPO, O.P.**

Rector General

**P. Adrián Mauricio GARCÍA PEÑARANDA, O.P.**

Vicerrector Académico General

**P. Luis Antonio ALFONSO VARGAS, O.P.**

Rector Seccional Villavicencio

**P. Juan Francisco CORREA HIGUERA, O.P.**

Vicerrector Académico Seccional Villavicencio

**Mg. Julieth Andrea SIERRA TOBÓN**

Secretaria General Seccional Villavicencio

**Mg. Luis Fernando DIAZ CRUZ**

Decano de la Facultad de Ingeniería Civil

## **Agradecimientos**

En primer lugar, quiero expresar mi más profundo agradecimiento a todas las personas que han contribuido al desarrollo y conclusión de este proyecto. Sin su apoyo y ayuda, este proyecto no habría sido posible.

En especial, quiero agradecer a mis directores, quienes ha sido mi guía y mentores durante todo el proceso. Su sabiduría, paciencia y dedicación han sido fundamentales para mi crecimiento académico y profesional.

También quiero agradecer a los profesores y compañeros de mi universidad, quienes me han brindado una valiosa formación y herramientas para llevar a cabo esta investigación.

De igual manera, quiero reconocer a las personas que colaboraron en la recolección de datos, proporcionando información valiosa para el análisis de mi investigación.

A mi familia y amigos, les agradezco por su apoyo incondicional y por brindarme el ánimo necesario para continuar cuando me encontraba agotado o desalentado.

Finalmente, quiero expresar mi gratitud a la comunidad académica y a todas las personas que han aportado su conocimiento y experiencia en este campo de estudio. Espero que este proyecto contribuya de alguna manera al avance del conocimiento en esta área y sea de utilidad para futuras investigaciones.

Gracias a todos y cada uno de ustedes por hacer posible este logro.

## Contenido

	Pág.
1. Resumen .....	9
2. Abstract.....	10
3. Introducción.....	11
4. Formulación del Problema.....	13
5. Objetivos.....	14
5.1    Objetivo general: .....	14
5.2    Objetivos específicos: .....	14
6. Justificación .....	15
7. Estado del arte.....	16
8. Marco Teórico .....	18
8.1    ¿Qué es InSAR? .....	18
9. Metodología.....	21
10. Análisis de Resultados.....	23
10.1    Análisis de hallazgos InSAR.....	23
10.1.1 Análisis zona “A” .....	24
10.1.2 Análisis zona “B”. .....	26
10.1.3 Análisis zona “C”. .....	28
10.2    Análisis de amenaza de acuerdo a factores físicos.....	30
10.2.1 Análisis factores físicos zona “A y B”. .....	30
10.2.2 Análisis factores físicos zona “C”. .....	32
10.3    Análisis de amenaza de acuerdo a factores antrópicos .....	35
10.3.1 Análisis factores antrópicos zona “A”.....	36
10.3.2 Análisis factores antrópicos zona “B”. .....	39
10.3.3 Análisis factores antrópicos zona “C”. .....	41
10.4    Interpolación de resultados con Plan De Ordenamiento Territorial (POT) .....	44
11. Conclusiones.....	47
11.1    Metodología para complementar con la tecnología InSAR las metodologías actuales de zonificación de amenaza por movimientos de remoción en masa. ....	48

12. Recomendaciones .....	51
13. Referencias bibliográficas .....	52
14. Anexos .....	55

### **Lista de Tablas**

	Pág.
Tabla 1. Caracterización capas del suelo.....	34

## Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1. Esquema de funcionamiento interferometría satelital.....	18
Figura 2. Metodología de investigación.....	22
Figura 3. Cobertura de amplio espectro. ....	23
Figura 4. Identificación de zonas con mayores desplazamientos.....	24
Figura 5. Zona "A" - Barrio Hierbabuena. ....	25
Figura 6. Desplazamiento absoluto zona "A". ....	25
Figura 7. Velocidad de desplazamiento absoluto zona "A". ....	26
Figura 8. Zona "B" - Barrio Vencedores.....	27
Figura 9. Desplazamiento absoluto zona "B". ....	27
Figura 10. Velocidad de desplazamiento absoluto zona "B". ....	28
Figura 11. Zona "C" - Barrio La Nohora. ....	28
Figura 12. Desplazamiento absoluto zona "C". ....	29
Figura 13. Velocidad de desplazamiento absoluto zona "C". ....	30
Figura 14. Plancha Geológica 266 con perímetros de las zonas "A y B".....	31
Figura 15. Plancha Geológica 266 con perímetro de la zona "C".....	33
Figura 16. Mapa de Amenaza Barrio la Nohora.....	35
Figura 17. Imagen satelital zona "A", Fecha 19 de junio de 2015 .....	37
Figura 18. Imagen satelital zona "A", Fecha 05 de diciembre de 2015 .....	38
Figura 19. Imagen satelital zona "A", Fecha 17 de septiembre de 2020 .....	38
Figura 20. Imagen satelital zona "B", Fecha 9 de enero de 2014 .....	39
Figura 21. Imagen satelital zona "B", Fecha 2 de noviembre de 2016 .....	40
Figura 22. Imagen satelital zona "B", Fecha 19 de diciembre de 2020 .....	41
Figura 23. Imagen satelital zona "C", Fecha 13 de marzo de 2018. ....	42
Figura 24. Imagen satelital zona "C", Fecha 3 de noviembre de 2018. ....	43
Figura 25. Imagen satelital zona "C", Fecha 9 de enero de 2020. ....	43
Figura 26. Segmento el mapa de Zonificación de Amenazas Naturales por .....	44
Figura 27. Segmento el mapa de Zonificación de Amenazas Naturales por .....	45

## Resumen

Los fenómenos de remoción en masa en Colombia, como los deslizamientos de tierra, avalanchas, reptaciones, caída de rocas y flujos de lodo, son un problema recurrente que afecta tanto a las áreas urbanas como rurales, causando pérdidas significativas en términos humanos, económicos y sociales. La aplicación de tecnologías geoespaciales avanzadas, como los Radars Interferométricos de Apertura Sintética (InSAR), pueden ser una herramienta clave para evaluar y monitorear la amenaza de los fenómenos de remoción en masa en Colombia.

El objetivo de esta investigación es proponer una metodología para utilizar la tecnología de interferometría satelital (InSAR) como herramienta complementaria en la gestión del riesgo, identificando las zonas más vulnerables a los fenómenos de remoción en masa en la ciudad de Villavicencio-Meta. Utilizando los datos de detección de desplazamientos superficiales de terreno y velocidades de movimiento suministrados por InSAR, junto con estudios sobre la gestión del riesgo de los fenómenos de remoción en masa, específicamente mediante el análisis de factores físicos y humanos que intervienen en la determinación de las amenazas, tal como se sugiere en la Guía metodológica para la zonificación de amenaza por movimientos en masa del SGC, se lograron identificar tres zonas con amenaza de fenómenos de remoción en masa en la ciudad de Villavicencio.

**Palabras Clave:** Amenaza, Desplazamientos, Gestión, Interferometría, Riesgo y Villavicencio.

### **Abstract**

Mass removal phenomena in Colombia, such as landslides, avalanches, creeps, rock falls, and mudflows are a recurring trouble that affects both urban and rural areas, causing significant human, economic, and social losses. The application of advanced geospatial technologies such Synthetic Aperture Interferometric Radars (InSAR) can be a key tool to assess and monitor the hazard of landslide phenomena in Colombia.

The objective of this research is to propose guidelines for using satellite interferometry (InSAR) technology as a complementary tool in risk management, specifically for identifying the most vulnerable areas to landslide phenomena in the city of Villavicencio - Meta. By analyzing surface displacement data and movement velocities provided by InSAR, combined with studies on risk management for landslide phenomena, particularly through the analysis of physical and human factors involved in hazard determination, as outlined in the *Methodological Guide for the Zoning of Hazards Due to landslide* by the SGC, it was possible to identify three zones in Villavicencio that are susceptible to landslides.

**Key Words:** Displacements, Hazard, Interferometry, Management, Risk and Villavicencio.

## Introducción

En Colombia, los fenómenos de remoción en masa (deslizamientos de tierra, avalanchas, reptación, caída de rocas, flujos de lodo, entre otros) son una problemática frecuente que afecta tanto a zonas urbanas como rurales, causando importantes pérdidas humanas, económicas y sociales. (Mergili et al., 2014) La aplicación de nuevas técnicas y tecnologías geoespaciales como los Radares Interferométricos de Apertura Sintética (InSAR) pueden llegar a convertirse en una herramienta clave en la evaluación y monitoreo de la amenaza por fenómenos de remoción en masa en Colombia.

InSAR es una técnica geoespacial que utiliza imágenes de radar para detectar cambios en la superficie terrestre con alta precisión y en periodos cortos de tiempo, esta técnica se basa en la interferencia entre dos imágenes SAR adquiridas en diferentes momentos en el tiempo para medir la distancia entre la superficie terrestre y el sensor de radar. Los cambios en esta distancia se utilizan para detectar movimientos en el terreno, como los causados por los fenómenos de remoción en masa, lo que permitiría una toma de decisiones temprana y efectiva en la prevención y mitigación de los riesgos asociados a dichos fenómenos (Ojeda Arzuza, 2021).

Actualmente, hay una carencia de tecnologías que permitan detectar y monitorear los movimientos de masa, deslizamientos de tierra y otras amenazas naturales en las regiones basados en datos contemporáneos. La identificación de las áreas que se están moviendo, y a qué tasa de desplazamiento, en áreas tan grandes no puede ser generada por instrumentación terrestre. Las imágenes de satélite SAR adquiridas a lo largo del tiempo y analizadas mediante técnicas InSAR representan la mejor oportunidad para cartografiar las áreas actuales de deslizamientos de tierra. Esta información resultaría esencial para los profesionales locales de la gestión de riesgos y los tomadores de decisiones gubernamentales responsables de evaluar continuamente la probabilidad de peligros geológicos, las consecuencias de los incidentes y la vulnerabilidad de las comunidades y de esta forma calcular el riesgo total y proponer las medidas necesarias para mejorar la resiliencia de la infraestructura y las comunidades (Tomás, 2022).

A continuación, se presenta una propuesta metodológica para la aplicación de tecnología InSAR como herramienta complementaria en la gestión del riesgo, para su implementación en cualquier lugar del territorio nacional, identificando las zonas de mayor amenaza por fenómenos de remoción en masa, incluyendo una descripción detallada de la técnica y sus beneficios, así como la presentación de algunos casos de estudio en los que se utilizó esta técnica.

El área de estudio propuesta se encuentra en la región de Villavicencio-Meta debido a la vulnerabilidad conocida de las poblaciones que se verían afectadas negativamente por las

interrupciones en la infraestructura crítica causadas por peligros geológicos. El satélite de banda L ALOS-2 es actualmente la única fuente de datos mundial capaz de identificar los peligros de desplazamiento de deslizamientos de tierra para áreas de alto riesgo con mucha vegetación, como las representadas en esta área de estudio.

La aplicación de InSAR en la evaluación de la amenaza de fenómenos de remoción en masa en Colombia tiene varios beneficios. En primer lugar, permite la detección temprana de movimientos en el terreno que pueden ser indicadores de una afectación inminente; posibilitando la toma de decisiones temprana y efectiva en la prevención y mitigación de los riesgos asociados.

En segundo lugar, la técnica de InSAR permite una evaluación detallada y precisa de la magnitud y la extensión de los deslizamientos de tierra, lo cual es especialmente importante para la evaluación de la amenaza por fenómenos de remoción en masa en zonas urbanas donde la infraestructura y las personas pueden estar en riesgo (Restrepo Velásquez, 2020).

## **1. Formulación del Problema**

La región de la Orinoquía colombiana y específicamente la ciudad de Villavicencio-Meta, se ha caracterizado por ser una de las zonas con mayores afectaciones en cuanto se refiere a procesos de remoción en masa, los cuales han causado diferentes estragos a lo largo del tiempo. Estos fenómenos de remoción en masa son causados por varios factores, como la topografía, geomorfología de la región, procesos erosivos causados por escorrentías de aguas superficiales y subterráneas propiciadas por las altas precipitaciones, además de liberaciones de energía por fenómenos sísmicos, esto debido a su ubicación en el piedemonte llanero; así mismos factores antrópicos como deforestación, excavaciones clandestinas, construcciones ilegales, entre otros (Cruz Castañeda, 2019). Por otra parte, los esquemas, mapas y planes de acción que hacen parte de la gestión del riesgo elaborados por las diferentes entidades, necesitan un complemento y/o la articulación con el uso de nuevas tecnologías afines a dicha gestión, las cuales son propuestas por investigaciones, desarrolladas desde la academia o instituciones privadas, pero que lastimosamente quedan en su mayoría excluidas en temas de aplicación. Pues bien, de articularse estas nuevas metodologías y tecnologías en el proceso para la gestión del riesgo se podría llegar a generar resultados más efectivos, con soportes más confiables y concisos en respuesta a las situaciones de vulnerabilidad y amenaza que se presentan en la ciudad de Villavicencio y en general, todo el país (Cobos Romero & Salamanca Pira, 2021).

A pesar de que nos encontramos en la era de la comunicación y la tecnología, en Colombia no se han articulado tecnologías modernas que le aporten a la gestión del riesgo un complemento efectivo. Si bien se han implementado diferentes metodologías y tecnologías en las actividades y planes para dicha gestión, como observaciones de campo, zonificaciones, estudios de suelos e hidrometeorológicos, resultan ser actividades demoradas y costosas. Por consiguiente, resulta lógico pensar que es hora de implementar y articular nuevas metodologías y tecnologías que suministren productos para la gestión del riesgo más efectivos, confiables y económicamente sostenibles.

### **1.1 Pregunta orientadora**

¿Cuál sería la propuesta metodología viable para la aplicación de la tecnología de Interferometría Satelital (InSAR) en el proceso de la gestión del riesgo en el caso de estudio de Villavicencio, Meta?

## **2. Objetivos**

### **2.1 Objetivo general**

Desarrollar una propuesta metodológica para la aplicación de tecnología de interferometría satelital (InSAR) como herramienta complementaria en la gestión del riesgo, identificando las zonas de mayor amenaza por fenómenos de remoción en masa en la ciudad de Villavicencio-Meta.

### **2.2 Objetivos específicos:**

- Analizar la información proporcionada por la tecnología InSAR en complemento a las metodologías actuales para la gestión del riesgo con el propósito de validar e identificar nuevas zonas de amenaza.
- Investigar la correlación entre el desplazamiento superficial y los factores físicos y antrópicos en las zonas de mayor amenaza por fenómenos de remoción en masa.
- Comparar los resultados actuales de zonificaciones de amenaza en un máximo de 3 locaciones en el municipio contra los resultados de deformaciones medidas con InSAR, con el fin de validar su utilidad como herramienta para generar de manera sencilla y económica mapas preliminares de zonificación de amenaza.

### 3. Justificación

Para Colombia, la gestión del riesgo, y dentro de esta la evaluación de la amenaza por procesos de remoción en masa, resulta ser una de las actividades más importantes y significativas en cuanto a seguridad, garantías de habitabilidad del territorio, desarrollo de infraestructura vial, proyectos lineales de electricidad, oleoductos, zonas para cultivos, entre otros (Ibáñez Caicedo & Bernal Gonzalez, 2021). A pesar de lo anterior se debe reconocer que el país no cuenta con los medios más efectivos para realizar esta tarea, resaltando obstáculos como tecnologías insuficientes o ineficientes, presupuestos limitados, mala organización en la gestión del recurso, entre otros; además de ello, una de las dificultades más representativas en el desarrollo eficiente y adecuado de la gestión del riesgo, es la complejidad que conlleva el hacer un seguimiento detallado a los desplazamientos del terreno. Si bien existen metodologías y tecnologías que suministren esta información como fotografías aéreas, vuelos con drones e instalaciones de sensores entre otros, estos resultan ser económicamente inviables (Salazar Rojas, 2022).

Por lo anterior, el principal objetivo de este proyecto es suministrar una metodología para la aplicación de la tecnología de interferometría satelital (InSAR) en los procesos de evaluación de amenaza por fenómenos de remoción en masa, la cual propone ser una alternativa económica y eficiente en la detección de desplazamiento del terreno, convirtiendo esta tecnología en una herramienta complementaria en el proceso de la gestión del riesgo, haciendo énfasis en que no se pretende reemplazar o hacer obsoletas las metodologías y técnicas actualmente utilizadas por la entidades encargadas de dicha gestión, sino proponer una articulación de (InSAR) con las metodologías ya existentes, y así brindar productos para la gestión del riesgo más efectivos, confiables y económicamente sostenibles en respuesta a las situaciones de vulnerabilidad y amenaza que se presentan en la ciudad de Villavicencio-Meta.

InSAR también presenta la enorme ventaja de que en gran parte del planeta ya existen bancos de imágenes satelitales en propiedad de los operadores de los satélites, que sólo esperan ser procesados para extraer la valiosa información histórica de deformaciones. Para otras metodologías de investigación del terreno resulta imposible acceder a información histórica. Por esto, InSAR se convierte además en una fuente de datos que permite gestionar los recursos de manera eficiente al indicar hacia qué sectores de la geografía nacional se deberían dirigir los recursos destinados a la investigación del terreno con fines de análisis de amenazas.

#### 4. Estado del arte

La academia y diferentes empresas han dado los primeros pasos referentes gestión de propuestas consiste en emplear la interferometría diferencial D-InSAR como una alternativa a las técnicas existentes en Colombia para el análisis del comportamiento de los deslizamientos, basados en el uso de imágenes de RADAR SAR para detectar cambios y desplazamientos en la superficie con una precisión de centímetros, con el objetivo es evaluar la eficacia de esta técnica para mejorar la gestión del riesgo en el país, ya que las metodologías actuales dependen de la verificación en campo e imágenes ópticas, lo cual puede resultar en una pérdida de información en muchas zonas del país (Tocasuche Castro & Peñaloza Molina, 2018).

El Institut Cartogràfic de Catalunya - ICC llevó a cabo un "Estudio Interferométrico Diferencial (DinSAR)" para determinar la evolución de las subsidencias del terreno en Bogotá entre 2006 y 2008, con el objetivo de evaluar el potencial de la herramienta DinSAR para monitorear los fenómenos de remoción de masa. Con base en este estudio y en el avance del conocimiento generado por el uso de esta técnica, la DPAE ha decidido difundir la justificación, la experiencia y los resultados obtenidos en la aplicación de esta técnica. Además, busca sensibilizar tanto a la comunidad del Distrito Capital como a la nación sobre la importancia de apoyar esta y otras iniciativas que promuevan una ciudad más sostenible y segura en términos de la Gestión Integral de Riesgo (Blanco Sánchez et al., 2010).

Estos estudios suministran frutos importantes, puesto que sus resultados pueden ser utilizados actualmente en el proceso de formulación del Planes de Ordenamiento Territorial (POT). Ampliando la noción de variables como la erosión o la morfodinámica son cruciales en la evaluación de la amenaza por remoción en masa, especialmente en un área que es muy susceptible a la generación de este tipo de procesos. Es esencial que, al mismo tiempo que se estén formulando los nuevos POT, se actualicen los procesos morfodinámicos recientes (de la última década) mediante sensores remotos y validación con trabajo de campo, de tal forma que Los resultados de esta actualización se incluyan en el mapa de amenazas como áreas con alta amenaza (Hurtado Acosta & Suarez Jaimés, 2018).

Actualizar y corregir las evaluaciones de riesgos es un paso importante en su realización. Es esencial analizar nuevas variables que surgen durante la ejecución de los procesos previos debido a la naturaleza en constante evolución de la sociedad, la economía y el ambiente. Esto conlleva cambios en las condiciones geodinámicas de diversas localidades y escenarios, incluyendo cambios en las condiciones de peligro, vulnerabilidad y riesgo, especialmente en términos

geológicos. Esta evolución natural hace que sea inevitable analizar estas nuevas variables y agregarlas a los diagnósticos de riesgo (Milanés Batista et al., 2017).

Asimismo, Los resultados obtenidos mediante el uso de Mapas de desplazamiento en estas tecnologías son coherentes con los estudios técnicos y documentos producidos por entidades distritales y privadas que se enfocan en la gestión del riesgo. Como resultado, se puede deducir que el uso de este tipo de metodologías, específicamente la interferometría DinSAR, proporciona información confiable y sirve como herramienta para la toma de decisiones, optimización de recursos, reducción de tiempos y planificación y ejecución de proyectos de infraestructura que buscan mitigar el riesgo en las zonas. Asimismo, esta metodología seguirá mejorando a medida que los sensores utilizados mejoren su resolución espacial y su frecuencia de revisión (Guarín Castillo & Guevara Lima, 2021). Incluso es posible utilizar esta técnica para verificar la confiabilidad de estructuras hechas de tierra, tales como presas construidas con materiales sueltos y el movimiento de laderas, incluso si se trata de varias estructuras simultáneamente, siempre y cuando los movimientos sean suficientemente lentos (Sillerico et al., 2010).

InSAR también presenta la enorme ventaja de que en gran parte del planeta ya existen bancos de imágenes satelitales en propiedad de los operadores de los satélites, que sólo esperan ser procesados para extraer la valiosa información histórica de deformaciones. Para otras metodologías de investigación del terreno resulta imposible acceder a información histórica. Por esto, InSAR se convierte además en una fuente de datos que permite gestionar los recursos de manera eficiente al indicar hacia qué sectores de la geografía nacional se deberían dirigir los recursos destinados a la investigación del terreno con fines de análisis de amenazas.

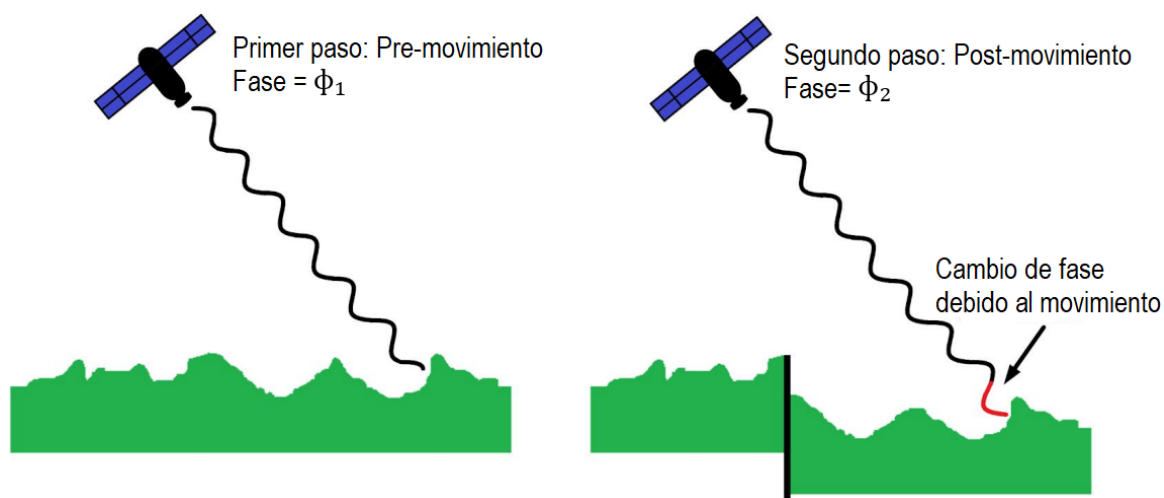
## 5. Marco Teórico

### 5.1 ¿Qué es InSAR?

El Radar Interferométrico de Apertura Sintética (InSAR) es una técnica avanzada de procesamiento de datos de radar que utiliza dos o más imágenes de radar adquiridas en diferentes momentos para medir pequeños cambios en la superficie terrestre, como deformaciones del terreno, desplazamientos de tierra, hundimientos, levantamientos, entre otros.

La técnica InSAR combina la información de las imágenes de radar para crear un modelo tridimensional de la superficie terrestre, y puede ser utilizada para monitorear zonas sísmicas, estudiar la deformación del terreno causada por la actividad volcánica, evaluar el impacto de los deslizamientos de tierra y la subsidencia, entre otras aplicaciones. Esta técnica permite monitorear a nivel de centímetros y/o milímetros el desplazamiento de la superficie de la Tierra. Durante cada paso, un satélite de radar transmite microondas hacia la superficie de la Tierra y registra los ecos devueltos como una imagen de radar, cada píxel de la imagen contiene amplitud (claridad del objetivo, normalmente expresado como intensidad) y lo que es más importante, la fase. El valor de fase de un píxel se expresa como un ángulo y es proporcional a la distancia al suelo, en términos simples, el ángulo de fase representa la diferencia en la longitud de onda del radar entre las dos imágenes de radar. Cuando la diferencia de fase es cero, significa que la señal de radar ha viajado una cantidad entera de longitudes de onda entre las dos imágenes, cuando la diferencia de fase no es cero, indica que la señal de radar ha viajado una fracción de longitud de onda entre las dos imágenes.

Figura 1. Esquema de funcionamiento interferometría satelital



Nota. Elaborado con 3vGeomatics

Cuando los datos de fase de la primera imagen se restan de otra, se forma un interferograma que contiene la diferencia de fase para cada píxel y como la fase está relacionada con la distancia al suelo, la diferencia de fase relaciona el cambio en la distancia al suelo que ha ocurrido en el tiempo entre las dos adquisiciones de imágenes.

Desafortunadamente, las diferencias de fase también contienen otras contribuciones no deseadas, relacionadas con la topografía, las condiciones atmosféricas y el ruido. El objetivo del procesamiento InSAR suele ser separar correctamente desplazamiento de otros efectos no deseados que también influyen en la fase, esto se realiza con mayor eficacia cuando se considera una serie de quince o más imágenes de radar repetidas. Los enfoques comunes utilizan las estadísticas espacio-temporales de los datos para derivar el desplazamiento de una red interconectada de interferogramas que se superponen en el tiempo, aunque a pesar de los mejores esfuerzos, algunas áreas no producirán resultados útiles,

Los productos finales suelen mapear el desplazamiento a lo largo del tiempo para áreas de hasta miles de kilómetros cuadrados en el suelo, que a menudo equivale a millones de objetivos medibles. Por lo tanto, InSAR es esencialmente un estudio satelital simultáneo de millones de objetivos en el suelo, repetido cada pocos días o semanas.

Si bien InSAR es una técnica muy útil para detectar deformaciones en el terreno y para monitorear actividades sísmicas y volcánicas, presenta algunas limitaciones en áreas de cobertura vegetal densa como:

- Efecto de decorrelación: Cuando las señales de radar penetran en la cobertura vegetal, se dispersan y se reflejan en diferentes direcciones, lo que puede generar interferencias y hacer que las señales de radar no sean coherentes. Esto puede resultar en un efecto de decorrelación, que dificulta la identificación de cambios en la superficie terrestre.
- Penetración limitada: La señal de radar puede penetrar en la cobertura vegetal solo hasta cierta profundidad. Si la cobertura vegetal es muy densa, la señal puede ser absorbida por las hojas y ramas, lo que dificulta la detección de cambios en la superficie terrestre debajo de la vegetación.
- Error en la altitud: La cobertura vegetal densa puede afectar la precisión de la medición de la altitud mediante InSAR. La presencia de la vegetación puede generar un error en la medición de la altura, lo que puede dificultar la detección de cambios precisos en la superficie terrestre.
- Interferencia con otras señales: La presencia de otros objetos en la superficie terrestre, como edificios, carreteras, líneas de energía, etc., también puede generar interferencias

en las señales de radar, lo que puede dificultar la detección de cambios en la superficie terrestre.

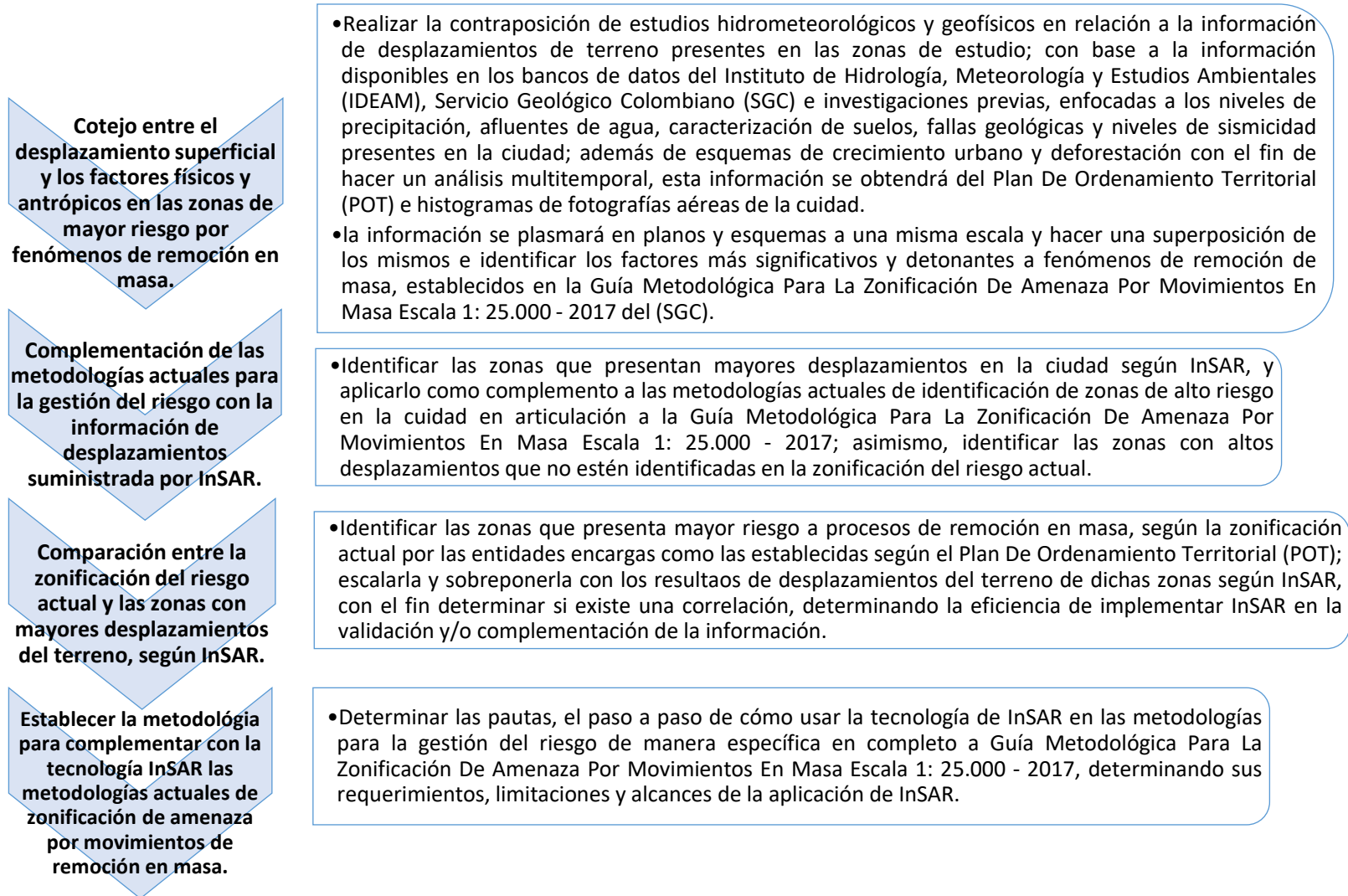
En resumen, aunque la técnica de InSAR es útil para la medición de cambios en la superficie terrestre, presenta limitaciones en áreas de cobertura vegetal densa debido a la dispersión de la señal de radar, la limitada penetración de la señal, la interferencia con otras señales y la precisión de la medición de la altitud.

## **6. Metodología**

Para el desarrollo de este proyecto se opta por la implementación de una metodología de investigación mixta (cuantitativa y cualitativa), debido a que la recolección y el análisis de los resultados obtenidos del comportamiento dinámico la zona estudio, deben cuantificarse y expresarse de manera concisa y de esta forma determinar aspectos como, el desplazamiento del cuerpo, el área y volumen de afectación, la probabilidad de ocurrencia de un proceso de remoción en masa, entre otros. Asimismo, es necesario describir e interpretar estos resultados de tal forma que se puedan comprender desde una perspectiva holística, como lo es la determinación del nivel de amenaza en la zona, la caracterización del área de afección, las opiniones y sugerencias de expertos, entre otros. Teniendo en cuenta que el desarrollo de esta metodología debe ser paralela y complementaria entre estos aspectos cuantitativos y cualitativos.

La información necesaria para el desarrollo de este proyecto está relacionada con la cuantificación y cualificación de los aspectos mencionados anteriormente; la cual será obtenida desde diferentes perspectivas y fuentes y así obtener resultados más objetivos; por medio visitas e inspecciones visuales a campo, entes de control, monitoreos públicos y privados, documentos como libros, proyectos y trabajos pertinentes a la investigación, de igual manera se contará con el asesoramiento y guía de expertos en el área.

Figura 2. Metodología de investigación.

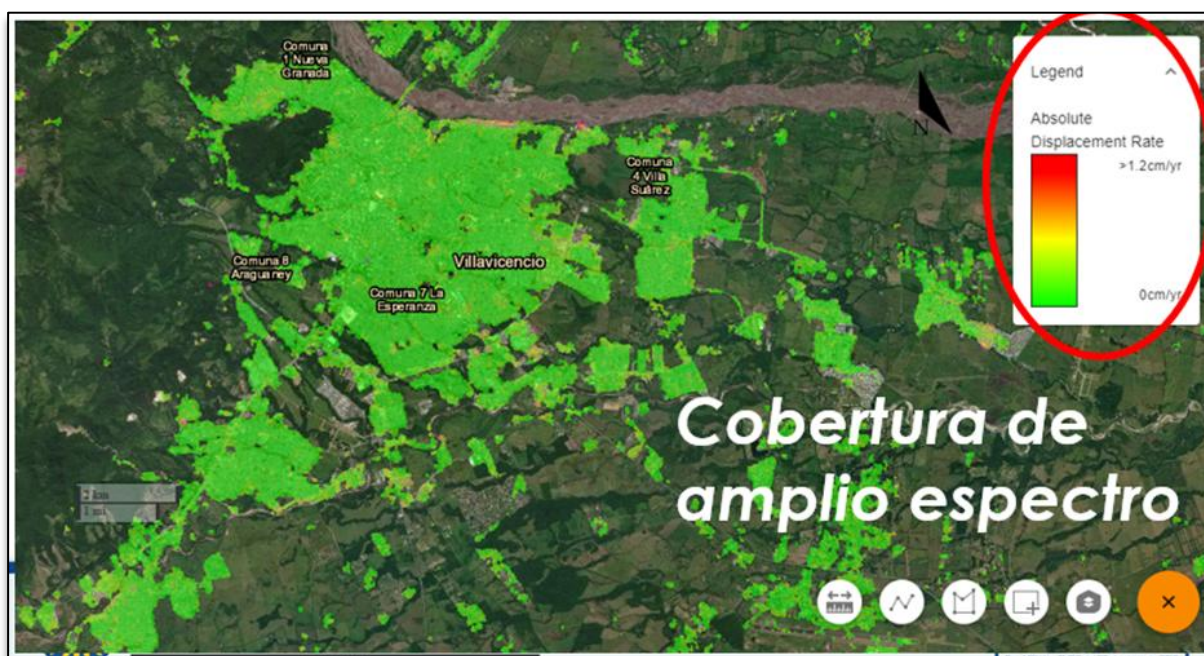


## 7. Análisis de Resultados

### 7.1 Análisis de hallazgos InSAR.

Los datos e información presentados a continuación son suministrados por la empresa 3vGeomatics, la cual se especializa en la detección, control remoto y monitoreo de movimientos superficiales de terreno utilizando tecnologías de radares de apertura sintética (InSAR) desde 2007, es líder mundial en el uso de imágenes satelitales de radar para detectar y medir el desplazamientos de suelo e infraestructuras en áreas extensas, tiene su centro de operaciones en Vancouver – Canadá, la tecnología aplicada fue InSAR el cual como se ha explicado en los apartados anteriores detecta y mide el desplazamiento superficial del terreno a lo largo del tiempo; seguidamente se analizan y exponen los 3 puntos de hallazgo con desplazamientos más significativos en la ciudad de Villavicencio-Meta:

Figura 3. Cobertura de amplio espectro.

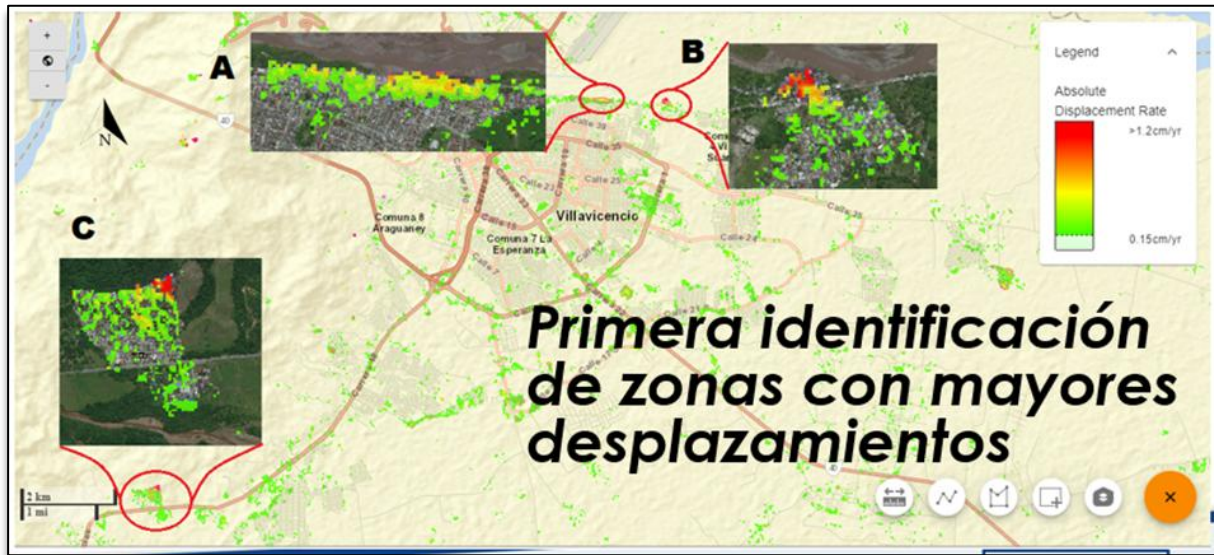


Nota. Elaborado con 3vGeomatics

La figura 3 representa el espectro de cobertura que abarcó el análisis de datos Interferométricos en la ciudad de Villavicencio, por medio del satélite ALOS-2, el cual órbita alrededor de la tierra, pasando y capturando imágenes SAR de un mismo punto con una frecuencia

de 14 días aproximadamente, aclarando que los análisis efectuados por InSAR y expuestos a continuación se proyectan y agrupan por cuadros de información individuales, los cuales tiene un área de inferencia de 13.5m x 13.5m aproximadamente, para facilidad de procesamiento, visualización y manipulación. El espectro de cobertura muestra un rango de velocidades de desplazamiento entre los 0 cm/año a una máximo de 1.2 cm/año.

*Figura 4. Identificación de zonas con mayores desplazamientos.*



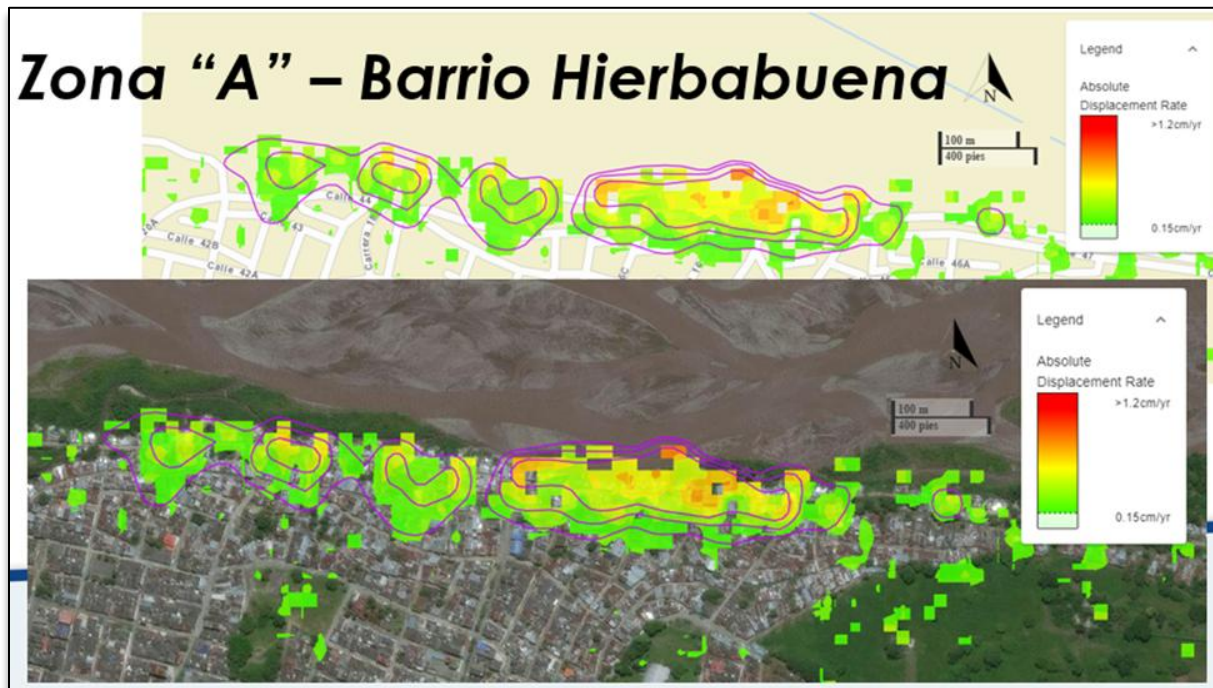
Nota. Elaborado con 3vGeomatics

La figura 4 representa la identificación final de las 3 zonas con los mayores valores de desplazamiento laterales, verticales, subsidencias y/o levantamientos arrojados por el análisis de datos suministrados por InSAR.

### **7.1.1 Análisis zona "A"**

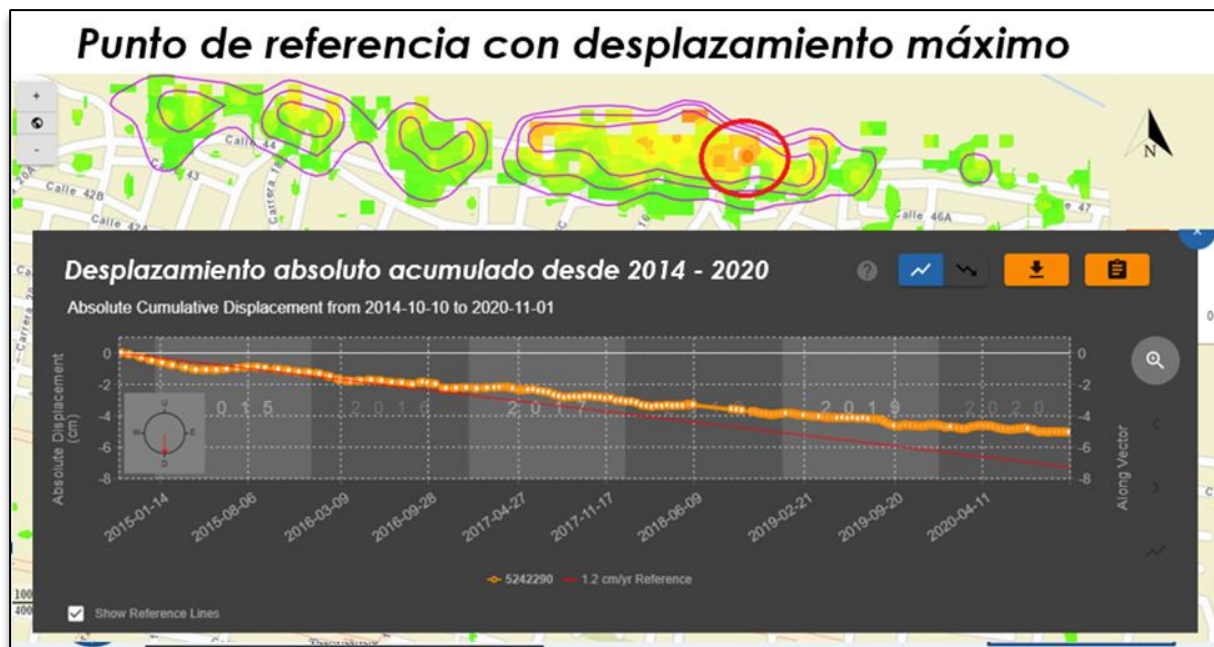
La primera zona identificada está ubicada en la Comuna 3 al noreste de la ciudad, específicamente en el barrio Hierbabuena la cual para efectos de este análisis se denominará zona "A", señalada en la figura 5.

Figura 5. Zona "A" - Barrio Hierbabuena.



Nota. Elaborado con 3vGeomatics

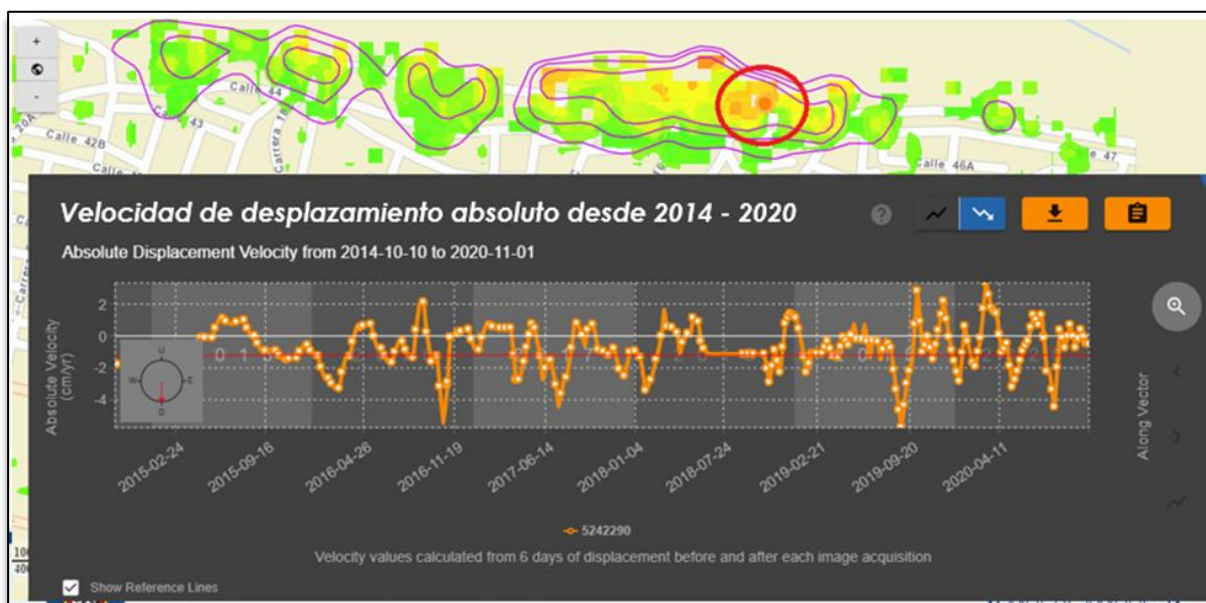
Figura 6. Desplazamiento absoluto zona "A".



Nota. Elaborado con 3vGeomatics

La base y el análisis de los datos Interferométricos suministrados por InSAR datan desde el 10 de octubre del año 2014 al 01 de noviembre del año 2020, es decir abarca un histórico de un poco más de 6 años. La zona “A” presenta un rango de velocidades promedio y constante de 0.81 cm/año, para un desplazamiento absoluto promedio de 5 cm durante el histórico de 6.1 años. (ver figura 6). Asimismo, en la zona se muestra un espectro de velocidades pico que oscilan entre 2 - 5 cm/año. (ver figura 7).

Figura 7. Velocidad de desplazamiento absoluto zona "A".



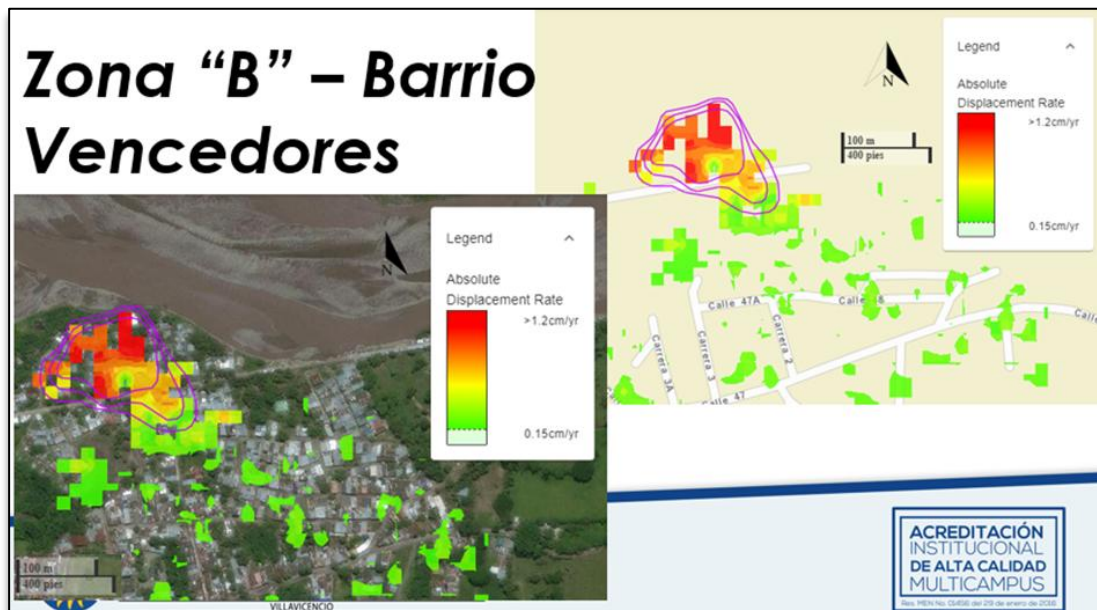
Nota. Elaborado con 3vGeomatics

### 7.1.2 Análisis zona “B”.

La segunda zona identificada está ubicada en la Comuna 4 al noreste de la ciudad, específicamente en el barrio Vencedores la cual para efectos de este análisis se denominará zona “B”, señalada en la figura 8. Esta zona exhibe uno de los factores más importantes a tener en cuenta en el análisis de datos presentados, el cual es la exhibición de una variación en los patrones de desplazamientos y una variación en las velocidades de los movimientos a lo largo del tiempo, específicamente esta zona muestra un desplazamiento superficial absoluto casi nulo entre el periodo del 10 de octubre de 2014 al 28 de septiembre de 2016, pero entre el periodo del 28 de septiembre de 2016 a 01 de noviembre del año 2020 se presentó un desplazamiento absoluto promedio de 7.6 cm, lo cual refleja una velocidad de desplazamiento promedio de 1.85 cm/año

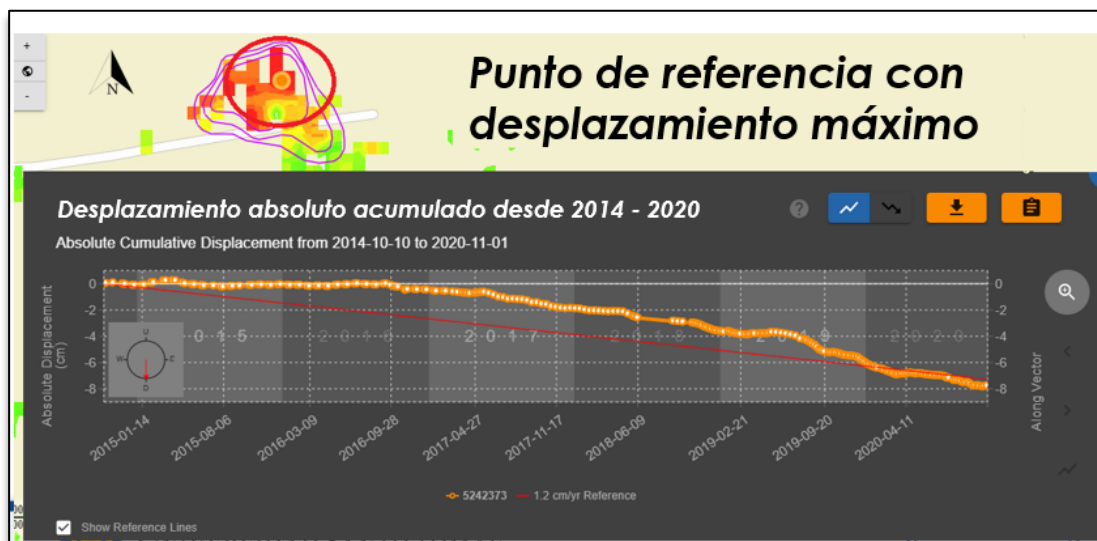
(ver figura 9). Asimismo, la zona muestra un espectro de velocidades pico que oscilan entre 2 – 2.5 cm/año entre el periodo del 10 de octubre de 2014 al 28 de septiembre de 2016, pero entre el periodo del 28 de septiembre de 2016 al 01 de noviembre del año 2020 se refleja un espectro de velocidades pico que oscilan entre 4.5 – 9.8 cm/año. (ver figura 10).

Figura 8. Zona "B" - Barrio Vencedores.



Nota. Elaborado con 3vGeomatics

Figura 9. Desplazamiento absoluto zona "B".



Nota. Elaborado con 3vGeomatics

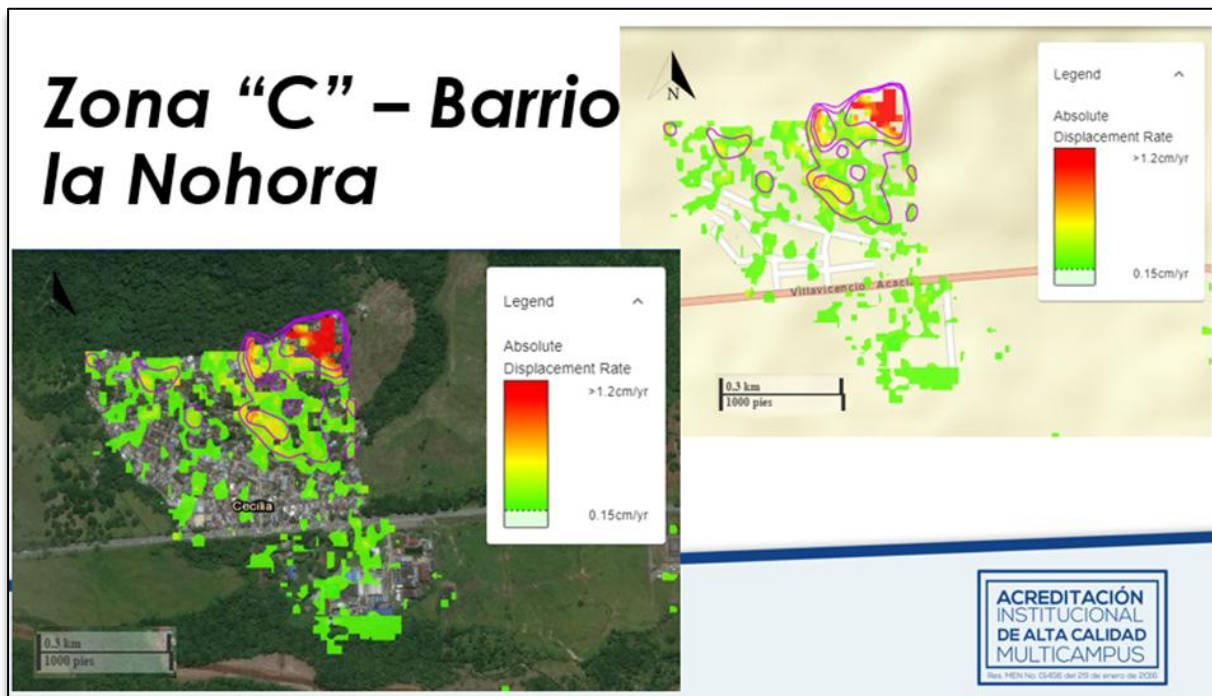
Figura 10. Velocidad de desplazamiento absoluto zona "B".



Nota. Elaborado con 3vGeomatics

### 7.1.3 Análisis zona "C".

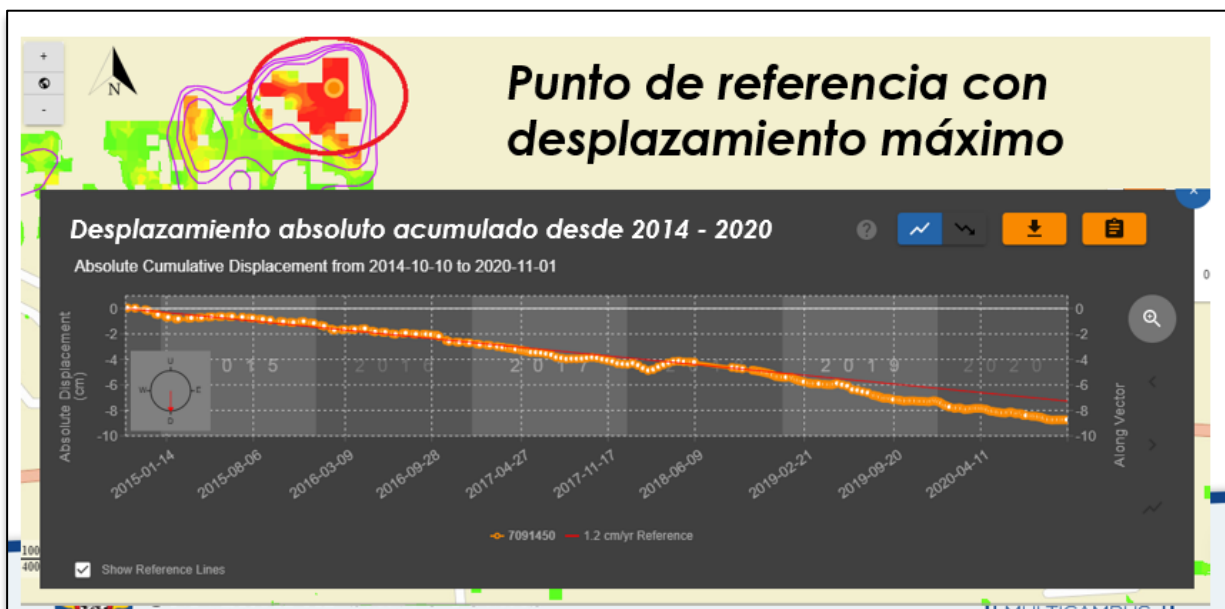
Figura 11. Zona "C" - Barrio La Nohora.



Nota. Elaborado con 3vGeomatics

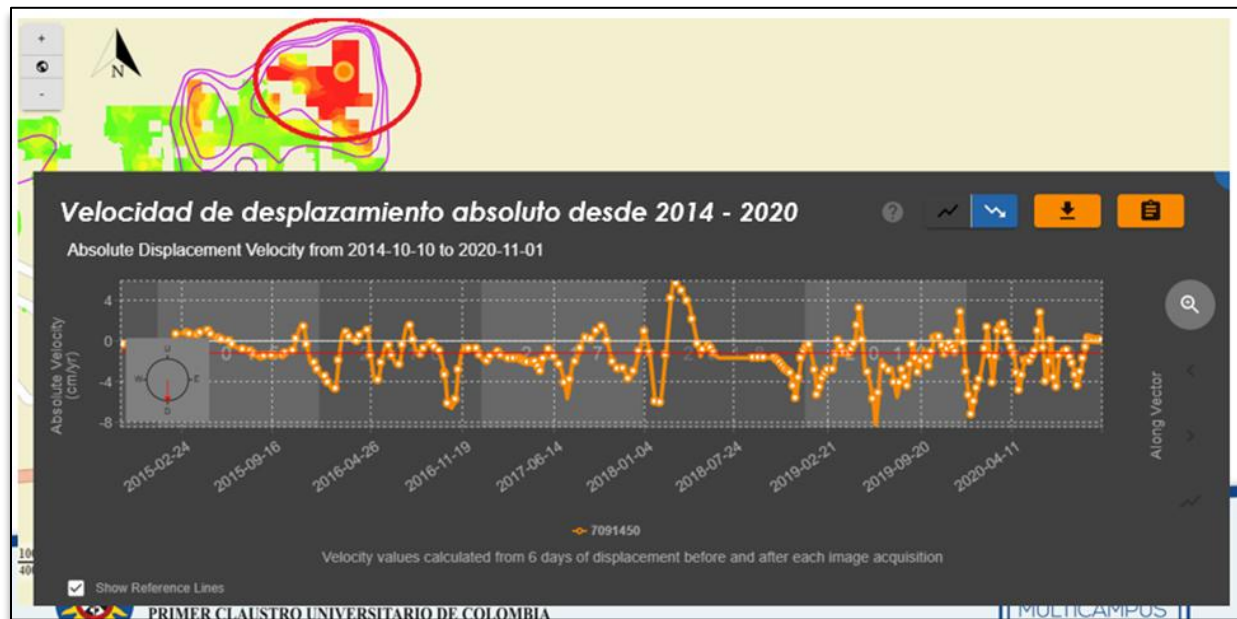
La tercera zona identificada está ubicada en la Comuna 8 al suroeste de la ciudad, específicamente en el barrio la Nohora la cual para efectos de este análisis se denominará zona “C”, señalada en la figura 11. Esta zona al igual que la zona “B” exhibe una variación en los patrones de desplazamientos y una variación en las velocidades de los movimientos a lo largo del tiempo, específicamente esta zona muestra un desplazamiento superficial absoluto promedio de 4.3 cm entre el periodo del 10 de octubre de 2014 al 15 de marzo de 2018 reflejando una velocidad de desplazamiento promedio de 1.26 cm/año, pero entre el periodo del 15 de marzo de 2018 al 01 de noviembre del año 2020 se presentó un desplazamiento absoluto promedio de 4.4 cm, lo cual refleja una velocidad de desplazamiento promedio de 1.69 cm/año (ver figura 12). Asimismo, la zona muestra un espectro de velocidades pico que oscilan entre 2.3 – 6.7 cm/año entre el periodo del 10 de octubre de 2014 al 15 de marzo de 2018, pero entre el periodo del 15 de marzo de 2018 al 01 de noviembre del año 2020 se refleja un espectro de velocidades pico que oscilan entre 5.3 – 8.2 cm/año. (ver figura 13).

Figura 12. Desplazamiento absoluto zona "C".



Nota. Elaborado con 3vGeomatics

Figura 13. Velocidad de desplazamiento absoluto zona "C".



Nota. Elaborado con 3vGeomatics

Es importante enfatizar que de acuerdo a la análisis anterior, las zonas “B y C” presentan espectros aceleratorios entre los años 2016 a 2020 y 2018 a 2020 respectivamente y gracias a estos datos se puede determinar un valor de aceleración promedio para cada zona, en los intervalos de tiempo donde se presentaron las variaciones de las velocidades de desplazamiento, haciendo una diferencian entre las magnitudes de las velocidades y relacionándolas con los respectivos periodos en los que representaron dichas variaciones, de tal forma que para la zona “B” se determina un valor de aceleración de desplazamiento promedio de  $0.43\text{cm/año}^2$  y para la zona “C” se determina un valor de aceleración de desplazamiento promedio de  $0.16\text{cm/año}^2$ , asimismo es necesario aclarar que sería prematuro asegurar que estas zonas con aceleración presentan un riesgo latente o inminente, para llegar a esas afirmaciones es necesario hacer un estudio más detallado en las zonas.

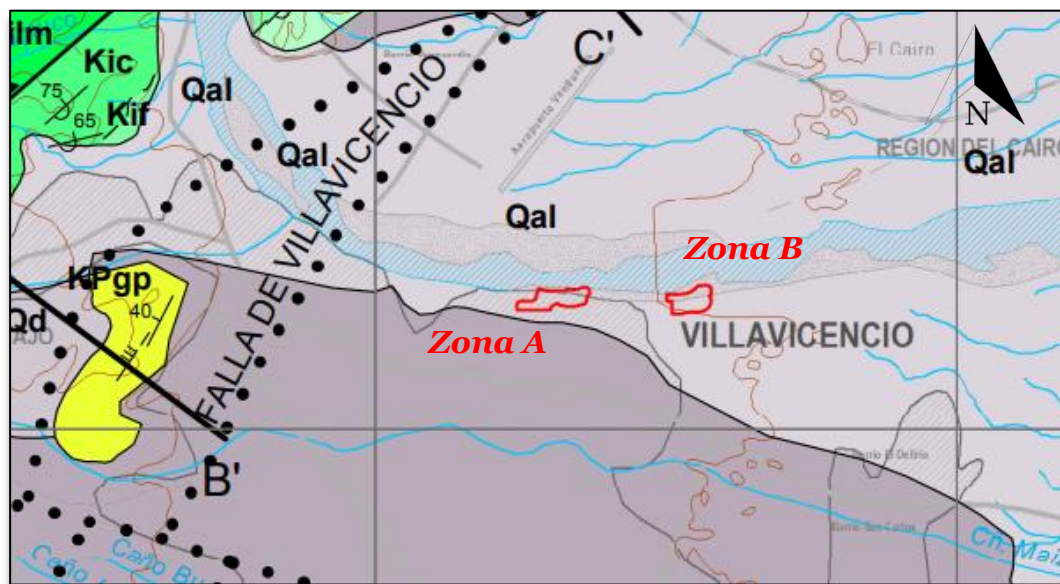
## 7.2 Análisis de amenaza de acuerdo a factores físicos

### 7.2.1 Análisis factores físicos zona “A y B”.

La Guía Metodológica Para La Zonificación De Amenaza Por Movimientos En Masa (SGC) establece que los movimientos en masa de terreno pueden ser causados por una variedad de

factores físicos que influyen en la estabilidad del suelo y la topografía de una zona (Rodríguez Castiblanco et al., 2017). Se aclara que el análisis de las características y factores físicos de las zonas “A y B” se realizan conjuntamente debido a su cercanía, la distancia entre los focos de estudio de cada zona no supera los 3.00 Km, además de que comparten características como su ubicación en la misma unidad cronoestratigráfica, así como también el estar ubicadas en el mismo costado sur del río Guatiquía. De tal forma que se para las zonas de estudio de analizaron los siguientes factores.

Figura 14. Plancha Geológica 266 con perímetros de las zonas “A y B”



Nota. Tomado de (Pulido González & Gomez Villalba, 2001)

- **Geología y características del suelo:** las zonas de estudio resultan estar ubicadas sobre Depósitos Aluviales (Qal) formados principalmente por sedimentos finos y gruesos, como gravas, arenas, limos y arcillas, que se han acumulado en los valles de los ríos Guatiquía y Guayuriba, restringidos a los causes de ríos y quebradas. (Pulido González & Gomez Villalba, 2001). Los sedimentos gruesos suelen estar compuestos por materiales provenientes de las cordilleras cercanas, como rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas. Los sedimentos finos son el resultado de la erosión y transporte de materiales por los ríos y arroyos que atraviesan la región.
- **Caracterización hidrográfica e hidrológica:** La zona de estudio se encuentra en la orilla derecha del río Guatiquía, en la región del piedemonte de la cordillera Oriental, a una altitud de 467 metros sobre el nivel del mar. La temperatura media anual en la

zona es de 27°C, con una precipitación media anual de 4.260 mm. Se observa un patrón bimodal de lluvias en la zona, con la primera temporada de lluvias en los meses de abril, mayo y junio y la segunda temporada con un pico de lluvias en octubre. Las lluvias más intensas se asocian con la primera temporada, que contribuyen aproximadamente 1.500 mm en tres meses y coinciden con la época de inundaciones, especialmente en mayo. La temporada seca se extiende de diciembre a febrero, con menos de 200 mm de lluvia en total.

En cuanto a las áreas de piedemonte y llanuras aluviales, se destaca la presencia de cuatro tipos de canales: rectilíneos, meandriiformes, entrelazados y anastomosados. El río Guatiquía es un río anastomosado que se caracteriza por el desarrollo de canales, depósitos de desbordamiento y llanuras de inundación. Este conjunto de características define un sistema fluvial con múltiples canales interconectados, baja sinuosidad y escasa deposición lateral. Los canales se relacionan entre sí de manera multilateral, o en algunos casos, aparecen aislados dentro de los depósitos de llanuras de inundación (Varón Gutiérrez & Vargas Cuervo, 2019).

Así mismo **Varón Gutiérrez & Vargas Cuervo (2019)** indican que la zona de estudio tiene una susceptibilidad media-alta y alta de sufrir inundaciones. Entre los barrios o sectores afectados por esta situación están Calamar, Hierbabuena, La Chorrera, Villa Julio, Camino Real, Topacio y Villa Suarez.

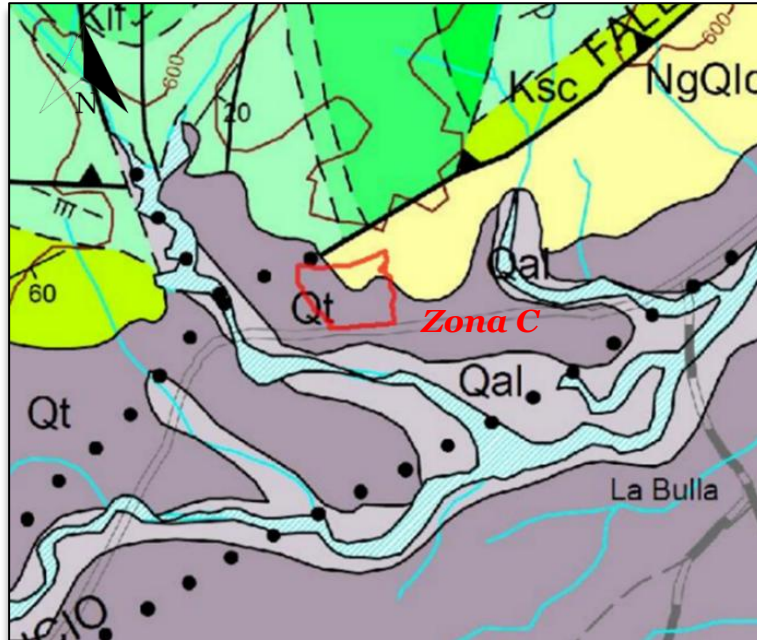
### ***7.2.2 Análisis factores físicos zona “C”.***

Continuando con las orientaciones de la Guía Metodológica Para La Zonificación De Amenaza Por Movimientos En Masa (SGC) para las siguiente la zona de estudio de analizaron los siguientes factores.

- **Geología y características del suelo:** El sector de la Nohora está compuesto en su gran mayoría por Terrazas aluviales (Qt). Este tipo de formación geológica, estas terrazas están conformadas por guijos y gravas de rocas sedimentarias y metamórficas producto de la degradación de las unidades geológicas que conforman le borde llanero. Así mismo la zona de estudio se encuentra en una parte de la Formación la corneta (NgQlc) rocosa en la cual se observan conglomerados que incluyen desde bloques hasta guijos de cuarcita, arenita y lodolita en una matriz arenosa gruesa, de color amarillento. Las cuales en algunos casos están limitadas por las fallas Colepato y Villavicencio que

están relacionadas con el Sistema de la Falla Frontal de la Cordillera Oriental (SFFFCO) **(Pulido González & Gomez Villalba, 2001)**.

Figura 15. Plancha Geológica 266 con perímetro de la zona "C".



Nota. Tomado de (Espitia Pinilla & Herrera Rendón, 2018, pág. 57)

Por otra parte, la zona presenta pendientes topográficas que oscilan entre 40 y 70° Harman Ortiz & Chicangana Monton (2013) y Espitia Pinilla & Herrera Rendón, (2018) analizaron once (11) sondeos con profundidades de hasta 6.00 m con el fin de obtener una concepción general de las características estratigráficas y principales parámetros de los suelos de la zona de estudio, analizando que las variables entre los sondeos se comportaban de manera similar, lo que produjo resultados muy similares entre sí. Para determinar el espesor y la cantidad de capas, se compararon las estratigrafías de cada sondeo y se llevó a cabo un índice de homogeneidad que los llevo a optar por definir que el suelo del área de estudio se caracterice en un modelo 3 capas.

Tabla 1. Caracterización capas del suelo

Profundidad	Peso unitario en seco en Kn/m <sup>3</sup>	Peso unitario en humedo en Kn/m <sup>3</sup>	Cohesion	Angulo de friccion
0.00 a 1.00 m	18	21	0	32
1.00 a 3.00 m	29.2	31	0	32
3.00 a 6.00 m	19.2	22	0	32

Nota. Tomado de (Espitia Pinilla & Herrera Rendón, 2018, pág. 65)

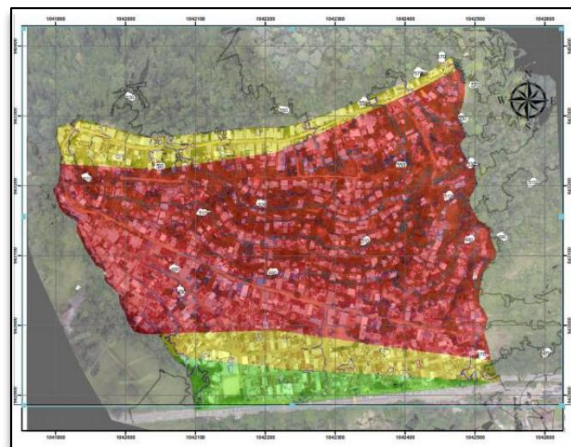
- Caracterización hidrográfica e hidrológica:** La zona que se está estudiando se caracteriza por tener una red de drenaje superficial que puede ser considerada moderada a densa, y que tiene la forma de un sistema de drenaje que varía entre el tipo paralelo y dendrítico. Este sistema tiene su origen en las partes más altas de la cordillera Oriental, al oeste del área urbana del municipio de Villavicencio, y fluye por la margen derecha del río Ocoa desde una altitud aproximada de 700 metros sobre el nivel del mar hasta su desembocadura en el río Ocoa, a una altitud de alrededor de 450 metros sobre el nivel del mar, cerca del sector de La Nohora.

El asentamiento de La Nohora está delimitado por dos microcuencas hidrográficas: la del Caño Monos y la del Caño Fanagra. Ambas nacen fuera del área de estudio y atraviesan el asentamiento por sus lados derecho e izquierdo, respectivamente, antes de desembocar en el río Ocoa. Estas dos microcuencas, contemplan áreas pequeñas y presentan formas ovaladas y oval oblongas alargadas, y fluyen en dirección del noroccidente al sureste.

En cuanto a, la cantidad de lluvia anual en el área es de 3980 mm, la cual se extiende a lo largo de 238 días, con un promedio de 73.3 mm de lluvia máxima en 24 horas. Hay una temporada seca que abarca de mediados de diciembre a mediados de marzo, durante la cual se recoge aproximadamente el 12% del total anual de precipitación. Por otro lado, hay una temporada húmeda que dura desde finales de marzo hasta finales de noviembre, en la cual se recoge cerca del 85% de la precipitación anual. Debido a esta distribución, la humedad relativa atmosférica presenta un promedio anual del 79%, con variaciones desde el 68% en enero hasta el 83% en junio (Harman Ortiz & Chicangana Monton, 2013).

Mediante el método propuesto por Bishop en 1955, el cual evalúa la estabilidad de un talud mediante un factor de seguridad FS de tipo circular y considerando el efecto de las fuerzas entre dovelas, (Espitia Pinilla & Herrera Rendón, 2018) lograron identificar la amenaza en la ladera del área de estudio. Los resultados indicaron que el 73.6% de la ladera presenta una amenaza alta, con una superficie afectada de 16.2 Ha. Asimismo, se determinó que el 18.6% de la ladera tiene una amenaza media, con una superficie afectada de alrededor de 4.1 Ha. Por otro lado, el 7.8% de la ladera presenta una amenaza baja, afectando una superficie de aproximadamente 1.7 Ha. Cabe destacar que las áreas de amenaza baja se encuentran en la parte inferior de la ladera contigua a la carretera nacional que va desde el municipio de Villavicencio hasta el municipio de Acacias. Estos resultados se presentan en la Figura 16, donde el color rojo representa la amenaza alta, el color amarillo representa la amenaza media y el color verde representa la amenaza baja.

Figura 16. Mapa de Amenaza Barrio la Nohora



Nota. Tomado de (Espitia Pinilla y Herrera Rendón, 2018, p. 84)

### 7.3 Análisis de amenaza de acuerdo a factores antrópicos

Ahora bien, la Guía Metodológica Para La Zonificación De Amenaza Por Movimientos En Masa (SGC) contempla diferentes factores antrópicos causales de movientes en masa, entre los cuales para efectos de este estudio se analizan los siguientes.

- **La deforestación:** este factor es muy importante en la amenaza de movimientos en masa de terreno, ya que puede causar una serie de impactos negativos en el suelo y el paisaje, incluyendo:

- Disminución de la cohesión del suelo: La deforestación puede aumentar la erosión del suelo, lo que reduce su cohesión y lo hace más propenso a los deslizamientos y las avalanchas.
  - Cambios en el régimen de humedad: La eliminación de la cobertura forestal puede alterar el régimen de humedad del suelo, lo que puede aumentar la probabilidad de deslizamientos y flujos de lodo durante las lluvias fuertes.
  - Alteraciones en la topografía: La deforestación puede causar cambios en la topografía de una zona, como la eliminación de laderas y la modificación de cursos de agua. Esto puede alterar la estabilidad del suelo y aumentar la probabilidad de deslizamientos.
- **Los asentamientos humanos indebidos o imposición de carga en el borde de laderas:** son un factor importante de amenaza de movimientos en masa de terreno. Estos asentamientos suelen estar ubicados en áreas de alto riesgo, como laderas empinadas, zonas costeras vulnerables a inundaciones y áreas propensas a deslizamientos de tierra. La urbanización no planificada, la falta de regulación adecuada, la pobreza y la necesidad de vivienda son algunos de los factores que contribuyen a la formación de asentamientos humanos en áreas de alto riesgo. En estos asentamientos, los hogares y las estructuras de infraestructura a menudo se construyen en suelos inestables, con poca o ninguna preparación del terreno y sin considerar las características geológicas y geotécnicas del sitio. Como resultado, los movimientos en masa de terreno, como los deslizamientos de tierra, las avalanchas, las inundaciones y los desbordamientos de ríos, pueden ser más frecuentes y más destructivos en estas áreas. Además, la presencia de asentamientos humanos en áreas de alto riesgo puede exacerbar los impactos de los movimientos en masa de terreno, aumentando la exposición de la población a la amenaza y limitando las opciones de respuesta y recuperación **(Rodríguez Castiblanco et al., 2017)**.

### ***7.3.1 Análisis factores antrópicos zona “A”.***

Para el análisis de las afectaciones antrópicas generadas en las zonas de estudio se realiza un comparativo multitemporal de imágenes satelitales focalizadas en los puntos máximos de desplazamientos identificados por InSAR, teniendo en cuenta que dicho comparativo se haga con imágenes acordes a las fechas y periodos en los que InSAR efectuó el procesamiento de los datos suministrados.

Figura 17. Imagen satelital zona "A", Fecha 19 de junio de 2015



Nota. Tomado de Google Inc.

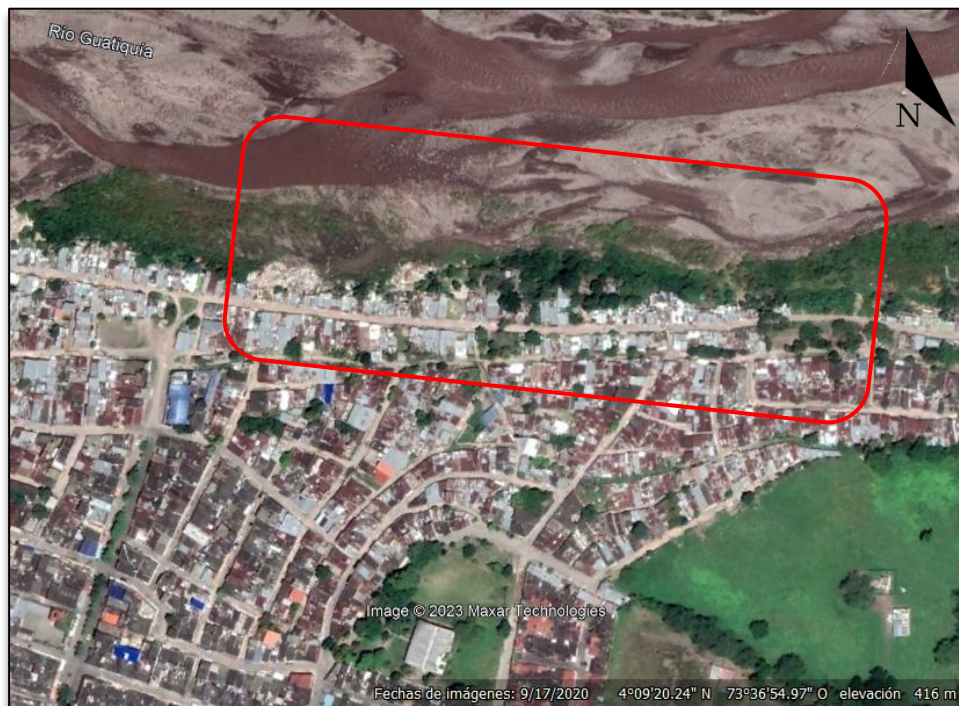
De acuerdo a las figura 17,18 y 19 se logra apreciar un asentamiento humano indebido en la costa del rio Guatiquía, asentamiento que a comparación de las demás edificaciones construidas paralelamente al cauce del afluente, esta se acerca peligrosamente al lecho del rio, en adición a lo anterior, también se logra apreciar que debido a la curvatura del meandro del rio proveniente del norte hacia el sureste, este cuerpo hídrico se está desplazando hacia la misma dirección en la que se ubican los asentamientos, lo cual representa una amenaza.

Figura 18. Imagen satelital zona “A”, Fecha 05 de diciembre de 2015



Nota. Tomado de Google Inc

Figura 19. Imagen satelital zona “A”, Fecha 17 de septiembre de 2020



Nota. Tomado de Google Inc

En relación a lo anterior, se infiere que la detección de los desplazamientos superficiales realizados por InSAR mayores en la zona de estudio a comparación de las demás zonas analizadas por InSAR en la ciudad, se debe a una correlación del acercamiento y expansión indebida y peligrosa entre asentamiento humano y el cuerpo hídrico, sumados a las propiedades físicas de la zona, como la propensión a procesos erosivos por las características granulométricas de los sedimentos de los depósitos aluviales.

### **7.3.2 Análisis factores antrópicos zona “B”.**

Las diferencias apreciadas entre las figuras 20 y 21 muestran claramente la deforestación de un área aproximada de 7.15 Ha al norte, además de apreciar que en un periodo de casi 3 años dicha deforestación se convirtió un asentamiento humano, lo cual comparado a los análisis efectuados por InSAR entre los años 2014 y 2016 en la misma zona, coinciden que en este mismo periodo de tiempo fue cuando los desplazamientos superficiales se mantuvieron casi inertes y las velocidades relativamente constantes.

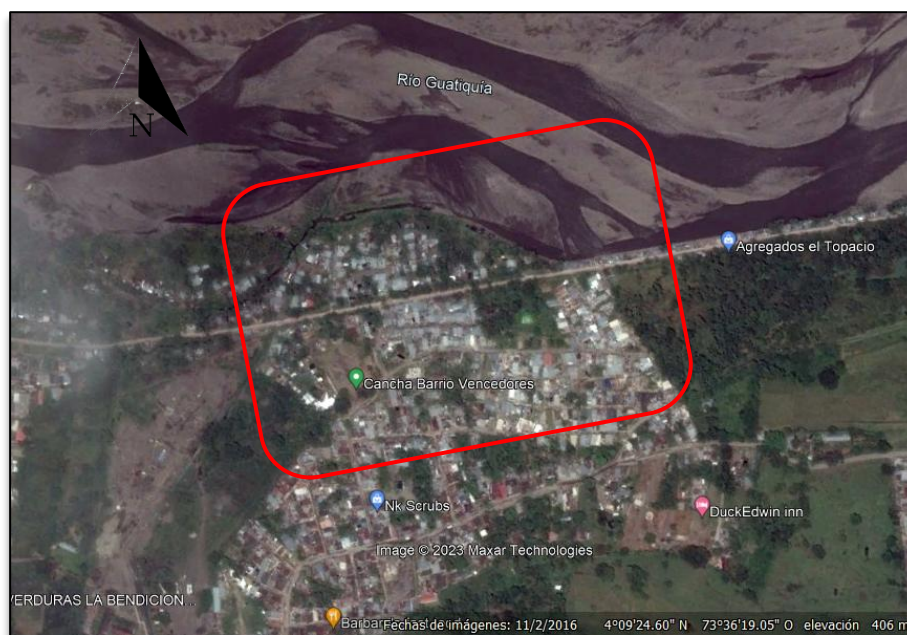
*Figura 20. Imagen satelital zona “B”, Fecha 9 de enero de 2014*



Nota. Tomado de Google Inc

Por otro lado, se observa que entre las figuras 21 y 22 el asentamiento se continuó consolidando en el área deforestada, además se detectó que el lecho del río se desplazó y amplió en un área de 1.67 Ha aproximadamente en donde alguna vez fue cobertura vegetal, por tales apreciaciones se infiere que dicho desplazamiento y ampliación del lecho del río se debió a la pérdida de la capacidad del terreno de encausar el flujo del río en un mismo curso, lo anterior a raíz de la deforestación en mención, añadido las propiedades físicas de la zona descritas también para la zona “A”.

Figura 21. Imagen satelital zona “B”, Fecha 2 de noviembre de 2016



Nota. Tomado de Google Inc

Paralelamente también se analiza que entre el periodo de 2016 a 2020, donde los asentamientos humanos se continuaban consolidando y ocupando lo que aproximadamente 3 años atrás fue capa vegetal, concuerda con el mismo periodo de tiempo donde el análisis de InSAR detectaron el incremento exponencial de los desplazamientos superficiales en la zona, donde la aceleración atípica de dichos desplazamientos se hizo presente, lo cual representa una señal de alerta. Todo lo anterior lleva a la conjetura de que existe una correlación directa entre la deforestación de la zona, la posterior ocupación con asentamiento y el desplazamiento del lecho del río con la detección efectuada por InSAR de la aceleración en el desplazamiento superficial del terreno de la zona.

Figura 22. Imagen satelital zona “B”, Fecha 19 de diciembre de 2020



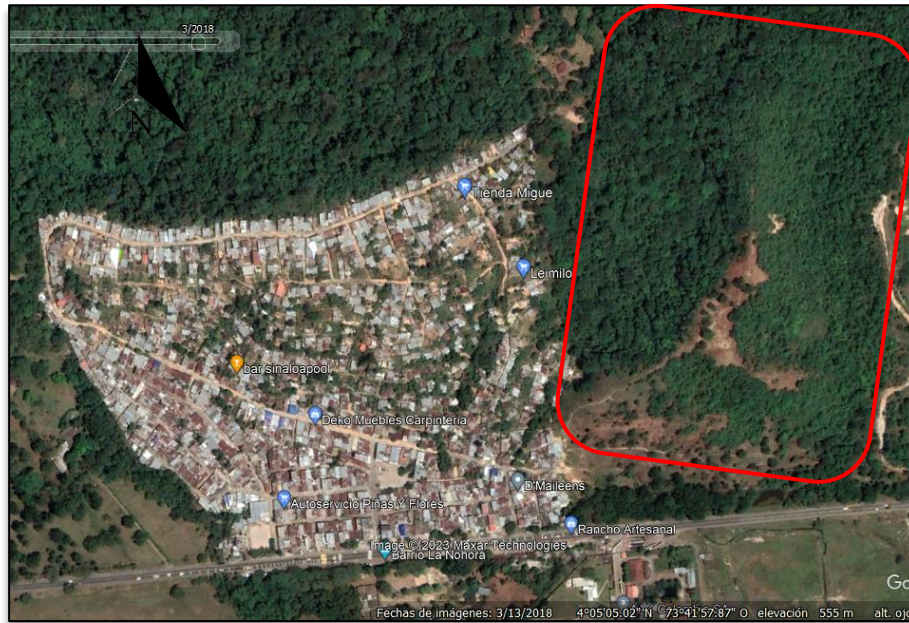
Nota. Tomado de Google Inc

### **7.3.3 Análisis factores antrópicos zona “C”.**

De acuerdo con la caracterización socioeconómica realizada en el estudio de (Espitia Pinilla & Herrera Rendón, 2018), se determinó que para el año 2018 en la zona de Nohora había en su momento 1635 propiedades, que estaban habitadas por aproximadamente 6644 personas. Señalando que esta cifra ha ido en aumento con el paso del tiempo y a la fecha del presente estas cifras puede ser mayores.

Similar a las condiciones encontradas en al análisis de la zona “B”, se observa que entre las ilustraciones 10.20 y 10.21 se presentó claramente dos secciones deforestadas de con áreas aproximada de 3.03 Ha y 9.21 Ha al este de la zona de estudio en un periodo de 7 meses.

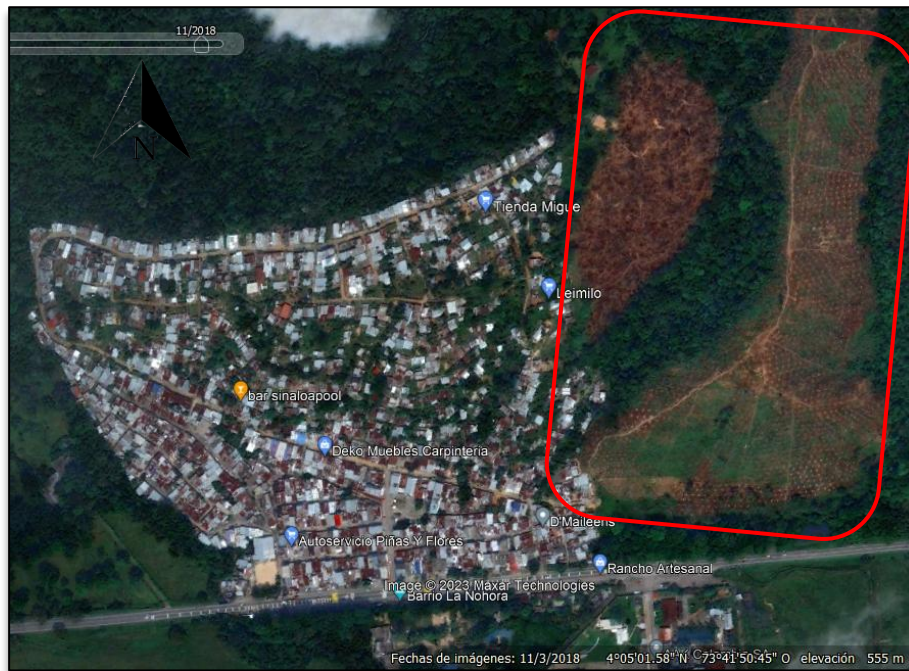
Figura 23. Imagen satelital zona "C", Fecha 13 de marzo de 2018.



Nota. Tomado de Google Inc

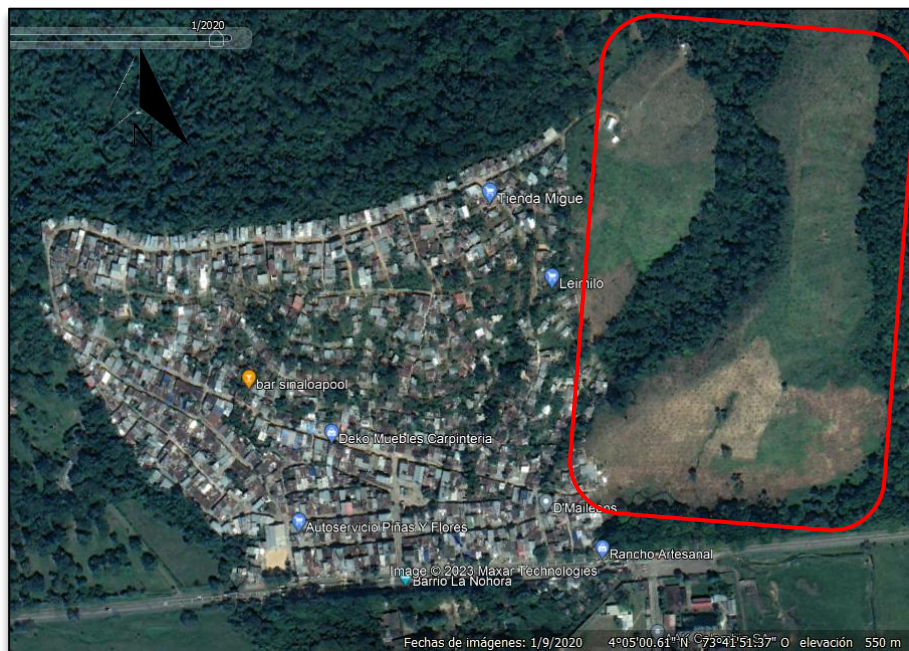
A continuación, también se examina cómo el período de 2018 a 2020, durante el cual se produjo la tala de árboles, coincide con el mismo intervalo de tiempo en el que el análisis de InSAR detectó un aumento en los movimientos superficiales en la zona. Este aumento en la velocidad de los desplazamientos puede interpretarse como una señal de advertencia. Así mismo, estos hallazgos reafirman la inferencia de que hay una relación directa entre la deforestación de la zona, la posterior ocupación con asentamientos humanos con la detección efectuada por InSAR de la aceleración en el desplazamiento superficial del terreno de la zona.

Figura 24. Imagen satelital zona “C”, Fecha 3 de noviembre de 2018.



Nota. Tomado de Google Inc

Figura 25. Imagen satelital zona “C”, Fecha 9 de enero de 2020.

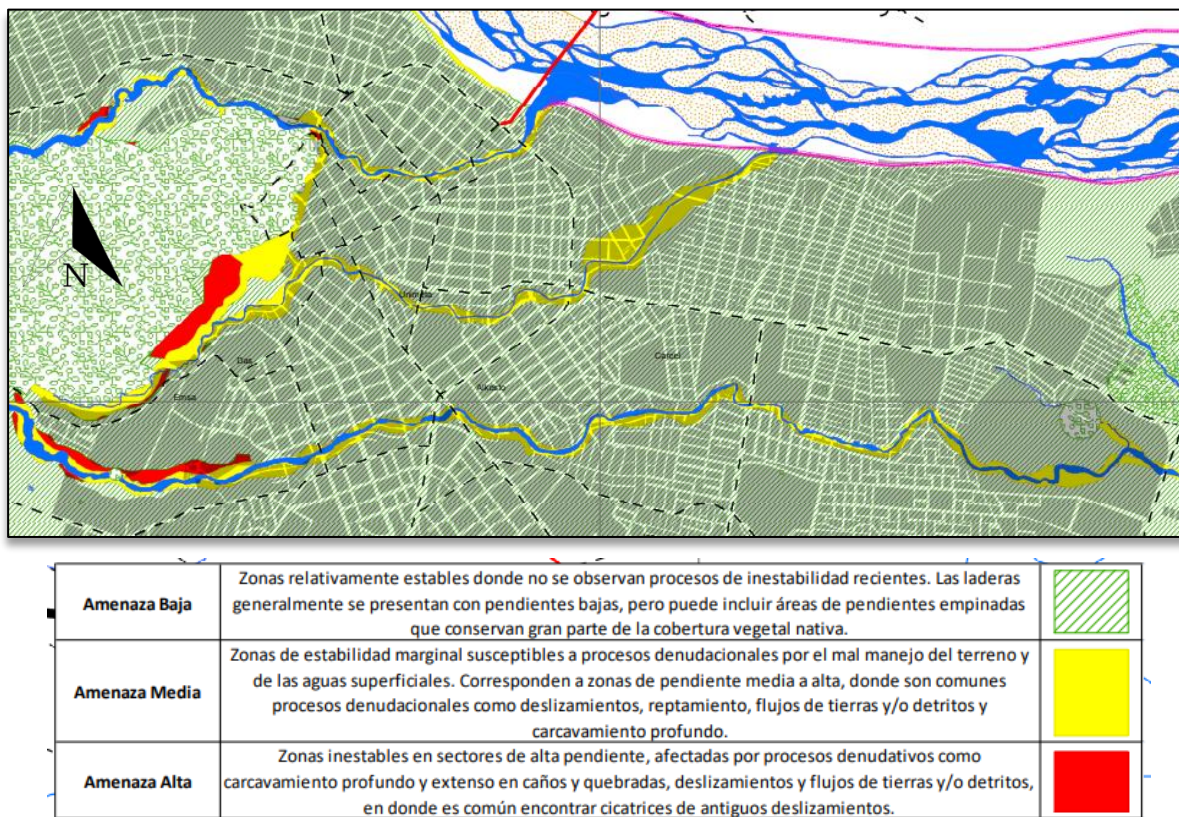


Nota. Tomado de Google Inc

### 7.4 Interpolación de resultados con Plan De Ordenamiento Territorial (POT)

Finalmente se realiza una interpolación entre el mapa de Zonificación de Amenazas Naturales por Remoción en Masa Suelo Urbano establecido por la alcaldía de Villavicencio en Plan De Ordenamiento Territorial (POT) en el año 2015. Donde gracias a la compatibilidad y facilidad de manipulación datos procesados por InSAR, se exporta la información desde la plataforma motionary2 (la cual es la plataforma de visualización de la información analizada por InSAR) de 3vGeomatics en un archivo tipo shapefile (.shp) con el importar dicha información en un software del campo de los Sistemas de Información Geográfica para su operación, asimismo se obtuvo el mapa de Zonificación de Amenazas Naturales por Remoción en Masa Suelo Urbano también en formato shapefile (.shp), para posteriormente contraponer toda la información, a través de herramientas de georreferenciación y construcción de isolíneas y elaborar un nuevo mapa producto, ver figura 27.

Figura 26. Segmento el mapa de Zonificación de Amenazas Naturales por Remoción en Masa Suelo Urbano (POT) - Escala 1:25.000

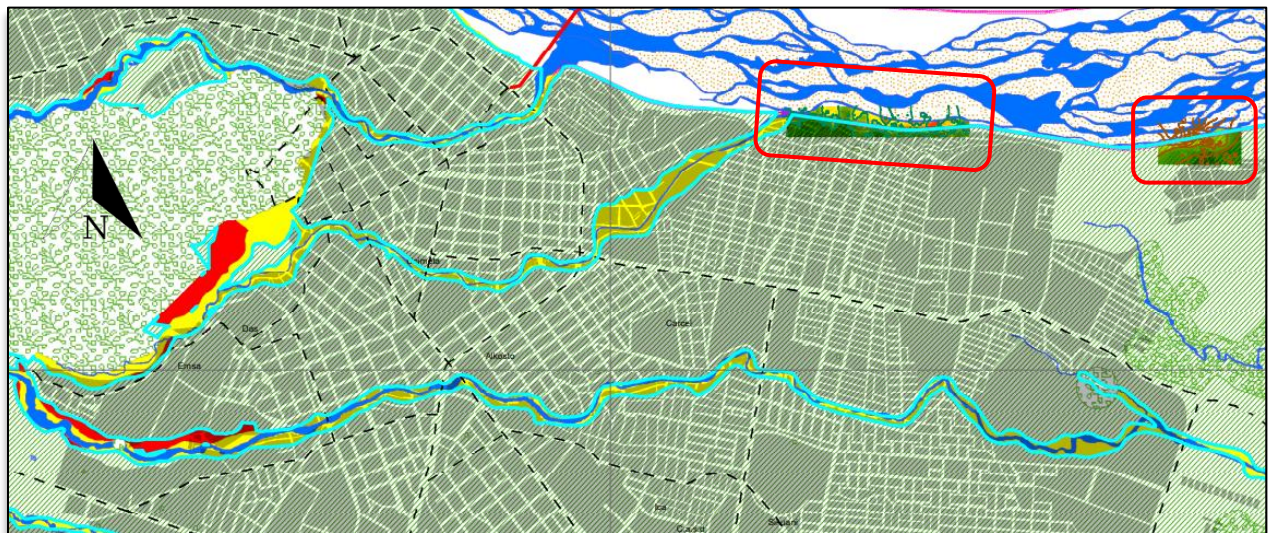


Nota. Tomado de (Alcaldía de Villavicencio, 2015)

Se menciona que a pesar de demostrar que la zona “C” presenta cierto nivel de amenaza, no logra interpolarse con el mapa de Zonificación de Amenazas Naturales por Remoción en Masa Suelo Urbano del (POT), debido a que esta zona este sale de su área de proyección, aun así, se aclara que la alcaldía de Villavicencio si contempla este sector como una zona con amenaza de fenómenos de remoción en masa gracias a los diferentes estudios e informes elaborados por la academia y demás entidades.

Es importante el analizar, ¿Por qué el mapa de Zonificación de amenazas naturales por remoción en masa suelo urbano del (POT) contempla un nivel de amenaza bajo en las ubicaciones de las zonas “A y B” estudiadas? dónde específicamente se catalogan como zonas relativamente estables donde no se observan procesos de inestabilidad recientes. Si bien en este proyecto demuestra que las 3 zonas de estudio presentan cierto nivel de amenaza de acuerdo a sus análisis de factores físico y antrópicos. Ver figura 26 y 27.

*Figura 27. Segmento el mapa de Zonificación de Amenazas Naturales por Remoción en Masa Suelo Urbano (POT) - Escala 1:25.000 con interpolación de datos InSAR*



Nota. Tomado de (Alcaldía de Villavicencio, 2015)

La anterior interrogante podría responderse mediante el análisis detallado de los estudios y consideraciones presentes en el momento elaborar el documento del POT y el mapa en cuestión, como:

- El mapa es claro al momento de proyectar la línea de resguardo para el dique Guatiquía, el cual delimita el área en la que corresponde a desarrollo urbano y las áreas de proyección del cuerpo hídrico, de tal forma que no debería contemplarse

algún tipo de desarrollo urbano es esta zona. Pero que desafortunadamente por culpa de La urbanización no planificada, la falta de regulación adecuada, la pobreza y la necesidad de vivienda fueron algunos de los factores que pudieron contribuir a la formación de estos asentamientos mencionados anteriormente.

- Cabe la posibilidad de que los estudios, modelos de comportamiento históricos de afectación que se disponían en el momento de su elaboración del mapa en cuestión no contenían las suficientes bases y argumentaciones como para considerar estas zonas como amenazadas.

Por último, también resulta importante el analizar, ¿Por qué los datos de desplazamientos superficiales de terreno obtenidos y analizados por InSAR no presentan valores significativos en aquellas zonas del mapa de Zonificación de amenazas naturales por remoción en masa suelo urbano del (POT) donde si se contempló niveles de amenaza medios y altos? Como respuesta se manifiesta que esto se debe a que una de las mayores limitaciones que presenta el satélite ALOS-2 implementado para la obtención de los datos analizados por InSAR, específicamente limitaciones de la toma de datos Interferométricos en áreas de cobertura vegetal densa, como la presentas en aquellas áreas donde el POT si determina niveles de amenaza medios y altos, esta limitación es debida a la dispersión de la señal de radar, la limitada penetración de la señal, la interferencia con otras señales y la precisión de la medición de la altitud.

## Conclusiones

- De acuerdo a los análisis realizados a los datos de detección de desplazamientos superficiales de terreno y velocidades de movimiento suministrados por InSAR, complementados con estudios relacionados a la gestión del riesgo de fenómenos de remoción en masa, específicamente con la elaboración de análisis a factores físicos y antrópicos intervinientes para la determinación de amenazas, sugeridos por La Guía Metodológica Para La Zonificación De Amenaza Por Movimientos En Masa del SGC. Se logró identificar 3 zonas con amenaza por fenómenos de remoción en masa en la ciudad de Villavicencio-Meta,
  - ❖ La primera zona identificada está ubicada en la Comuna 3 al noreste de la ciudad, específicamente en el barrio Hierbabuena en colindancia al río Guatiquía, la cual para efectos de este proyecto se denominó zona “A”.
  - ❖ La segunda zona identificada está ubicada en la Comuna 4 al noreste de la ciudad, específicamente en el barrio Vencedores también en colindancia al río Guatiquía, la cual para efectos de este proyecto se denominó zona “B”.
  - ❖ La tercera zona identificada está ubicada en la Comuna 8 al suroeste de la ciudad, específicamente en el barrio la Nohora, la cual para efectos de este proyecto se denominó zona “C”.
- Se logró determinar la existencia de una correlación directa entre el desplazamiento superficial de terreno, la velocidad de movimiento e incidencias de aceleración de las zonas con amenaza por fenómenos de remoción en masa identificadas con InSAR, con respecto a algunos de los factores físicos y antrópicos analizados y sugeridos por La Guía Metodológica Para La Zonificación De Amenaza Por Movimientos En Masa del SGC. Principalmente se identificó que los factores que mayor correlación tienen con los análisis de datos efectuados con InSAR son los factores antrópicos, especialmente los factores relacionados con la deforestación, asentamientos indebidos, desarrollo de infraestructura en zonas con presencia de fenómenos naturales como inundaciones y zonas con laderas inestables, argumentado en que de acuerdo a los resultados en aquellos periodos de tiempo donde se hacía más notoria la incidencia de estos factores antrópicos, se reflejaba una respuesta prácticamente consecuente en los datos de InSAR.
- Se observó que, respecto a los resultados actuales de zonificaciones de amenaza por fenómenos de remoción en masa, especialmente los señalados en el mapa de Zonificación de Amenazas Naturales por Remoción en Masa Suelo Urbano del (POT), comparados con

los resultados del desplazamiento superficial de terreno y la velocidad de movimiento obtenidas y analizadas con InSAR, estos últimos presentan una limitación con relación al satélite ALOS-2 implementado para la obtención de los datos analizados por InSAR para efectos de este proyecto, específicamente la limitación de la toma de datos Interferométricos en áreas de cobertura vegetal densa, debido a la dispersión de la señal de radar, la limitada penetración de la señal, la interferencia con otras señales y la precisión de la medición de la altitud.

### **Metodología para complementar con la tecnología InSAR las metodologías actuales de zonificación de amenaza por movimientos de remoción en masa.**

#### *I. Establecer el área de estudio:*

InSAR tiene la capacidad de obtener y analizar datos Interferométricos de casi cualquier parte del mundo, lo cual resulta bastante conveniente para implementar esta tecnología en zonas de difícil acceso o que cuentan con recursos limitados como para hacer identificaciones y estudios de zonas amenazadas por fenómenos de remoción en masa con metodologías estándares. Implementar tal tecnología optimizaría y haría más eficiente la identificación preliminar de zonas con susceptibilidad de este tipo de amenazas en cualquier parte del territorio nacional.

Se recomienda implementar los análisis de InSAR en áreas no mayores a 1350 Km<sup>2</sup>, toda vez que la extracción y manipulación de los datos podría llegar a ser complicada, además que los resultados obtenidos en estas áreas pueden diferir significativamente y podrían complicar la identificación preliminar de las zonas susceptibles a amenazas. Además, que el costo de procesamiento de los datos para dichas áreas puede llegar a ser costosa en relación al beneficio adquirido.

#### *II. Adquirir el procesamiento de los datos para las áreas establecidas:*

Se debe cerciorar que los datos Interferométricos y su procesamiento provenga de fuentes confiables, toda vez que esta información será implementada en la identificación de las zonas susceptibles a amenazas, que a su vez están directamente relacionada la seguridad, integridad y calidad de vidas humanas.

Se recomienda que de los datos adquiridos y analizados por InSAR tengan un intervalo de tiempo no menor a 5 años, a razón que, de efectuarse la identificación y selección preliminar de las zonas con susceptibilidad de amenaza con análisis de datos de InSAR con intervalos de tiempo menores, podría resultar en una selección no muy confiable.

*III. Identificar y seleccionar preliminarmente las zonas de estudio con aparente susceptibilidad de amenaza:*

Se debe Identificar y seleccionar las zonas los con mayores valores de desplazamiento superficial, velocidad del movimiento, prestando especial cuidado a datos que indiquen comportamientos atípicos en dichos desplazamientos, específicamente brindar mayor atención a zonas que reflejen una aceleración en sus desplazamientos superficiales. Aclarando que el identificar estas zonas según este criterio, no significa que inequívocamente de estas zonas en efecto si presenta cierto nivel amenaza, para llegar a tales conclusiones deben realizar los siguientes pasos.

*IV. Articular e implementar las metodologías y técnicas vigentes para la determinación del nivel amenazas regentes en las zonas de estudio:*

Articular e implementar las metodologías y técnicas vigentes establecidas por las diferentes entidades encargadas en la gestión del riesgo regentes en las áreas de estudio, como las oficinas de gestión del riesgo, secretarías de planeación e infraestructura, en caso de existir, de lo contrario el implementar la metodología establecida en la Guía Metodológica Para La Zonificación De Amenaza Por Movimientos En Masa Escala 1: 25.000 del (SGC) sería aceptable toda vez que esta institución rige a nivel nacional.

*V. Análisis de los factores físicos y antrópicos:*

Realizar un análisis de los factores físicos y antrópicos intervinientes en la determinación de la amenaza por fenómenos de remoción en masa en las zonas preliminares identificadas anteriormente resulta prácticamente imperativo.

Los factores antrópicos resultan ser especialmente importantes, toda vez que se ha demostrado la existencia de una correlación directa del comportamiento de estos factores con los análisis de datos suministrados por InSAR.

Así mismos realizar una visita al campo de las zonas de estudio, elaborar ensayos de laboratorio para la caracterización geológica, levantamientos topográficos, modelos de elevación digital, así como efectuar y/o adquirir estudios de los comportamientos hidrológicos e hidrográficos para cada zona de estudio, brindarían información muy importante para la determinación o no, de algún nivel de amenaza.

*VI. Efectuar un comparativo de los datos e información adquirida y/o generadas con respecto estudios o determinaciones previas de amenaza en las zonas de estudio, en caso de existir:*

Realizar comparativos, contraposiciones y/o interpolaciones de los datos de la información adquirida y/o generadas con respecto estudios o determinaciones de previas de amenaza en las

zonas de estudio, como informes de amenazas efectuados por la academia o por entes de control para la gestión de riesgo, esquemas y mapas de zonificación de amenazas en planes de ordenamiento territoriales, entre otros, generarían una mejor calidad y complementación de la determinación del nivel de amenaza que se estimaría en cada zona. Lo anterior toda vez que en efecto existan dichos estudios o determinaciones de previas de amenaza, de lo contrario se continúa al siguiente paso.

*VII. Generar los productos que determinen el área y nivel de amenaza presentado en las áreas de estudio, en relación los análisis y modelaciones de información efectuados en los pasos anteriores:*

Finamente se debe realizar una agrupación y organización de los todos análisis y estudios recopilados y/o efectuados, de tal manera que se generen productos, documentaciones y/o mapas que sirvan como llamados de atención dirigidos a los mecanismos o entidades de control encargadas para la gestión del riesgo, donde sean estas mismas entidades quienes pongan las obras y/o mecanismos que eliminen o mitiguen los niveles de amenaza por fenómenos de remoción en masa identificadas para cada zona o para el área de estudio en general.

Cabe mencionar que todo lo anterior propuesto, en esta metodología para la articulación de InSAR en los procesos para la gestión del riesgo, se hacen con el fin de velar por la seguridad, integridad y calidad de vida de los habitantes de la ciudad.

## **Recomendaciones**

Para futuras investigaciones se recomienda adquirir análisis de datos Interferométricos con satélites con la capacidad de generar ondas de radar de mayor penetración que permitan detectar desplazamientos de terreno y velocidades de movimiento en zonas con cobertura de material vegetal densa, dichos datos pueden suministrar información valiosa que podrían mejorar la calidad en los análisis de la determinación de la amenaza existentes en las zonas de estudio. Así como también estos de adquirirse estos datos podrían aplicarse en otros campos de investigación como minería, la agricultura, infraestructura de vías, entre otros

Antes de utilizar InSAR, es importante tener un buen conocimiento sobre los fenómenos de remoción en masa, las técnicas de gestión del riesgo y las herramientas disponibles para monitorear y evaluar los desplazamientos del terreno. InSAR puede ser una herramienta valiosa para la evaluación de amenazas de remoción en masa, pero es importante elegir una zona adecuada para su aplicación, dicha zona debe tener características geológicas, topográficas y climáticas similares para garantizar confiabilidad de los resultados.

InSAR depende de los datos satelitales para monitorear los cambios en el terreno, ello se recomienda asegúrese de tener acceso a datos de alta resolución y de calidad para obtener resultados precisos y confiables. La interpretación de los datos de InSAR puede ser complicada, por lo que es importante utilizar técnicas de procesamiento de datos adecuadas para extraer información útil y precisa de los datos. InSAR puede ser una herramienta útil para la evaluación de amenazas de remoción en masa, pero es importante complementarla con otras herramientas y técnicas, como el análisis geológico, la teledetección y el monitoreo en el campo para obtener una evaluación integral del riesgo.

### Referencias bibliográficas

- Alcaldía de Villavicencio. (2015). *Plan De Ordenamiento Territorial (POT) Villavicencio-Meta Zonificación de Amenazas Naturales, Remoción en Masa Suelo Urbano, Plano 5A*. [https://www.villavicencio.gov.co/centrodedocumentacion#open=30\\_63\\_1225\\_1228](https://www.villavicencio.gov.co/centrodedocumentacion#open=30_63_1225_1228)
- Blanco Sánchez, P., Barreto Arciniegas, G., & Ortiz Abaunza, D. (2010). La interferometría diferencial DinSAR – una técnica para el monitoreo de la subsidencia en Bogotá D. C. *Boletín Colombiano de Geotecnia (GBA)*. <http://www.icc.es/cat/Media/Files/La-Interferometria-diferencial-DInSAR-Una-tecnica-para-el-monitoreo-de-la-subsidencia-en-Bogota-D.-C>
- Cobos Romero, J. C., & Salamanca Pira, W. A. (2021). Gestión del riesgo por movimientos en masa en área urbana, en el estudio de caso - sector denominado altos de la estancia localidad ciudad bolívar en la ciudad de Bogotá. [Tesis de Maestría, Universidad Santo Tomás]. *Repositorio Institucional*. <https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/28399/CobosRomeroJohanaCarolina2021.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Cruz Castañeda, A. N. (2019). Análisis de La Amenaza por procesos de remoción en masa en el Barrio San José de la Ciudad de Villavicencio. [Trabajo de grado, Universidad Santo Tomás]. *Repositorio Institucional*. <https://repository.usta.edu.co/handle/11634/15584?show=full>
- Espitia Pinilla, H. S., & Herrera Rendón, M. Á. (2018). Análisis de amenaza por procesos de remoción en masa bajo agentes climatológicos en el municipio de Villavicencio, Meta, zona de estudio La Nohora. [Trabajo de grado, Universidad Santo Tomás]. *Repositorio Institucional*. <https://repository.usta.edu.co/handle/11634/12065?show=full>
- Guarín Castillo, J. E., & Guevara Lima, J. R. (2021). Estudio interferométrico diferencial (DinSAR) para el monitoreo de la deformación del terreno por el proceso constructivo en la ciudad de Bogotá. [Tesis de Maestría, Universidad Católica de Manizales]. *Repositorio Institucional*. [https://repositorio.ucm.edu.co/bitstream/10839/3394/1/Estudio\\_interferometrico\\_diferencial\\_DInSAR\\_monitoreo\\_deformacion\\_terreno\\_proces\\_constructivo\\_Ciudad\\_Bogota.pdf](https://repositorio.ucm.edu.co/bitstream/10839/3394/1/Estudio_interferometrico_diferencial_DInSAR_monitoreo_deformacion_terreno_proces_constructivo_Ciudad_Bogota.pdf)
- Harman Ortiz, J. F., & Chicangana Monton, G. (2013). Zonificación de amenazas por remoción en masa, sector la Nohora – Montecarlo. Recomendaciones al plan de ordenamiento

- territorial POT. [Trabajo de grado, Corporación Universitaria del Meta]. *Repositorio Institucional*. <https://repositorio.unimeta.edu.co/handle/unimeta/85>
- Hurtado Acosta, A. P., & Suarez Jaimes, P. A. (2018). Estimación de la subsidencia de la ciudad de Bogotá mediante imágenes de radar y técnicas de interferometría diferencial DinSAR. [Trabajo de grado, Universidad Distrital Fransisco José de Caldas]. *Repositorio Institucional*. <https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/11349/13776/1/SuarezPaolaHurtadoAcosta2018.pdf>
- Ibáñez Caicedo, J. C., & Bernal Gonzalez, M. D. (2021). Sistema de alerta temprana para el fenómeno de remoción en masa del sector Altos de la Estancia. [Trabajo de grado, Universidad Distrital Fransisco José de Caldas]. *Repositorio Institucional*. <https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/28460/Iba%C3%B1ezCaicedoJulianCamilo2021.pdf?sequence=9&isAllowed=y>
- Mergili, M., Marchant Santiago, C., & Moreiras, S. (2014). Causas, características e impacto de los procesos de remoción en masa, en áreas contrastantes de la región Andina. *Cuadernos de Geografía*, 24(2), 113-131. <http://www.scielo.org.co/pdf/rcdg/v24n2/v24n2a7.pdf>
- Milanes Batista, C., Galbán Rodríguez, L., & Olaya Coronado, N. J. (2017). *Amenazas, riesgos y desastres: Visión teórico-metodológica y experiencias reales*. Ediciones Corporación Universidad de la Costa. <https://hdl.handle.net/11323/1156>
- Ojeda Arzuza, A. D. (2021). Potencial de la Interferometría de Radar de Apertura Sintética (InSAR) para el análisis del desplazamiento del terreno: caso de estudio Barranquilla, Colombia. [Trabajo de grado, Universidad del Norte]. *Repositorio Institucional*. <https://manglar.uninorte.edu.co/handle/10584/10194>
- Pulido González, O., & Gomez Villalba, L. S. (2001). *Geología de la Plancha 266 Villavicencio*. Instituto Nacional de Investigaciones Geológico Mineras (Ingeominas).
- Restrepo Velásquez, J. J. (2020). Aprovechamiento de radar de apertura sintética para la gestión del riesgo de desastres: detección de zonas de amenaza por subsidencia en el área urbana del municipio de Pereira en el departamento de Risaralda. [Trabajo de grado, Universidad Tecnológica de Pereira]. *Repositorio Institucional*. <https://repositorio.utp.edu.co/server/api/core/bitstreams/9a2b7459-3aa1-451e-997b-a3e64fa1fe51/content>
- Rodríguez Castiblanco, E., Sandoval Ramírez, J., Chaparro Cordón, J., Trejos González, G., Medina Bello, E., Ramírez Hernández, K., . . . Ruiz Peña, G. (2017). *Guía metodológica*

- para la zonificación de amenaza por movimientos en masa escala 1: 25.000*. Servicio Geológico Colombiano. <https://doi.org/10.32685/9789585978225>
- Salazar Rojas, J. A. (2022). Cuantificación del Riesgo por Fenómenos de Remoción en Masa en Colombia: Uso de Sensores Remotos en la Evaluación de la Precipitación Antecedente como Detonante. [Tesis de Maestría, Universidad del Rosario]. *Repositorio Institucional*. <https://repository.urosario.edu.co/bitstream/handle/10336/36826/SalazarRojas-JairoAndres-2022.pdf?sequence=1>
- 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://core.ac.uk/download/pdf/230733718.pdf>
- Tocasuche Castro, N. D., & Peñaloza Molina, L. K. (2018). Detección y análisis de deslizamientos utilizando interferometría diferencial (D-InSAR) entre los años 2015 y 2017 en las provincias norte y Valderrama del departamento de Boyacá. [Trabajo de grado, Universidad Distrital Francisco José de Caldas]. *Repositorio Institucional*. <https://repository.udistrital.edu.co/handle/11349/13777>
- Tomás, R. (2022). Aplicaciones de la interferometría radar de satélite en ingeniería civil. *Revista de Obras Públicas*, 3635, 97-103, 3635, 97-103. <https://www.revistadeobraspublicas.com/articulos/aplicaciones-de-lainterferometria-radar-de-satelite-en-ingenieria-civil/>
- Varón Gutiérrez, S. D., & Vargas Cuervo, G. (2019). Análisis de la susceptibilidad por inundaciones asociadas a la dinámica fluvial del río Guatiquía en la ciudad de Villavicencio, Colombia. *Cuadernos de Geografía*, 28(1), 152-174. <https://doi.org/10.15446/rcdg.v28n1.70856>

## **Anexos**

A continuación, encontrará la lista de anexos que contienen información relevante que le ayudarán a comprender mejor el contenido de esta investigación.

**Anexo 1.** *Mapa de interpolación Zonificación de Amenazas Naturales por Remoción en Masa Suelo Urbano del (POT) con análisis de datos obtenidos por InSAR.*