

**ANALISIS MULTITEMPORAL DESDE FOTOGRAMETRÍA,
RESTITUCIÓN TOPOGRÁFICA Y RECURSOS SIG; DEL
AVANCE EN LA INESTABILIDAD (FACTORES
CONTRIBUYENTES Y DETONANTES) EN EL PRIMER
TRAMO DE 250 METROS EN LA VÍA MANIZALES-NEIRA
DEPTO DE CALDAS, ENTRE LOS AÑOS 2007 Y 2021.**

**OPCIÓN DE GRADO
ENSAYO**

JARRISON VANEGAS GALLEGO

Universidad Militar Nueva Granada

Abril 2021



Contenido

1	Resumen	5
2	Introducción.....	6
3	Planteamiento del problema.	8
4	Justificación.....	9
5	Objetivos	10
5.1	Objetivo general.....	10
5.2	Objetivos específicos.	10
6	Diseño metodológico	11
7	Localización.....	13
8	Marco referencial.....	14
8.1	Estudios previos.....	15
8.2	Recolección de información primaria	16
8.3	Fotogrametría e imágenes satelitales	17
8.3.1	Procedimiento.....	18
8.4	Análisis de variables	21
8.5	Geología local.....	22
8.5.1	Complejo Quebradagrande.....	22
8.5.2	Flujos Piroclásticos.....	22
8.5.3	Rocas piroclásticas.....	23
8.6	Geomorfología.....	24
8.6.1	Elementos.....	25
8.7	Pendientes.....	26
8.8	Dirección de flujos	28
8.9	Hidrogeología	29
8.10	Cuencas	30
8.11	Usos del suelo.....	31
9	Resultados.....	33
9.1	Análisis multitemporal.....	33
10	Recomendaciones geotécnicas	43
10.1	Análisis.....	44
10.1.1	Taponamiento de grietas	45
10.1.2	Trinchos vivos en vertedero – trinchos disipadores.....	46

10.1.3	Estabilización del tramo del río	48
11	Impacto	49
12	Conclusiones	50
13	Bibliografía	52

Ilustración 1	Grietas de tensión y basuras en la zona de estudio. Fuente: elaboración propia.....	8
Ilustración 2	Mapa de localización y el punto crítico k0+100. Elaboración propia.	13
Ilustración 3.	Delimitación del área de estudio, para el plan de vuelo. Elaboración propia..	18
Ilustración 4	Procesamiento de información en Pix4d.....	19
Ilustración 8	Equipo Dron utilizado DJI Mavic 2 Pro.	20
Ilustración 6	Ortomosaico, modelo digital de superficie del área de estudio 2021. Elaboración propia.....	21
Ilustración 7	Mapa geológico local de la zona de estudio y talud K0+100. Fuente: Elaboración propia en software Arcgis 10.5.....	23
Ilustración 8	Corte geológico A-B. Fuente: Elaboración propia en software Autocad 2018.....	24
Ilustración 9	Mapa geomorfológico. Elaboración propia.....	25
Ilustración 10	Modelo 3d de la zona de estudio. Elaboración propia	26
Ilustración 11	Mapa de pendientes, según IGAC. Elaboración propia.	28
Ilustración 12	Mapa de dirección de flujos. Elaboración propia.	29
Ilustración 13	Mapa de hidrogeología. Elaboración propia.	30
Ilustración 14	Mapa de macrocuencas en Manizales. Elaboración propia.....	31
Ilustración 15	Mapa de uso y cobertura del suelo. Elaboración propia	32
Ilustración 16	Mapa morfodinámico 2021 zona de estudio. Elaboración propia	34
Ilustración 17	Mapa morfodinámico 2007. Tomado y adaptado de Google Earth.....	35
Ilustración 18.	Mapa morfodinámico 2010.Tomado y adaptado de Geoportal Alcaldía de Manizales.....	36
Ilustración 19	Mapa morfodinámico 2014.Tomado y adaptado de Geoportal Alcaldía de Manizales	37
Ilustración 20	Mapa morfodinámico 2015. Tomado y adaptado de Google Earth Pro.	38
Ilustración 21	Mapa morfodinámico 2019. Elaboración propia	39
Ilustración 22	Mapa morfodinámico 2020. Tomado y adaptado de Google Earth Pro.	40
Ilustración 23	escombros, desechos.	43
Ilustración 24	Estación de servicio, parqueadero.	44
Ilustración 25	Canales, Tuberías existentes.....	44
Ilustración 26	Grietas de tensión y basuras en el K0+100	45
Ilustración 27	Ilustración de sellamiento de grietas y lugar a intervenir, respectivamente.....	46
Ilustración 28	Ejemplo de trinchos vivos en vertedero.	47
Ilustración 29	Modelo de estabilidad con obras de bioingeniería.	49

Fotografía 1	Fotografía aérea que plasma el estado en el año 2021 en el área de estudio. Elaboración propia	17
--------------	--	----

Fotografía 2. Procesos denudacionales en el sector centro-occidental de la zona de estudio. Elaboración propia 2021	41
Tabla 1 Clasificación pendientes IGAC	27
Tabla 2 “Unidades de Cobertura ajustada según metodología Corinne Land Cover, Ideam y IGAC (2003)”	32
Tabla 3 Tabla con las diferentes especies arbóreas que existen en Manizales. Fuente: Manual de silvicultura urbana para Manizales.	43

1 Resumen

El análisis multitemporal de los 250 primeros metros de la vía Manizales-Neira, presenta un contexto geológico en la Cordillera Central. Las rocas y unidades geológicas se formaron en contextos volcánicos dado el complejo volcánico norte que presenta el país. El área de estudio se encuentra en el municipio de Manizales Corredor vial Manizales-Neira.

Los problemas geotécnicos presentan características que conviene ser consideradas de manera única, logrando a partir de la analogía, la experiencia y el examen de variables como las analizadas en este documento; observar de manera clara como intervienen los factores contribuyentes y modificables en una zona inestable, para así generar recomendaciones y esquemas innovadores que permitan enfrentar los desafíos de estabilidad de una zona específica.

Este estudio presenta como objetivo principal realizar un análisis multitemporal de imágenes aéreas, imágenes satelitales y topografías obtenidas a partir de fotogrametría con vehículos aéreos no tripulados (dron), para evidenciar el avance de los factores contribuyentes en la inestabilidad que presenta el tramo de la vía Manizales-Neira en sus primeros 250 metros; con información secundaria y primaria capturada entre los años 2007 y 2021 manipulando herramientas de sistemas de información geográfica; como base de la información, se tomaron datos primarios adquiridos en campo e introducidos los softwares Pix4d y Arcgis 10 los cuales permiten modelar fases del proyecto en desarrollo.

Se realizó una correlación de los factores contribuyentes con los resultados obtenidos en la inestabilidad identificada en el área de estudio, con el avance en el lapso del 2007 - 2021, con el fin de analizar cuáles han sido los factores que más han influido en la inestabilidad presentada en

el sector, y así recomendar intervenciones para mejorar o mitigar la amenaza presentada por movimientos en masa del sector.

Palabras clave: Análisis multitemporal, inestabilidad, fotogrametría, Arcgis, Pix4D.

2 Introducción

En el territorio colombiano, la búsqueda del bienestar y la mejora de calidad de vida de la población se ha visto pausada y en ocasiones en retroceso por diferentes escenarios entre los cuales caben los desastres y amenazas como lo son movimientos en masa, sismos y las inundaciones.

Los movimientos en masa se catalogan como una amenaza a los que una respectiva comunidad o población puede estar expuesta; estos pueden generar daños en infraestructuras, en actividades agropecuarias, ganadería, generar obstrucciones o perdidas de bancadas en vías de acceso; se puede ver afectado de igual manera las industrias y generar pérdidas humanas. Actualmente el área de interés se encuentra en un contexto de amenaza por movimientos en masa por la inestabilidad que se observa durante los últimos años.

De todas maneras, los movimientos en masa son procesos de origen natural, estos pueden ser a causa de múltiples factores, por ejemplo, la actividad antrópica puede acelerar la formación de algunos de estos procesos; con el análisis multitemporal se plasmará la evolución de estos entre los años 2007 y 2021.

La zona de estudio se encuentra en la vía Manizales-Neira en el tramo de los primeros 250 metros, esta vía es de gran importancia dado a que es un punto estratégico por ser el acceso a la capital de Caldas, comenzando en el municipio de Neira. Al comunicar con el municipio de

Neira, también lo hace directamente con los municipios más al norte como Aranzazu, Salamina, Aguadas, Pácora, La Merced y Marulanda.

Analizar los factores contribuyentes de una zona inestable es de gran valor, debido a que la información preliminar para caracterizar la zona de manera detallada puede permitir esclarecer las causas de la problemática, y así recomendar y/o realizar estudios detallados para la estabilización de puntos críticos y así mitigar la amenaza y/o riesgo al que se encuentra expuesta una población determinada.

En el departamento de Caldas y más precisamente en el municipio de Manizales es de vital importancia mantener en estricto orden y en un óptimo mantenimiento las vías que comunican los diferentes municipios para que la economía, el turismo y la movilidad en general no se vea afectada. Una región competitiva es aquella que de base tiene unas muy buenas vías ya que, por medio de estas, la región se ve fortalecida por un mejoramiento en el intercambio comercial desde y hacia la misma región.

Unas buenas vías generan un menor tiempo en el desplazamiento intermunicipal e interveredal, genera disminución en accidentabilidad, reducción en costos de transporte, entre otros.

3 Planteamiento del problema.

La problemática identificada corresponde a algunos puntos críticos entre la vía Manizales-Neira.

Para la zona objeto de estudio, la evaluación de los suelos y macizo rocoso que se encuentran está determinado por metasedimentitas las cuales están parcialmente cubiertas por depósitos de ladera recientes, que desarrollan morfologías con pendientes moderadas a fuertes.

La ladera zona de estudio presenta en la parte superior del talud basuras, llantas y escombros, los cuales dan lugar a entender que la zona antes era un botadero de basura clandestino. En la zona problema, se presentó una pérdida parcial de la banca debido a flujos de aguas por la ladera inferior de la vía y al incremento de la pendiente generada por afección directa de la quebrada Olivares, la cual socava lateralmente la pata del talud.

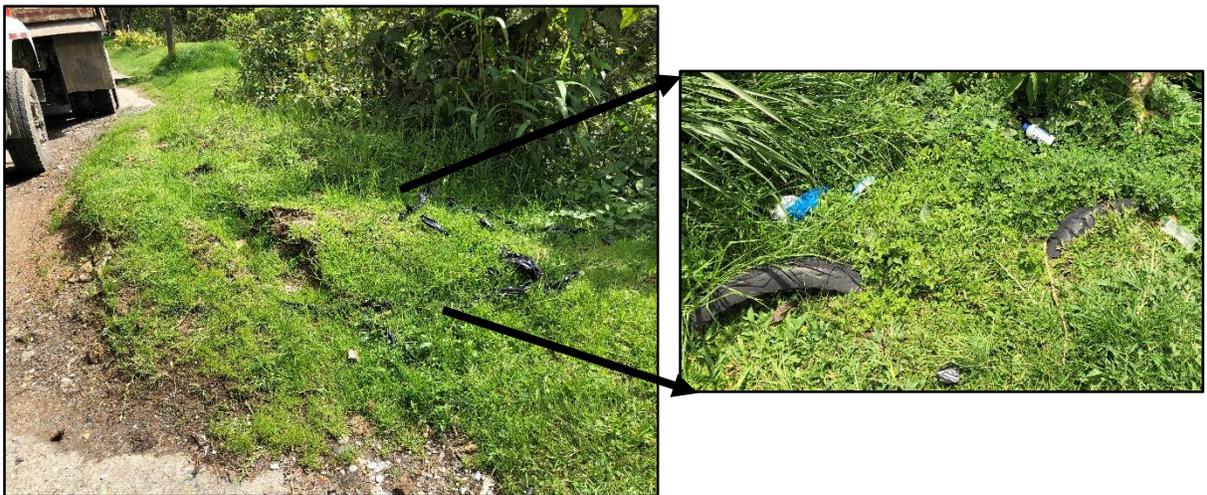


Ilustración 1 Grietas de tensión y basuras en la zona de estudio. Fuente: elaboración propia.

En el sector aparte del relleno por basuras, se observa que la subsidencia que ocurre en la ladera ha generado importantes grietas de tensión que se observan en la **Ilustración 1**, mismas

grietas que se aprecian sobre la calzada pavimentada de la vía, que poco a poco va cediendo más en dirección hacia la quebrada olivares.

4 Justificación

En la zona de estudio, se presentó una pérdida parcial de la banca debido a flujos de aguas por la ladera inferior de la vía y al incremento de la pendiente generada por afección directa de la quebrada Olivares, la cual socava lateralmente la pata del talud; como se había mencionado anteriormente.

Por lo anterior, se caracteriza como un punto clave para ser estudiado y analizado, ya que, si las condiciones empeoran, esto podría dificultar el tránsito normal de los vehículos y pondría en riesgo las personas que transitan sobre este sector.

Según las condiciones encontradas en esta zona de estudio, se presentará el siguiente estudio que por medio del análisis multitemporal, permitirán identificar los factores contribuyentes, condicionantes y detonantes que generan la inestabilidad en el tramo de la vía Manizales-Neira y su evolución en el tiempo; donde se recolectará información topográfica, geológica, geotécnica, hidrológica.

5 Objetivos

5.1 Objetivo general.

Elaborar un análisis multitemporal de imágenes aéreas, imágenes satelitales y topografías generadas a partir de fotogrametría con vehículo aéreo no tripulado (drone), para evidenciar el avance en la inestabilidad que presenta el tramo de la vía Manizales-Neira en sus primeros 250 metros; con información disponible y capturada entre los años 2007 y 2021 utilizando software de sistemas de información geográfica.

5.2 Objetivos específicos.

- Realizar la respectiva toma de información primaria, como fotografías aéreas, para el modelamiento 3D de la zona de estudio, y posteriormente obtener ortomosaico y la restitución topográfica a través de herramientas drone y SIG.
- Recopilar datos e información secundaria histórica del sector en materia de fotografías aéreas e imágenes satelitales.
- Análisis cartográficos de los factores contribuyentes y detonantes de la inestabilidad del sector, tales como la geología, geomorfología, pendientes, aspectos hidrológicos, y usos del suelo sobre la ortofoto y DTM actual obtenidos por medio de modelamiento fotogramétrico con dron (UAV).
- Realizar análisis sobre morfometría de la zona de estudio, para recomendar intervenciones que pueda ofrecer una estabilidad general en la zona de estudio.

6 Diseño metodológico

Para la elaboración del análisis multitemporal en el primer tramo de 250 metros en la vía Manizales-Neira departamento de Caldas y análisis de los factores detonantes y contribuyentes, se tuvo en cuenta información multidisciplinar para realizar un modelo de los agentes que más influyeron en el periodo 2007-2021 sobre la inestabilidad presentada en la ladera.

Se utilizará una metodología de comparación, en lo cual se llevó a cabo la búsqueda y toma de información secundaria de tipo imágenes aéreas, topografía, geología, geomorfología en ordenadores de datos digitales del (SGC) Servicio Geológico Colombiano; luego a la captura de información disponible se llevó a cabo la adquisición primaria de información, como imágenes aéreas para plasmar el estado actual.

Se realizaron búsquedas de imágenes aéreas, satelitales y trabajos previos sobre la zona inestable K0+100, en softwares y páginas web como Google Earth, IGAC y la página Web SIG de la alcaldía de Manizales.

Del Servicio Geológico Colombiano se obtiene información secundaria para plasmar la geología y la geomorfología de la zona de estudio.

Posterior a la recolección de información secundaria, se deriva a la toma primaria de información, como topografía y ortomosaico actual del sector, por medio de herramientas dron.

Los levantamientos aerofotogramétricos se llevaron a cabo en dos periodos, uno realizado en el mes de noviembre de 2019, y el actualizado se realizó el día 07 de marzo de 2021.

Por último, se realiza el análisis de los factores condicionantes que forjan la problemática de amenaza y/o riesgo por movimientos en masa en la zona de estudio. En concordancia a esto se analizan como factores contribuyentes dentro del trabajo son:

-Geomorfología

-Geología

-Hidrología: Delimitación de cuenca, Direcciones de flujos.

Las variables a analizar serán plasmadas a través del software Arcgis, por medio del arctoolbox, tomando como suministro base un DTM, que se obtuvo por medio de técnicas fotogramétricas.

Por último con la información obtenida, se procede a recomendar un diseño de obras óptimas para la inestabilidad presentada en la zona objeto de estudio.

Los modelos cartográficos utilizados, principalmente se obtuvo para el año 2019 y 2021 el DTM (modelo digital de terreno) a escala detallada por medio de fotogrametría; de igual manera se compilaron imágenes satelitales de la zona de estudio.

El manejo de la información, fotografías aéreas, imágenes satelitales y desarrollo de información vectorial se llevó a cabo bajo el sistema de coordenadas Magna Colombia Bogotá.

7 Localización

El área de estudio se encuentra ubicada en la parte norte del municipio de Manizale, en la vía que se dirige hacia el municipio de Neira, en la estación de servicio El Río de Terpel, la zona inestable posee una longitud de 250 metros. Las coordenadas del punto son: 1052691 N 842009E Magna Colombia Bogotá.

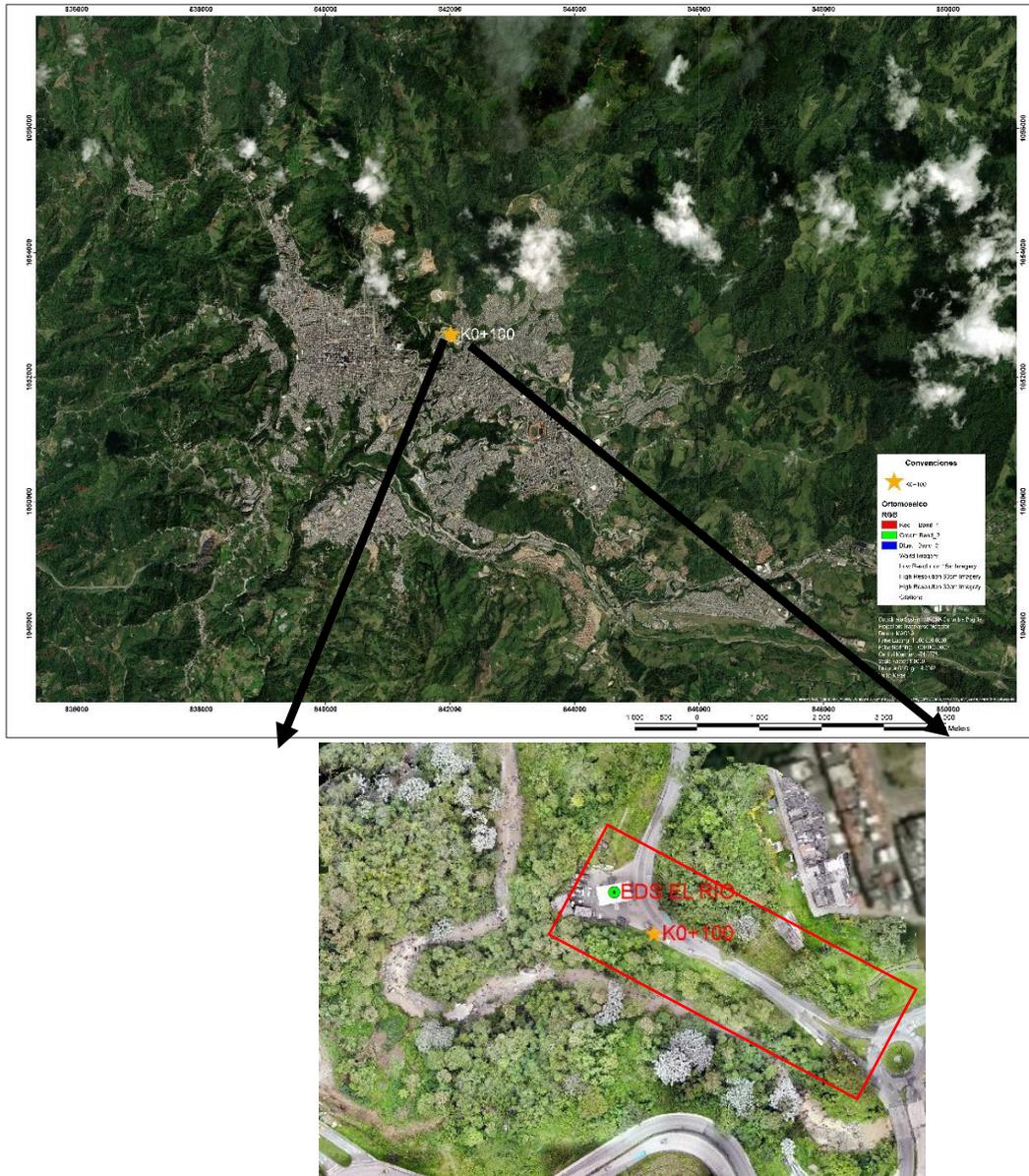


Ilustración 2 Mapa de localización y el punto crítico k0+100. Elaboración propia.

8 Marco referencial

La captura de información secundaria es valiosa para plasmar un estado inicial dentro de un análisis multitemporal, es por eso que a partir de éstas, se observará y mostrará un estado inicial para el año 2007.

Glosario

Movimientos en masa, Un movimiento en masa es el proceso por el cual un volumen de material constituido por roca, suelo, tierras, detritos o escombros, se desplaza ladera abajo por acción de la gravedad. Son conocidos popularmente como deslizamientos, derrumbes, procesos de remoción en masa, fenómenos de remoción en masa, fallas de taludes y laderas.

Susceptibilidad, En el ámbito de deslizamientos se refiere a la facilidad de un terreno a generar estos procesos, en función a sus propiedades intrínsecas (geología, pendiente, cobertura vegetal, tipo de suelo, etc).

Geomorfología, la geomorfología corresponde el estudio del relieve de la Tierra, que incluye las formas y estructuras de todas las dimensiones, desde continentes y cuencas oceánicas a estrías y alveolos.

Denudación, comprende los procesos que provocan el desgaste de la superficie terrestre por el movimiento del agua, el hielo, el viento y las olas, lo que lleva a una reducción de la elevación y del relieve de las formas terrestres y de los paisajes. Procesos endógenos como los volcanes, los terremotos y las placas tectónicas elevan y exponen la corteza continental a los procesos exógenos de meteorización, erosión y desgaste de masa.

Topografía, es la ciencia que estudia el conjunto de principios y procedimientos que tienen por objeto la representación gráfica de la superficie terrestre, con sus formas y detalles; tanto naturales como artificiales

Sistemas de información geográfica, también habitualmente citado como GIS por las siglas de su nombre en inglés Geographical Information System, es un conjunto de herramientas que integra y relaciona diversos componentes que permiten la organización, almacenamiento, manipulación, análisis y modelización de grandes cantidades de datos procedentes del mundo real que están vinculados a una referencia espacial, facilitando la incorporación de aspectos sociales-culturales, económicos y ambientales que conducen a la toma de decisiones de una manera más eficaz.

Fotogrametría, es la técnica cuyo objeto es estudiar y definir con precisión la forma, dimensiones y posición en el espacio de un objeto cualquiera, utilizando esencialmente medidas hechas sobre una o varias fotografías de ese objeto.

Dron, Un dron es un vehículo capaz de volar y de ser comandado a distancia, sin que se requiera de la participación de un piloto.

8.1 Estudios previos

Para el año 2018, la gobernación de Caldas adelantó la contratación para elaborar los estudios y diseños de obras para la estabilización en varios puntos críticos de la vía Manizales-Neira, para posteriormente ejecutarlos y dar cumplimiento a la estabilidad de esta importante vía.

Exactamente el punto K0+100 de la vía Manizales-Neira que se encuentra en el área de influencia que aborda este documento, cuenta con los estudios detallados para la elaboración de las obras de mitigación de la problemática que se presenta.

(Cardona Galeano, 2018) menciona que, para el departamento de Caldas es de gran importancia mantener las vías que comunican los diferentes municipios en buen estado para que la dinámica económica, turística y la movilidad del departamento no se vea afectada. La competitividad de una región se fortalece a través del mejoramiento de las vías, la cual representa una conectividad eficiente de la región con el resto del país, el mejoramiento en el intercambio comercial desde y hacia la región, la disminución de los tiempos de desplazamientos intermunicipales e interveredales, la disminución de los índices de accidentalidad, la reducción de los costos del transporte, el aumento en la competitividad con los mercados internacionales y los incentivos en el atractivo turístico de la región.

En este trabajo como amenazas geológicas del sector, (Cardona Galeano, 2018) menciona que el relieve actual de la ciudad de Manizales es el resultado de tectonismo, fenómenos antrópicos y procesos erosivos, los cuales afectan principalmente las laderas perimetrales al casco urbano de la ciudad en aquellos sitios desprovistos de cobertura vegetal, en las zonas de explanación y en los rellenos artificiales de drenajes, debido principalmente a aspectos: Geológicos (forma del

terreno, litología, estructuras geológicas), Ambientales (clima e hidrología) y Antrópicos (uso y manejo del suelo).

El principal agente erosivo en el sector cercano a la estación de servicio (EDS) El Río de Terpel, ha sido el agua, tanto a nivel pluviométrico como hidrológico, en el cual se aprecia en la parte superior del talud la construcción de un drenaje subterráneo (tubería), causando una sobresaturación del suelo.

En la actualidad, el hombre es factor activo realizando cambios del paisaje generando una aceleración de los procesos erosivos. Se establece un marcado predominio de los procesos que involucran movimientos de masa (rotacionales, traslacionales, derrumbes); la erosión superficial (erosión laminar, reptación y flujo lento) es moderadamente baja y se presenta principalmente en aquellos sitios desprovistos de cobertura vegetal, en especial en las zonas de explanaciones, en los rellenos artificiales de drenajes y en las superficies de deslizamientos que han sido expuestas a la acción de las aguas. Los movimientos de masa aparecen estrechamente ligados a los procesos de disección de las quebradas, los que a su vez se relacionan directamente con la actividad tectónica y el clima que propicia las condiciones de humedad y precipitación.

8.2 Recolección de información primaria

Para este apartado, se llevaron a cabo verificaciones en la zona afectada por los movimientos en masa en el primer tramo de 250 m de la vía Manizales-Neira, municipio de Manizales Caldas, verificando las áreas donde se encuentra factores que contribuyan a inestabilidad; también se plasmó el estado del terreno por medio de fotografías, para comparar con el histórico figurado en la información secundaria.

Se capturaron aerofotografías con dron, para realizar un modelamiento aerofotogramétrico, el cual es un eje referencial dentro del estudio, al adquirir un ortomosaico y topografía del área de estudio.



Fotografía 1 Fotografía aérea que plasma el estado en el año 2021 en el área de estudio. Elaboración propia

8.3 Fotogrametría e imágenes satelitales

Como se mencionó anteriormente, la fotogrametría es la técnica cuyo objeto es estudiar y definir con precisión la forma, dimensiones y posición en el espacio de un objeto cualquiera, utilizando esencialmente medidas hechas sobre una o varias fotografías de ese objeto.

En la elaboración de este proyecto, se llevó a cabo dos levantamientos aerofotogramétricos para producción de ortomosaico y topografía en dos periodos de tiempo, uno para noviembre del

año 2019 y posteriormente el segundo actualizado al mes de marzo de 2021; esta información plasmada a partir de la captura primaria de información con dron, y manejo de información para fotogrametría en software Pix4d; luego de tener los resultados del software de fotogrametría, se realiza la edición manejo y producción de información en software Arcgis.

Las imágenes aéreas y satelitales secundarias son adquiridas de distintas plataformas, tales como google earth y el portal Sig de la alcaldía de Manizales, entre los años 2007 y 2021.

8.3.1 Procedimiento.

Inicialmente para llevar a cabo una fotogrametría con dron, la zona de interés se debe definir en un polígono en plataformas arcgis o google earth en un kml o kmz, el cual contiene la información del área de interés.

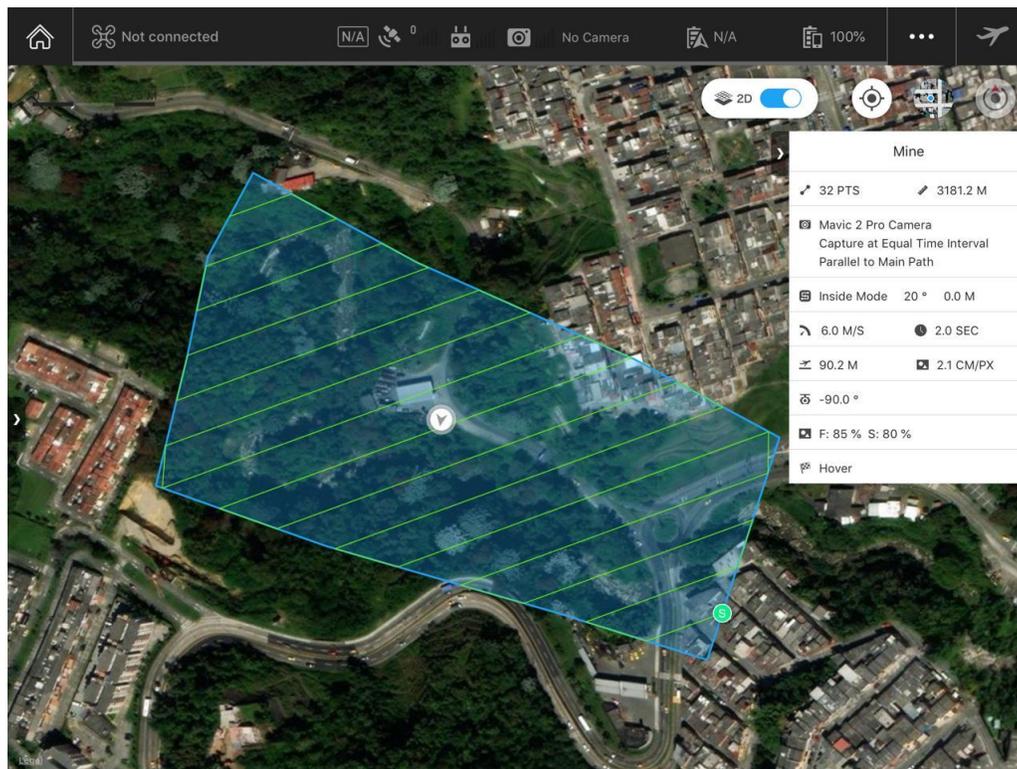


Ilustración 3. Delimitación del área de estudio, para el plan de vuelo. Elaboración propia..

EL software de la empresa DJI, provee de realizar vuelos autónomos con el drone; el kml previamente definido se puede importar al aplicativo para cargar y mostrar sobre un mapa base satelital, donde se realizará el plan de vuelo, previamente definiendo parámetros de vuelo, tales como la altura de vuelo, propiedades de la cámara y traslapes.

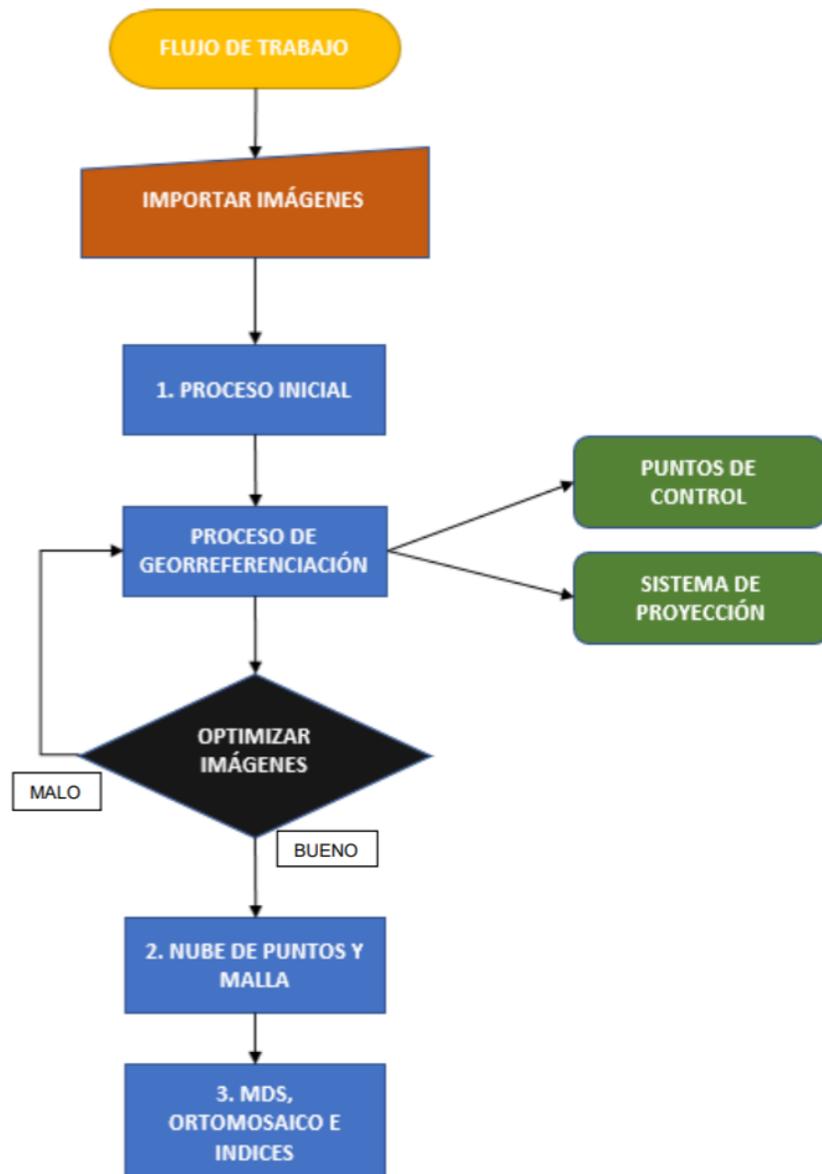


Ilustración 4 Procesamiento de información en Pix4d.

El manejo de información en Pix4d es la herramienta principal para obtener un modelo 3d y una topografía del área de interés, por medio de una capacidad grande para manejo y proceso de datos, que arrojan productos tales como ortomosaico, modelos digitales de elevaciones.

En la primer fase del proceso para la obtención de la fotogrametría, consistió en realizar el vuelo autónomo previamente definido, la captura de imágenes aéreas correspondientes a 8 Ha del tramo de vía que comprendían la zona de estudio entre la rotonda de los Cedros y la Estación de Servicios el Río de Terpel. Con el software Pix4d se lleva a cabo un plan de trabajo como el observado en la Ilustración 4; se insertan las fotografías aéreas productos del vuelo autónomo; el software procede a interpretar la información digital de cada pixel en cada imagen, emparejando las imágenes con puntos homólogos en todas. Posteriormente, se realiza la densificación de la red de puntos que soportarán la generación del Ortomosaico por medio de unanube de puntos densa.



Ilustración 5 Equipo Dron utilizado DJI Mavic 2 Pro.

La información obtenida en el proceso anterior, se procede a realizar un post proceso que genera la topografía (curvas de nivel) y Dtm, los cuales se obtienen también de la nube de puntos densa; lo que permite obtener un modelo realista del terreno.

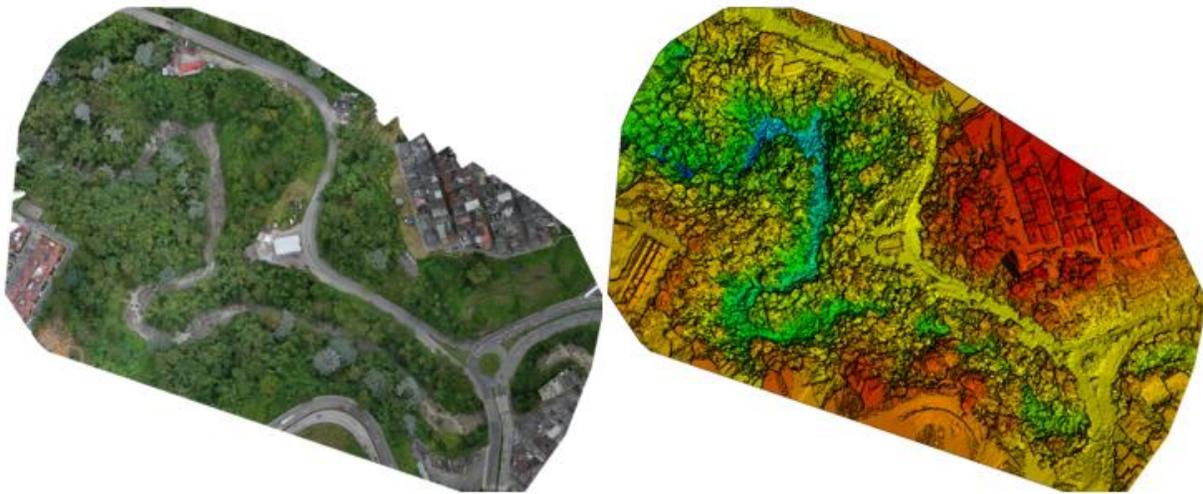


Ilustración 6 Ortomosaico, modelo digital de superficie del área de estudio 2021. Elaboración propia.

Los principales productos obtenidos a través de pix4d son:

- Ortomosaico en formato Tiff, compatible con softwares de sistemas de información geográfica.
- Topografía en la zona de estudio
- Modelos digitales del terreno y de superficie.

8.4 Análisis de variables

Las variables contribuyentes dentro del estudio multitemporal, permiten enfocar los estudios en los factores de mayor influencia sobre las inestabilidades que presenta la zona de estudio, por medio de modelaciones en el software arcgis para obtener los parámetros de las variables contribuyentes. Las cuales son:

-Geología

-Geomorfología

-Topografía (pendientes)

-Hidrogeología

8.5 Geología local

El área de la zona de estudio realizando un estudio de la información del SGC, se observa sobre QFL y KSC, los cuales son depósitos fluviovolcánicos, mezclados por ceniza volcánica y lapilli, y lodolitas modificadas por metamorfismo incipiente.

8.5.1 Complejo Quebradagrande.

El conjunto de rocas volcánicas y sedimentarias que constituyen gran parte del flanco occidental de la Cordillera Central, al occidente de la Falla San Jerónimo, por su complejidad estructural y la ausencia clara de una base y un techo que permitan definir sus linderos estratigráficos. (González, 1980).

Este Complejo se caracteriza por presentar intercalaciones de rocas volcánicas y sedimentarias, con amplias variaciones litológicas, tanto en la secuencia sedimentaria como en la relación entre flujos volcánicos y capas piroclásticas. (González, 1980).

8.5.2 Flujos Piroclásticos.

La actividad volcánica reciente termina con la emisión de productos piroclásticos por los volcanes del Complejo Ruiz - Tolima, que son los volcanes Cerro Bravo, Nevado El Ruíz, Nevado El Cisne, Nevado Santa Isabel, Nevado El Quindío, Nevado del Tolima; estos

materiales, en parte, se depositan en medio acuoso que sirve de medio de transporte tanto hacia el este como al occidente del eje de la cadena volcánica, depositándolos a lo largo del cauce y zonas de inundación y constituyen geformas caracterizantes y de fácil identificación en el área.(González, 2001)

8.5.3 Rocas piroclásticas.

Depósitos piroclásticos de caída, producto de la actividad cuaternaria de los volcanes del Complejo Ruiz-Tolima, cubren gran parte de la región central de las planchas, aledaña al eje de la Cordillera Central, oscureciendo las relaciones entre unidades litológicas más antiguas y suavizando la morfología del terreno.Las capas piroclásticas están compuestas por cenizas, lapilli pumítico y, ocasionalmente, bombas volcánicas.(González, 2001)

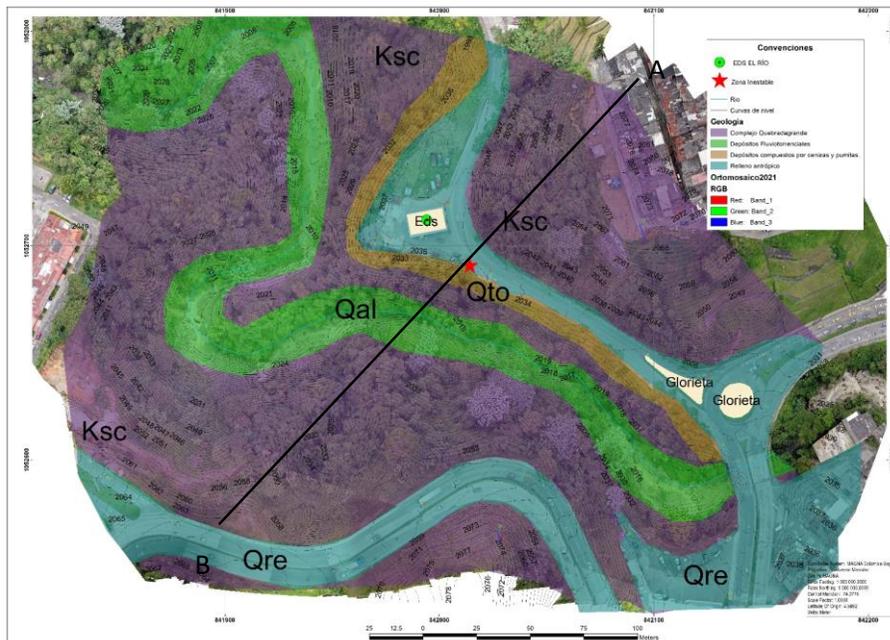


Ilustración 7 Mapa geológico local de la zona de estudio y talud K0+100. Fuente: Elaboración propia en software Arcgis 10.5.

A continuación, se muestra un corte geológico A-B para contrastar en perfil los materiales de las formaciones geológicas.

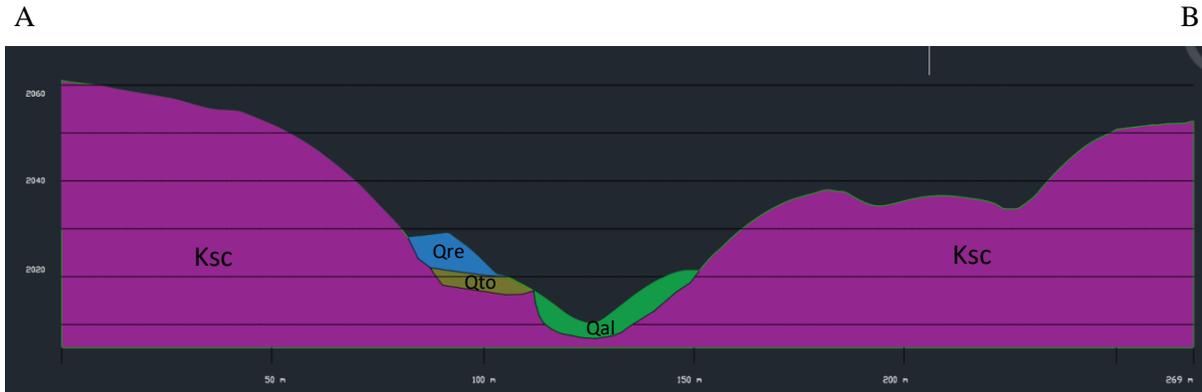


Ilustración 8 Corte geológico A-B. Fuente: Elaboración propia en software Autocad 2018.

8.6 Geomorfología

La geomorfología es una variable que proporciona información detallada sobre el relieve de determinada zona, esto permite definir y caracterizar procesos morfodinámicos y naturales relacionados a éstos. La geomorfología aplicada, es encaminada a verificar las geoformas más susceptibles a generar procesos erosivos, tomando como base del servicio geológico colombiano el mapa aplicado a movimientos en masa.

En Colombia existen una gran variedad de ambientes geomorfológicos y por ende unidades geomorfológicas, asociados a procesos tanto endógenos (tectonismo y vulcanismo) como exógenos (agua, aire, viento y efecto gravitacional), agradacionales y degradacionales. En Manizales es recurrente encontrar unidades asociadas a múltiples ambientes, tales como ambiente denudacional, estructural y volcánico. La variable de geomorfología se calibró y llevó a una escala de elementos geomorfológicos (mayor detalle) 1:2000, así:

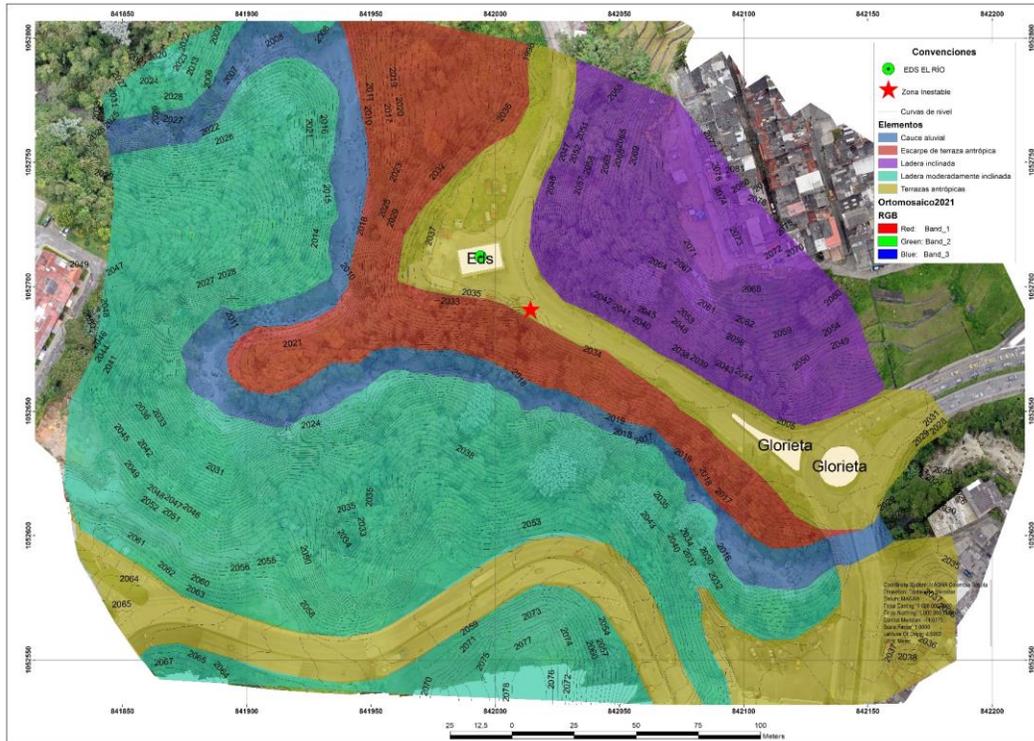


Ilustración 9 Mapa geomorfológico. Elaboración propia

8.6.1 Elementos

8.6.1.1 *Cauce aluvial.*

Conducto irregular, el cual es modelado por corrientes superficiales de agua, las cuales pueden contener sedimentos aluviales y fluviales.

8.6.1.2 *Escarpe de terraza.*

Ladera elongada, a veces puede ser ondulada, generada sobre un escarpe de rellenos antrópicos, donde normalmente se encuentra en forma no pareada.

8.6.1.3 *Ladera inclinada*

Son superficies inclinadas rectas, presentando menor inclinación que un escarpe.

8.6.1.4 Ladera moderadamente inclinada

Son superficies bastante evolucionadas en el tiempo geológico, ya que a lo largo del tiempo han ocurrido movimientos verticales de suelo y subsuelo. Si presentan pendientes mayores a 15° , son propensas y susceptibles a generar fuertes erosiones y fenómenos de movimientos en masa.

8.6.1.5 Terrazas antrópicas.

Normalmente son adecuaciones antrópicas para generar y adaptar un terreno para llevar a cabo obras civiles.

8.7 Pendientes

El proceso para obtener la variable de pendientes en determinada zona, se requiere previamente tener un modelo digital del terreno DTM, o una topografía por medio de curvas de nivel, para así modelar por medio de Arcgis las pendientes, desde el actoolbox, Surface, “Slope”



Ilustración 10 Modelo 3d de la zona de estudio. Elaboración propia

El análisis de pendientes es utilizado principalmente en los estudios de susceptibilidad y zonificación de amenazas por fenómenos naturales como movimientos en masa, avenidas torrenciales e inundación.

La pendiente es una variable muy útil, se puede observar relación directa con índices de escorrentía, susceptibilidad a fenómenos denudacionales y capacidades del suelo para distintos usos.

En Arcgis se establecen en los rangos establecidos según el IGAC obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 1 Clasificación pendientes IGAC

Pendientes
Pendientes Planas (0% - 3%)
Pendientes Ligeramente Inclinas (3% - 7%)
Pendientes Moderadamente Inclinas (7% - 12%)
Pendientes Fuertemente Inclinas (12% - 25%)
Pendientes Ligeramente Escarpadas (25% - 50%)
Pendientes Moderadamente Escarpadas (50% - 75%)
Pendientes Fuertemente Escarpadas (75% - 100%)

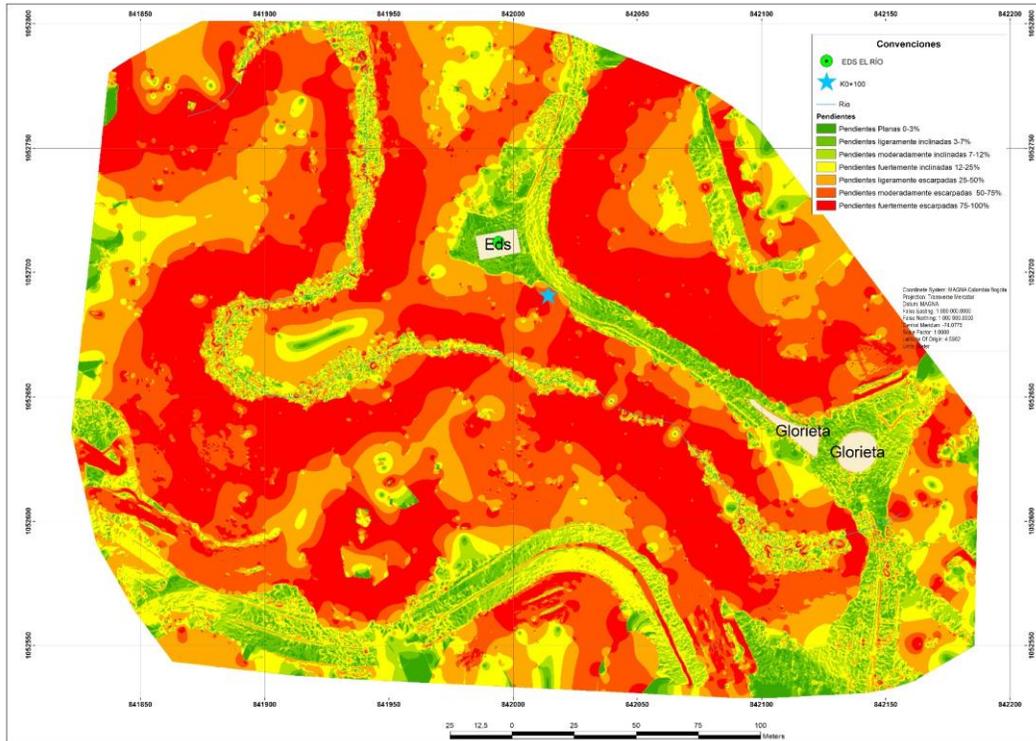


Ilustración 11 Mapa de pendientes, según IGAC. Elaboración propia.

8.8 Dirección de flujos

Las direcciones de flujo se enmarcan para cuando un terreno se idealiza como impermeable, y toda gota de agua que caiga sobre él, en lugar de infiltrarse, se pretende ilustrar según las pendientes del terreno, ésta hacia qué dirección tomaría su trayecto. En el arctooobox apartado Hydrology “Flow direction” se puede realizar éste cálculo.

Obteniendo polígonos demarcando las direcciones hacia donde fluiría el agua no infiltrada en momento de lluvias. Así:

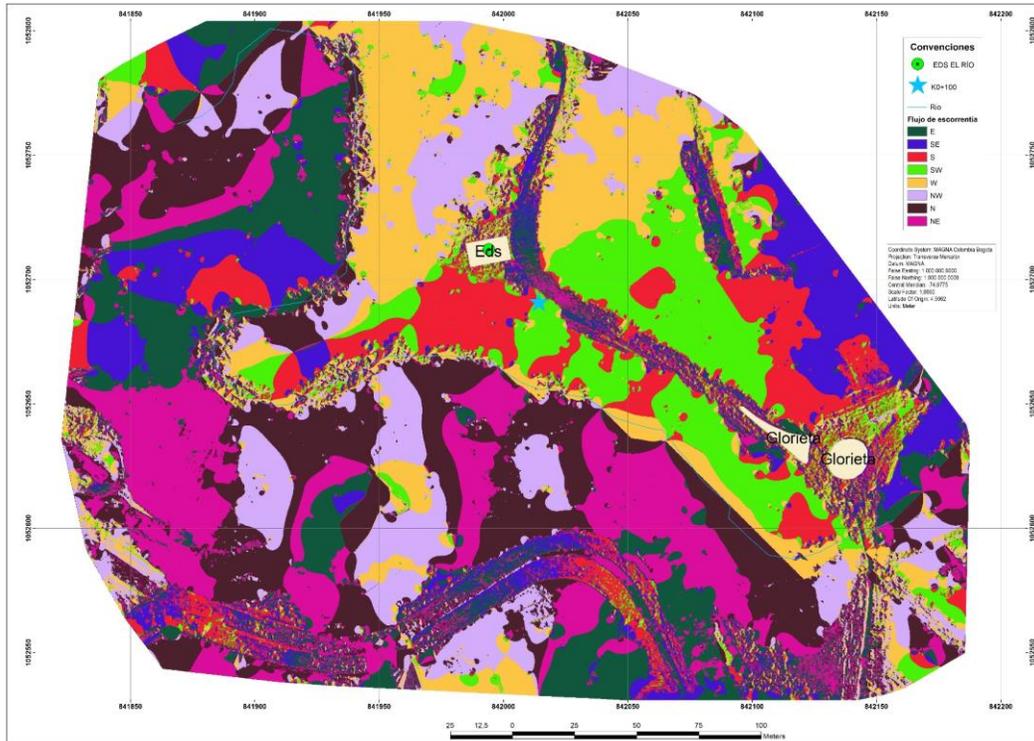


Ilustración 12 Mapa de dirección de flujos. Elaboración propia.

Los polígonos de escorrentía, observándolo con los elementos geomorfológicos, presentan congruencia con las laderas inclinadas y moderadamente inclinadas, del valle de la quebrada Olivares.

8.9 Hidrogeología

El agua es un factor muy importante en la inestabilidad directa de una ladera, un control adecuado de aguas de escorrentía, solventarían estas problemáticas.

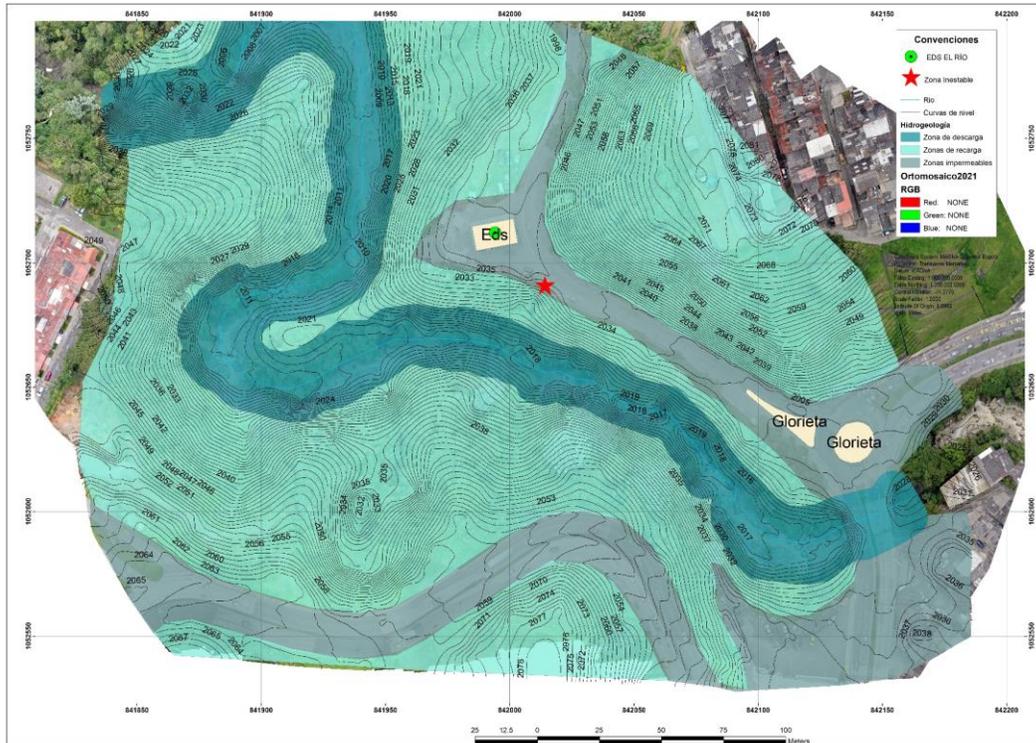


Ilustración 13 Mapa de hidrogeología. Elaboración propia.

Una zona de recarga, es la cual donde aguas lluvias son infiltradas y se captan dentro del terreno; de la misma manera, las zonas de descarga son el evento contrario, ya que es donde las aguas ya infiltradas afloran encontrando un nivel base.

Se puede observar en la zona de estudio en general una buena relación entre zonas de recarga y descarga, ya que, si se tuvieran mayores áreas de zonas de recarga o infiltraciones, el factor de inestabilidad podría ser mayor.

8.10 Cuencas

Una cuenca se clasifica dependiendo de su área, arcgis permite realizar la delimitación de éstas, tomando directamente la herramienta de Basin en el arctoolbox, en la extensión spatial analyst, Hydrology. y en la referencia de entrada el DTM.

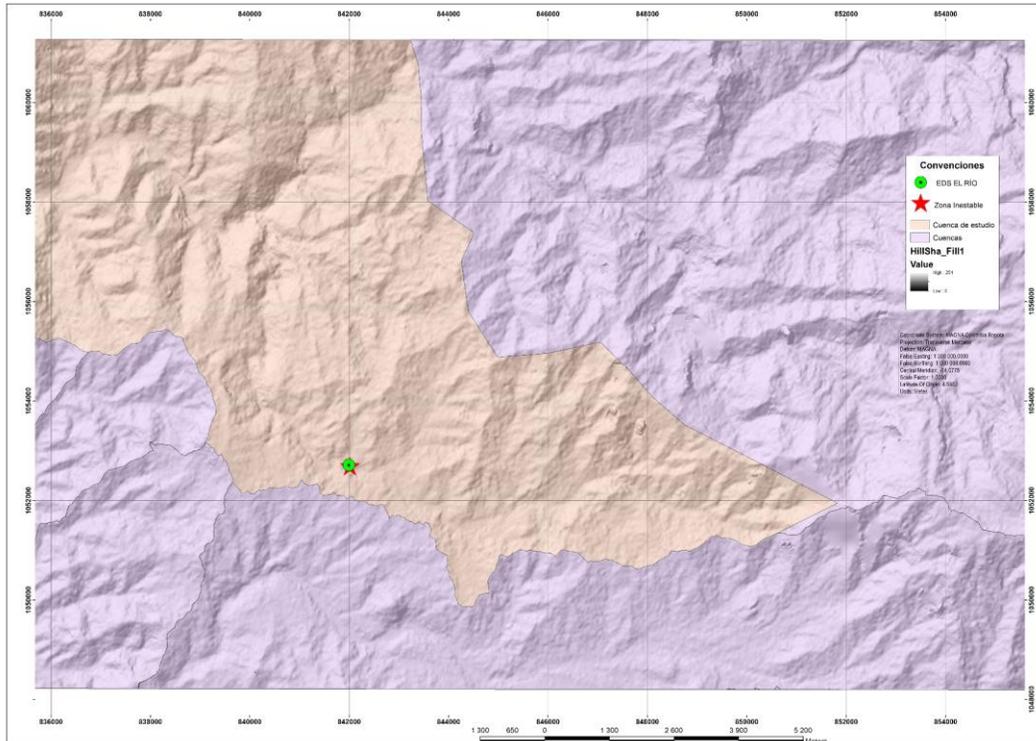


Ilustración 14 Mapa de macrocuencas en Manizales. Elaboración propia

8.11 Usos del suelo

La cobertura hace referencia al aspecto morfológico y tangible del suelo, y los usos hacen referencia a las actividades que se desarrollan sobre aquellas cubiertas, en el desarrollo de la metodología se utiliza como insumo base el mapa de uso y cobertura de suelo realizado bajo la metodología de “Unidades de Cobertura ajustada según metodología Corinne Land Cover, Ideam y IGAC (2003)” (IDEAM IGAC, 2003)

Este factor depende en gran medida de la actividad antrópica y en algunos sectores existe un mal uso del suelo, produciéndose la capacidad para generar procesos de remoción en masa.

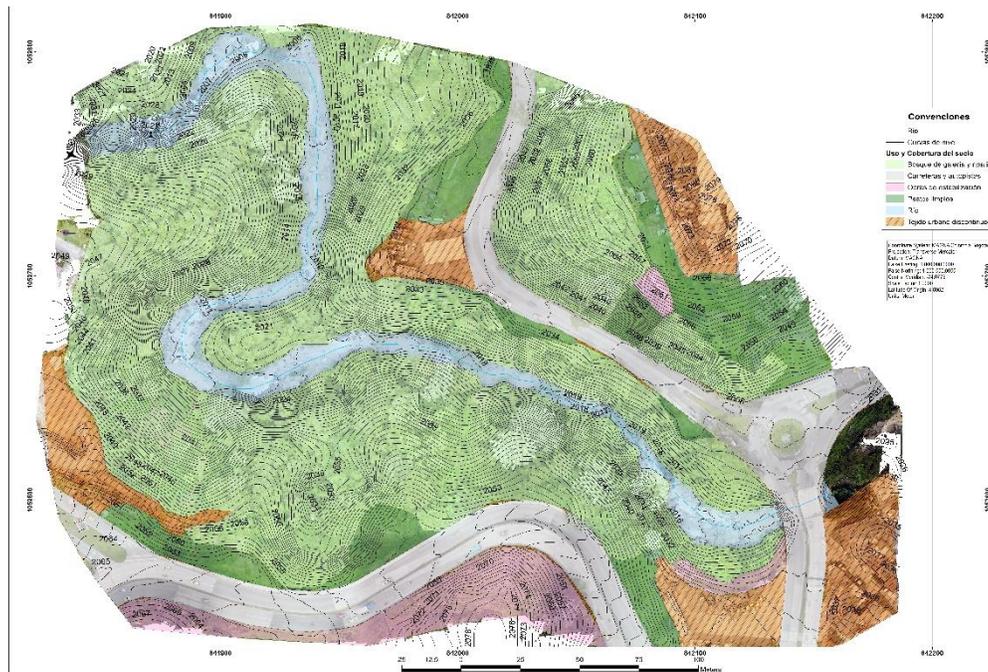


Ilustración 15 Mapa de uso y cobertura del suelo. Elaboración propia

Tabla 2 “Unidades de Cobertura ajustada según metodología Corinne Land Cover, Ideam y IGAC (2003)”.

NIVEL 1	NIVEL 2	NIVEL 3	NIVEL 4	NIVEL 5		
1. TERRITORIOS ARTIFICIALIZADOS	1.1. Zonas urbanizadas	1.1.1. Tejido urbano continuo	1.1.1.1. Centro histórico	1.1.1.3.1. Instituciones educativas		
			1.1.1.2. Zonas de habitación periféricas	1.1.1.3.2. Hospitales y clínicas		
	1.1.1.3. Edificaciones de servicios públicos		1.1.1.3.3. Mercados			
	1.2. Zonas industriales o comerciales y redes de comunicación	1.2.1. Zonas industriales o comerciales	1.2.1.1. Zonas industriales	1.2.1.1.1. Zonas industriales	1.2.1.2.3. Centro comerciales y de convenciones	
				1.2.1.1.2. Zonas comerciales	1.2.1.3.1. Bomberos	
			1.2.1.3. Edificios de seguridad pública	1.2.1.3.2. Cruz Roja		
		1.2.2. Red vial, ferroviarias y terrenos asociados	1.2.2.1. Zonas de extracción minera	1.2.2.2. Zonas de extracción minera	1.2.2.2.1. Explotación de materiales de construcción	1.2.1.3.3. Defensa Civil
					1.2.2.3. Aeropuertos	1.2.1.3.4. Ejército
					1.2.2.4. Obras hidráulicas	1.2.1.3.5. Carreteras y autopistas
		1.3. Zonas de extracción minera y escombreras	1.3.1. Zonas de extracción minera	1.3.1.1. Explotación de materiales de construcción	1.3.1.1.1. Explotación de materiales de construcción	1.2.1.3.6. Policía
1.3.1.2. Explotación de materiales de construcción					1.2.1.5.1. Subestaciones eléctricas	
2. TERRITORIOS AGRÍCOLAS		2.1. Cultivos anuales o transitorios	2.1.1. Zonas verdes urbanas	2.1.1.1. Zonas verdes urbanas	1.3.1.2.1. Arenales	
				2.1.2. Instalaciones recreativas	1.3.1.2.2. Canteras	
	2.2. Cultivos permanentes	2.2.1. Zonas verdes urbanas	2.2.1.1. Zonas verdes urbanas	2.2.1.1.1. Zonas verdes urbanas	1.3.1.2.3. Gravilleros	
				2.2.2. Cultivos permanentes arbustivos	1.3.1.2.4. Avitiles	
	2.3. Pastos	2.3.1. Pastos limpios	2.3.1.1. Pastos limpios	2.3.1.1.1. Pastos limpios	1.4.2.2.3. Estadios	
				2.3.2. Pastos arbolados	2.3.1.2. Pastos enmalezados o en rastrojados	
	2.4. Áreas agrícolas heterogéneas	2.4.1. Mosaico de cultivos	2.4.1.1. Mosaico de cultivos	2.4.1.1.1. Mosaico de cultivos		
				2.4.2. Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	2.3.2.1. Pastos enmalezados altos	
	2. BOSQUES Y ÁREAS SEMINATURALES	3.1. Bosques	3.1.1. Bosque denso	3.1.1.1. Bosque denso alto	3.1.1.1.1. Bosque denso alto de tierra firme	
				3.1.1.2. Bosque denso bajo	3.1.1.1.2. Bosque denso bajo de tierra firme	
3.1.2. Bosque abierto				3.1.2.1. Bosque abierto alto	3.1.2.1.1. Bosque abierto alto de tierra firme	
3.1.2.2. Bosque abierto bajo				3.1.2.1.2. Bosque abierto bajo de tierra firme		
3.1.3. Bosque fragmentado				3.1.3.1. Bosque fragmentado con vegetación secundaria		
3.2. Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva		3.2.1. Herbazal	3.2.1.1. Herbazal	3.2.1.1.1. Herbazal denso	3.2.1.1.1.1. Herbazal denso de tierra firme	
				3.2.1.1.2. Herbazal abierto	3.2.1.1.2. Herbazal abierto arenoso	
				3.2.1.2. Arbustal denso	3.2.2.1. Arbustal denso de tierra firme	
				3.2.1.2.2. Arbustal abierto	3.2.2.2. Arbustal abierto de tierra firme	
				3.2.1.3. Vegetación secundaria o en transición	3.2.2.3. Vegetación secundaria	
3.3. Áreas abiertas, sin o con poca vegetación	3.3.1. Tierras desnudas y degradadas	3.3.1.1. Tierras desnudas	3.3.1.1.1. Tierras desnudas			
			3.3.2. Vegetación secundaria baja			
4. ÁREAS HÚMEDAS	4.1. Áreas húmedas continentales	4.1.1. Zonas pantanosas	4.1.1.1. Humedal			
5. SUPERFICIES DE AGUA	5.1. Aguas continentales	5.1.1. Ríos (50 m)				
		5.1.4. Cuerpos de agua artificiales				

9 Resultados

Analizando los resultados obtenidos, se procede a realizar el análisis multitemporal donde podrán evaluarse la acción de los factores contribuyentes anteriormente estudiados. Además, se obtuvo una recopilación documental que abarca datos multitemporales de la vía Manizales-Neira en sus primeros 250m, incluyendo topografía, pendientes, hidrología del sector, entre los años 2007 y 2021; y así generar una recomendación geotécnica que abarque una estabilidad global de la zona de estudio.

9.1 Análisis multitemporal

Dentro de un análisis multitemporal, una herramienta fundamental es el adquirir fotografías aéreas para poder tener una visión global de los factores que afectan determinado sitio. En este caso en particular, se utilizaron herramientas e imágenes proporcionadas por medio de Google Earth, fotografías aéreas con dron, ortomosaicos de los POT de manizales en el geoportal de la alcaldía de Manizales. Finalmente teniendo como resultado un análisis como insumo para observar los factores influyentes de los cambios observados en la zona de estudio entre los años 2007 y 2021.

Para obtener información de topografía y estado actual, fue necesario modelar información obtenida con dron, y luego compararlo con el punto de partida del análisis (2007) y observar los cambios que presentó la zona de estudio por los procesos denudativos en el periodo 2007 – 2021.

Por medio de Arcgis, se realizó el manejo de información cartográfica, mostrando pendientes actuales, morfologías y mapas morfodinámicos

Se partirá mostrando el estado actual en el análisis multitemporal así:



Ilustración 16 Mapa morfodinámico 2021 zona de estudio. Elaboración propia

Se observó en el estado actual de la zona de estudio aún se encuentra procesos denudacionales en estado activo, así se evidencia que la vía se encuentra en un escenario actual de amenaza por movimientos en masa, porque además de los procesos evidenciados en la fotografía actual, el país se encuentra en una época invernal fuerte, que puede convertirse en un factor detonante. Pero en general en la última visita a la zona de estudio se encontraba en una estabilidad latente condicionada a la evolución de los factores contribuyentes y detonantes anteriormente mencionados.

Ahora, se plasmará el estado inicial de la zona de estudio dentro del periodo demarcado 2007-2021:

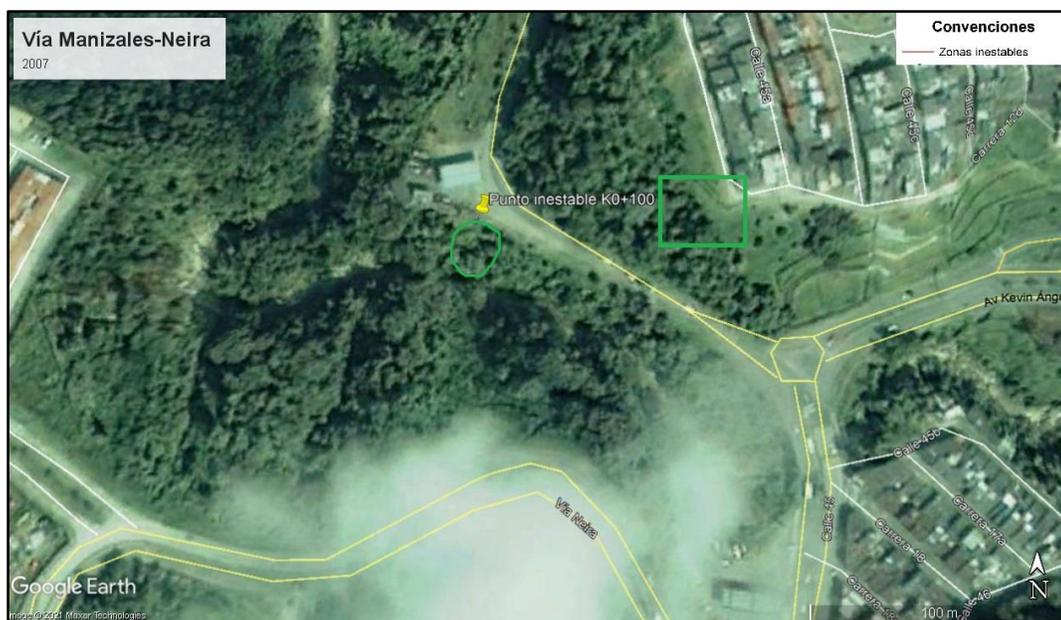


Ilustración 17 Mapa morfológico 2007. Tomado y adaptado de Google Earth.

En el estado inicial, se encuentra la zona con poco desarrollo de inestabilidades, se puede observar (Trazos en verde) que en la parte centro aún no se encuentra la pantalla de concreto de Corpocaldas para la estabilización de este tramo de la ladera como se observa en la actualidad. Tampoco se observa el punto crítico K0+100, en general toda la zona presenta condiciones de estabilidad muy favorable, además de la alta cobertura vegetal.

También cabe destacar que una parte de la fotografía se encuentra cubierta por nubes densas.

La base para la realización del mapa morfológico año 2007 fue: Imágenes Satelitales de Google Earth Pro.



Ilustración 18. Mapa morfodinámico 2010. Tomado y adaptado de Geoportal Alcaldía de Manizales

En el año 2020 el ortomosaico lidar, se observa que se han adelantado obras hidráulicas en la parte centro-oriental de la zona de estudio, donde posteriormente se observará la pantalla de estabilización de Corpocaldas; a lo largo del análisis multitemporal se observa que las medidas más utilizadas han sido del tipo hidráulico para el manejo de las aguas de escorrentía.

En el costado centro-occidental de la zona de estudio se empieza a observar una erosión superficial incipiente al pie del conjunto residencial; en la zona centro se observa una erosión superficial de gran magnitud, al norte de la EDS.

En general la zona de estudio presenta pequeños procesos denudacionales sin implicar grandes inestabilidades.

La fuente de información para la realización de este mapa morfodinámico 2010 fueron: ortomosaico lidar 2010 obtenido del portal sig de la alcaldía de manizales.



Ilustración 19 Mapa morfodinámico 2010. Tomado y adaptado de Geoportal Alcaldía de Manizales

La zona de estudio para el año 2004 presentó el primer movimiento del punto crítico K0+100, el cual como se mencionó anteriormente, ha sido un botadero clandestino de basuras y escombros, las fuertes lluvias de la época desencadenaron en un movimiento en masa de tipo rotacional, en la corona presenta varias grietas de tensión que influyen directamente sobre la bancada. Este proceso ocurrió por el colapso de las obras hidráulicas que hay en la vía, ya que al no presentar la capacidad suficiente para arrastrar partículas sólidas y aguas de escorrentía generaron sobresaturación del terreno y posterior colapso del K0+100

En general toda la zona se presenta con buena estabilidad a comparación del 2010, presentándose el punto crítico k0+100 y erosiones superficiales hacia la parte centro-occidental de la zona de estudio.

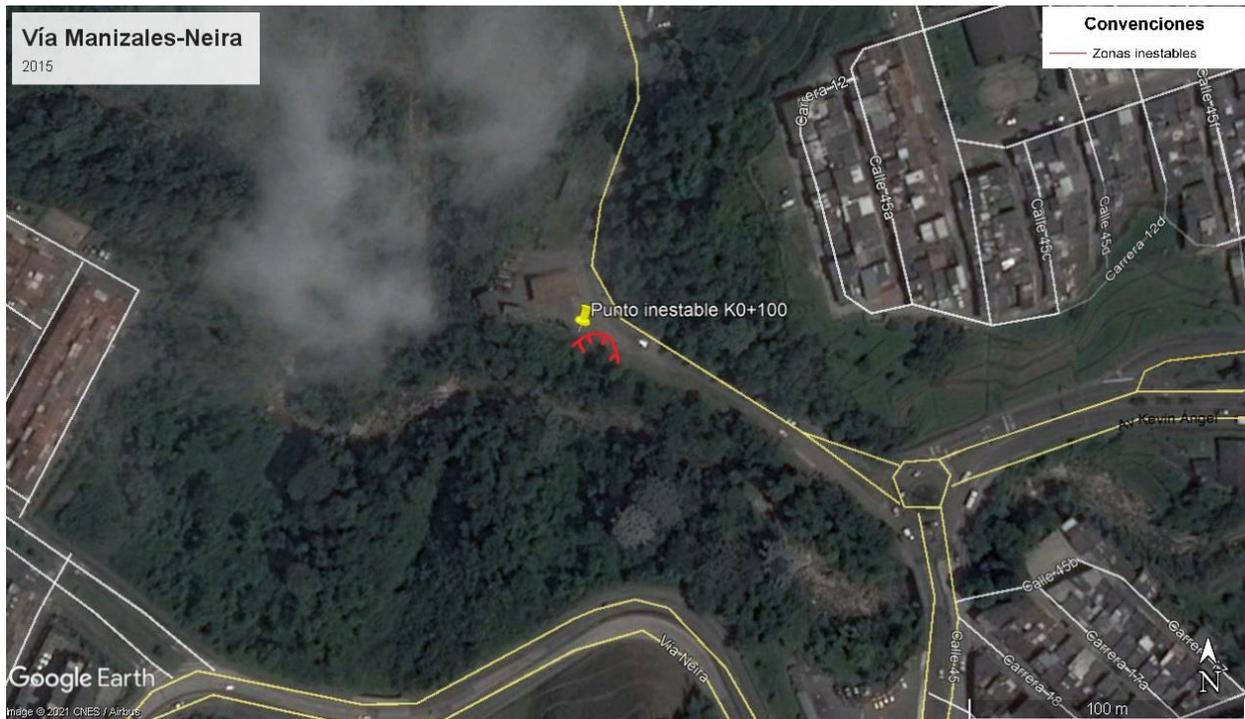


Ilustración 20 Mapa morfoodinámico 2015. Tomado y adaptado de Google Earth Pro.

Para el 2015 se observa una “estabilidad” general enmarcada en la zona de estudio, la cobertura vegetal se encuentra cubriendo en la totalidad, a todos los procesos que se enmarcaban como activos en los años pasados. Aunque el K0+100 se sigue observando su corona de deslizamiento muy marcada.



Ilustración 21 Mapa morfodinámico 2019. Elaboración propia

Para el periodo 2015 y 2019, existe un gap en la información, un registro importante dentro de las imágenes satelitales no queda plasmado, porque se observa que la ladera superior de la vía se encuentra con la intervención por parte de Corpocaldas intervenciones hacia su parte Noreste.

Se observa en la parte occidental de la zona de estudio el inicio de intervenciones de tipo urbanísticas, las cuales desencadenaron en erosiones superficiales y movimientos en masa traslacionales por mal manejo de aguas superficiales y deforestación de la capa vegetal.

El punto crítico K0+100 se encuentra en un estado suspendido, continúa presentando inestabilidad en la corona, pero sin evidencias de avance o retroceso en su estabilidad.

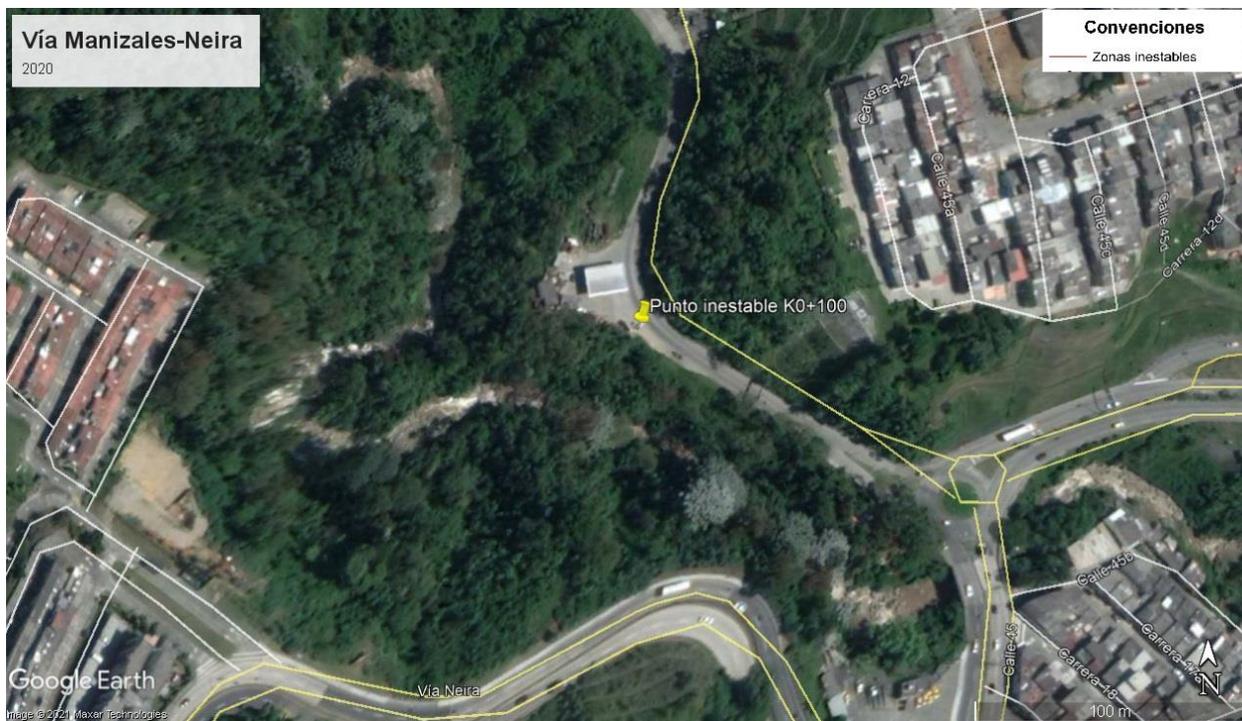


Ilustración 22 Mapa morfodinámico 2020. Tomado y adaptado de Google Earth Pro.

Las modificaciones realizadas en el año 2019, se observan que tuvieron éxito en la mitigación de este punto y que para el año 2021 continúan cumpliendo sus funciones de impermeabilizar, estabilizar y controlar las aguas superficiales.

Para el mes de febrero de 2021, en el momento de recopilación de información primaria por medio de dron, se observó una estabilidad general en la mayoría de la zona de estudio, aunque para el año 2018 se haya adelantado la contratación de los estudios y diseños para la estabilización y mitigación del punto crítico k0+100 por parte de la gobernación de Caldas, aún no se observa el inicio del proceso constructivo de éste.

A pesar de observarse este indicio de estabilidad por la revegetalización en el sector, aún se observan inestabilidades y desgarres superficiales en la parte centro-occidental de la zona de estudio, otorgando ideas de que la última ola invernal está reactivando los procesos

morfodinámicos, entre estos puede entrar el K0+100 y causar pérdidas parciales o totales de la banca. **Fotografía 2**



Fotografía 2. Procesos denudacionales en el sector centro-occidental de la zona de estudio. Elaboración propia 2021

En el desarrollo práctico, se evidencia que la zona de estudio es de alta complejidad, ya que desde los factores contribuyentes evaluados, se encuentra con variables geológicas complejas, que la componen suelos de origen volcánico, cuyas características mecánicas y competentes son muy bajas, además de la complejidad estructural al encontrarse en zona de influencia directa de la falla Romera; por otro lado la geomorfología en su escala de detalle en elementos, se observa que las formas en general presentan una susceptibilidad alta a procesos morfodinámicos, estos elementos son principalmente las laderas inclinadas, los lechos de cauce que su tendencia son a profundizarse y al socavamiento. Las pendientes también revelan fuertes rasgos para

proporcionar inestabilidad, debido a que el rango de mayor predominancia son las moderadamente escarpadas y las fuertemente escarpadas, esto siendo de gran importancia, ya que, a mayor pendiente, se obtiene una mayor susceptibilidad a la ocurrencia de movimientos en masa.

En cuanto a la hidrogeología, se destacó un equilibrio entre zonas de recarga y descarga, si por el contrario las zonas de recarga fueran considerablemente mayores a las de descarga, como por ejemplo lugares donde se capota mucha agua superficial y solo hay drenajes sencillos, el subsuelo se sobresaturará, y en el caso de la zona de estudio tenemos una quebrada de considerables magnitudes que puede sobrellevar gran cantidad de la recarga de agua que adquieren estos suelos.

Por otro lado, para este caso es muy importante tener en cuenta que las aguas de la quebrada olivares se convierten en un factor condicionante muy fuerte de la estabilidad general de la ladera, ya que las crecientes y las socavaciones laterales constantes generan directamente inestabilidad en la parte alta de las laderas, y para las recomendaciones de estabilidad de este punto crítico se tendrá en cuenta.

Los análisis integrales multidisciplinarios se hacen cada vez más importantes y necesarios en estudios y diseños de obras de mitigación, esto genera una herramienta valiosa que impulsará el éxito en la mayoría de formulación de proyectos.

10 Recomendaciones geotécnicas

En el sector, se observan diferentes especies arbóreas las cuales ayudan a mitigar de cierta forma la erosión.

Las diferentes especies que existen actualmente teniendo en cuenta el “Manual de silvicultura urbana para Manizales” son las siguientes:

NOMBRE	FAMILIA	ORIGEN	ALTURA (m)	DIÁMETRO MÁXIMO (cm)	AMPLITUD DE COPA (m)	SISTEMA RADICULAR	TIPO DE SUELO	USO
Urapán (<i>Fraxinus Chinensis</i>)	Oleaceae	China, este de Rusia y Japón	35	100	> 14	-----	Suelos aluviales alrededor de arroyos	Protección de cuencas hidrográficas
Guayacán de tierra fría (<i>Delostoma integrifolium</i> D. Don)	Bignoniaceae	Suramérica	15	30	7m a 14m	-----	Cercas vivas	-----
Chagualo (<i>clusia orthoneura standl.</i>)	Clusiaceae	América tropical	6	15	7m a 14m	Superficial	bien drenado	raíces fuertes
Arrayan de Manizales (<i>Lafoensia puniceifolia</i> DC)	Lythraceae	Colombia, Venezuela, Ecuador, Bolivia y México	20	60	7m a 14m	Profundo	-----	-----

Tabla 3 Tabla con las diferentes especies arbóreas que existen en Manizales. Fuente: Manual de silvicultura urbana para Manizales.

Uno de los factores que más afectan a las laderas y en específico para el punto crítico encontrado en la vía Manizales – Neira son de origen antrópico.

- Sobrecargas por acumulación de escombros, residuos o desechos.



Ilustración 23 escombros, desechos.

- Construcción de estructuras en la parte superior de la ladera.



Ilustración 24 Estación de servicio, parqueadero.

- Manejo de drenaje por fugas de agua, canalizaciones de agua hidráulicamente descompensadas, alcantarillas con la sección sub dimensionada.



Ilustración 25 Canales, Tuberías existentes.

10.1 Análisis

Según el “Avance técnico 264” de Cenicafé “Control de derrumbes y negativos en carreteras, mediante tratamientos de tipo biológico”, en las vías existe un efecto llamado negativo, donde se forman procesos de socavación y tiene diferentes causas como la tala, cultivos transitorios, concentración de aguas de escorrentía, sobrepastoreo, desprotección de desagües, unión de cauces, ausencia de cunetas, falta de mantenimiento, saturación y socavamiento de laderas, entre otros aspectos.

Como propuesta de obras de bioingeniería para el control de la erosión, se propone:

10.1.1 Taponamiento de grietas

Las grietas de tensión en la ladera aparecen en el sector donde existe un relleno antrópico.

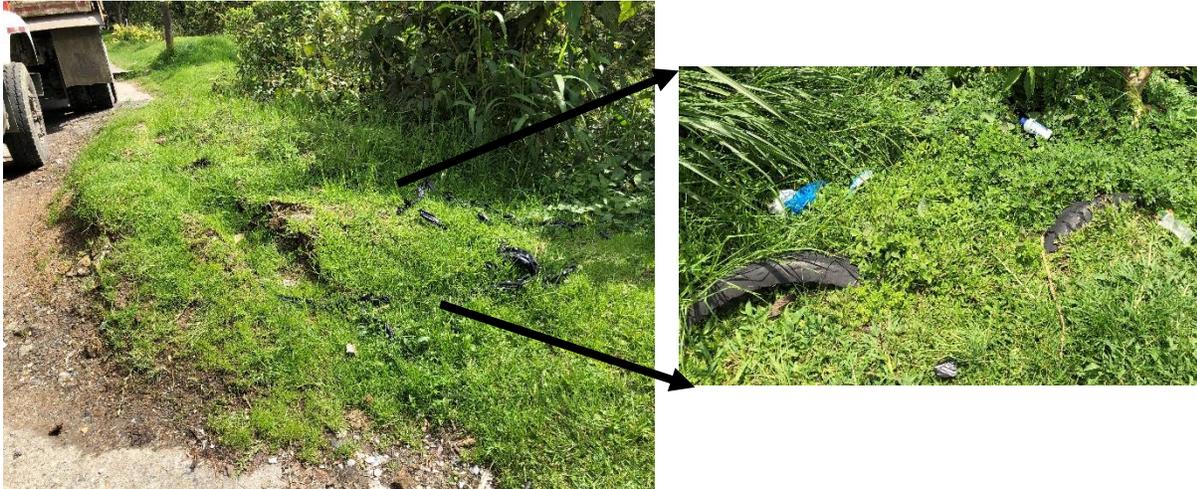


Ilustración 26 Grietas de tensión y basuras en el K0+100

Se propone el sellamiento de las grietas que son visibles en la corona de la ladera, evitando que aguas de escorrentía y aguas lluvias se infiltren, además de proponer una zanja de corona para direccionar estos flujos a un colector principal.

Como procedimiento se excava en la grieta de tensión hasta que sobrepase la grieta en cuestión, se propone excavar un 30% más de la altura de la grieta.

Se realiza una compactación usando un material arcilloso.

Se rellena la excavación en su totalidad, si el material arcilloso es muy húmedo se realiza una mezcla homogénea con cal.



Ilustración 27 Ilustración de sellamiento de grietas y lugar a intervenir, respectivamente.

10.1.2 Trinchos vivos en vertedero – trinchos disipadores

Después de realizar el taponamiento de grietas, se propone el uso de trinchos en vertedero, siendo estas estructuras en guadua, escalonada a lo largo de los surcos para que las aguas de las diferentes zanjas propuestas lleguen a estos trinchos, se disipe la energía y direccionen al cause en la parte inferior del proyecto.

Se localiza el drenaje a intervenir con la topografía del sector, según el “Manual de procedimientos para el manejo de procesos denudativos con obras de bioingeniería” se recomienda como distancia entre trinchos máximo 2m en zonas donde la pendiente es muy alta, asimismo se recomienda un monitoreo constante para su mantenimiento.

Como método de construcción se realiza una excavación por todo el drenaje a una profundidad de 70cm y con un ancho de 1,5m.

Se realiza perforaciones con una profundidad de 2m, allí estará ubicadas las guaduas que soportarán el trincho.

Se entierran 7 guaduas en la base del drenaje y 4 por encima del terreno, su procedimiento se observa en la siguiente figura:



Ilustración 28 Ejemplo de trinchos vivos en vertedero.

El vertedero quedará al nivel base, con el fin de evitar volcamiento por esfuerzos muy altos de escorrentía y para evitar en mayor medida el socavamiento.

10.1.3 Estabilización del tramo del río

Para la zona inferior del proyecto, el río golpea la base del talud generando deslizamientos y socavamientos laterales generando inmediatamente inestabilidad. Como medida principal, para el control de la erosión se propone el uso de un muro en gaviones siendo este un tratamiento biotecnológico la cual combina la bioingeniería con sistemas convencionales de la ingeniería civil para la estabilización de laderas.

Para esta práctica, se tuvo en cuenta la hidrología del sector, el aumento de caudales en épocas lluviosas, donde se propone un muro de contención de 4m de altura, con dos metros de enterramiento.

También se propone el uso de un pedraplén al final de los trinchos vivos en vertedero para disminuir la energía del flujo y entregarlo de forma efectiva al cauce. A continuación, se observa la propuesta de solución al punto crítico del proyecto con base en bioingeniería:



Ilustración 29 Modelo de estabilidad con obras de bioingeniería.

11 Impacto

Un análisis multitemporal de la zona de estudio para evaluar evolución y comportamiento de factores contribuyentes y detonantes en la inestabilidad de las laderas, especialmente proyecta el resultado de que los estudios y diseños de un proyecto, se cierran a corregir una problemática y no evitarla, además que en todo el país hay unidades de gestión del riesgo para evitar este tipo de situaciones, aún estos abordajes se quedan muy cortos en el país. Se hace muy notorio en los casos de los desastres naturales, ya que cuando ocurren avalanchas, movimientos en masa, inundaciones, el gobierno despliega operativos muy grandes para atender estas contingencias, aun sabiendo que con un buen manejo de estos recursos se podrían evitar totalmente estos

escenarios; realizando un abordaje integral de todos los factores que inciden en estos procesos de inestabilidad y para finalmente generar unos estudios, diseños y obras para la estabilización de estos escenarios.

Como se observó para el año 2019, realizaron una obra de contención por medio de una pantalla impermeabilizadora de concreto liso; la cual fue una obra destinada a mitigar una problemática que ya había atentado contra la vida de las personas en la vía Manizales-Neira; como se observa en el estado actual 2021, el sector aún necesita de obras e intervenciones que puedan dar una estabilidad global al primer tramo de la vía, como lo es el punto crítico K0+100, y los demás procesos erosivos superficiales y profundos que se observan en todas las laderas de quebrada Olivares, y el talud superior de la vía. Estos procesos morfodinámicos pueden generar amenaza de una posible incomunicación en el sector, dado a que la vía principal es susceptible a fallar.

12 Conclusiones

Se elaboró un análisis multitemporal de imágenes aéreas y satelitales del primer tramo de 250m de la vía Manizales-Neira, y se evaluó las estabilidades geotécnicas y los procesos morfodinámicos actuantes en el sector, durante los años 2007 y 2021. Se llevó a cabo modelados 3d por medio de fotogrametría para observar cómo se encuentra la zona de estudio en el año 2021 mediante teledetección.

En el sector de la estación de servicio EDS El Río, se localiza un movimiento activo del terreno, en el cual se identifican obras como drenajes canalización de aguas (cunetas). Se

establece una unidad geomorfológica de origen antrópico, asociada a la explanación y relleno de las vías en la parte superficial.

El factor detonante de los procesos morfodinámicos en el segmento inferior de la ladera se acusa al precario mantenimiento de cunetas y carencia de un número importante de obras hidráulicas, las cuales canalicen las aguas en el sector, para así evitar la saturación de la única obra existente, que posteriormente genera el colapso del punto crítico K0+100; por otro lado, en la zona inferior de la ladera, ocurre debido a la socavación de aguas superficiales del cauce de las quebrada olivares.

Se realizó la recomendación de obras que abordarán de manera global la problemática del sector. Las obras de estabilidad propuestas están encaminadas a la protección de la vía. Las obras de biotecnología y bioingeniería son de gran aporte para la estabilización correcta de la ladera, son ágiles, económicas y de grandes resultados positivos para tratamientos inmediatos o a corto plazo de una problemática que incluya procesos erosivos.

Las herramientas de sistemas de información geográfica, son de gran valor en la ejecución de todo tipo de proyectos, ya que como se pudo observar, el manejo, análisis y mapeo de la información se desarrolló por medio de herramientas del arctoolbox en Arcmap; tales como las variables contribuyentes antes mencionadas (pendientes, modelos digitales de terreno, direcciones de flujo, delimitación de cuencas, entre otros.) El espectro de estas herramientas es muy amplio y aplicable a todos los campos de los proyectos de hoy, desde manejo de datos en agricultura, hasta proyectos de índole biológico. Gracias a estas herramientas se logró evidenciar y detallar los factores condicionantes y detonantes que influyen directamente en la estabilidad de la ladera y así lograr proponer un tratamiento geotécnico a partir de obras bioingenieriles.

13 Bibliografía

- Cardona Galeano, L. C.** (2018). *ESTUDIOS Y DISEÑOS DE LAS OBRAS DE ESTABILIZACIÓN DE LA VÍA MANIZALES-NEIRA, MUNICIPIO DE MANIZALES, K0+100, DEPARTAMENTO DE CALDAS.*
- González, H.** (2001). *Geología de las Planchas 206 Manizales y 225 Nevado del Ruíz Escala 1:100.000 Memoria Explicativa.* 93.
- Gutiérrez, E.** (2015). *Memoria Explicativa Del Mapa Geomorfológico Aplicado a Movimientos En Masa Escala 1 : 100 . 000 Plancha 148 - San Carlos Memoria Explicativa Del Mapa Geomorfológico Aplicado a Movimientos En Masa Escala 1 : 100 . 000.* (041), 1–74.
- Mosquera, D.** 1978. *Geología del cuadrángulo K-8, Manizales. INGEOMINAS, Informe 1763, Bogotá, 63p.*
- CORPOCALDAS.** *Manual para el Control de Erosión.*1998
- HUNT, Roy E.** *Geotechnical Engineering Investigation Handbook.* 2005.
- INGEOMINAS.** *Geología de la plancha 205, Chinchiná, Escala 1:100.000.* 1998
- SUÁREZ DÍAZ, Jaime.** *Control de Erosión en Zonas Tropicales.* 2001.
- SUÁREZ DÍAZ, Jaime.** *Deslizamiento. Volumen I Análisis Geotécnico.* 2009.
- 1087-INF-LP04.01-VARIANTE LA PAZ FASE III - ESTUDIO DE SUELOS PARA FUNDACIONES, ESTABILIDAD Y ESTABILIZACIÓN DE TALUDES.**

IGAC., (2017). Actualización de la cartografía temática con relación a las amenazas naturales, las áreas de interés ambiental y los suelos de protección por cada uno de los siete corregimientos del municipio de Manizales año 2007.

INGEOMINAS., (1982). Geología de la plancha 206 y 225 – Manizales y Nevado del Ruíz, Plancha geológica, Escala 1:100.000.

INGEOMINAS., (1982). Geología de la plancha 206 y 225 – Manizales y Nevado del Ruíz, Memoria explicativa.