



Evaluación de la influencia de la Formación Amagá en la infraestructura vial de la carretera de segundo orden Heliconia – Alto del Chuscal e identificación de las medidas de mitigación propuestas por la Secretaria de Infraestructura Física de la Gobernación de Antioquia.

Laura Andrea Cardona Castro

Informe de práctica presentado para optar al título de Ingeniera Civil

Asesor

Gustavo Alberto Uribe Wills, Ingeniero Civil

Universidad de Antioquia
Facultad de Ingeniería
Ingeniería Civil
Medellín, Antioquia, Colombia
2024

Cita	(Cardona, 2024)
Referencia	(Cardona, 2024). <i>Evaluación de la influencia de la formación Amagá en la infraestructura vial de la carretera de segundo orden Heliconia – Alto del Chuscal e identificación de las medidas de mitigación propuestas por la Secretaría de Infraestructura Física de la Gobernación de Antioquia.</i> [Trabajo de grado profesional]. Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia.
Estilo APA 7 (2020)	



Biblioteca Carlos Gaviria Díaz

Repositorio Institucional: <http://bibliotecadigital.udea.edu.co>

Universidad de Antioquia - www.udea.edu.co

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Antioquia ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por los derechos de autor y conexos.

Tabla de contenido

Resumen	7
Abstract	8
Introducción	9
1 Planteamiento del problema	10
1.1 Antecedentes	10
2 Justificación.....	12
3 Objetivos	13
3.1 Objetivo general.....	13
3.2 Objetivos específicos	13
4 Marco teórico	14
4.1 Formación Amagá.....	15
4.2 Marco Regional de Heliconia	17
5 Metodología	18
5.1 Localización general del contrato	18
5.2 Descripción general del Contrato.....	20
5.3 Identificación de puntos Críticos	22
5.4 Revisión de referencias bibliográficas	24
6 Resultados	26
6.1 Obras de mitigación propuestas y ejecutadas por la Gobernación de Antioquia.	26
6.2 Obras de mitigación propuestas como alternativa.....	31
7 Discusión.....	32
8 Conclusiones	33
Referencias.....	34

Lista de tablas

Tabla 1 Cronograma de actividades	18
Tabla 2 Caracterización de la vía Miserenga (Cruce Ruta 62) - Ebéjico - Sevilla - Heliconia - Alto del Chuscal	21
Tabla 3 Resumen de las obras ejecutadas por la Gobernación de Antioquia en el mejoramiento del corredor y atención de sitios críticos de la vía de segundo orden la Miserenga (cruce ruta 62) – Ebéjico – Sevilla – Heliconia - Alto del Chuscal (62an17)	30

Lista de figuras

Figura 1 Miembros inferior, medio y superior de la Formación Amagá.....	16
Figura 2 Mapa de localización General de la vía La Miserenga – Alto del Chuscal.	19
Figura 3 Mapa de localización General de la vía La Miserenga – Alto del Chuscal, municipio de Heliconia y la Formación Amagá.....	20
Figura 4 Ubicación de los tramos de vía intervenidos por el contrato 4600014783 de 2022 de la Gobernación de Antioquia.....	22
Figura 5 Abscisas de interés en el tramo de intervención de la vía La Miserenga – Alto del Chuscal.	23
Figura 6 Obras de mitigación ejecutadas por la Gobernación de Antioquia en el sector Los Columpios km56+850 de la vía la Miserenga - Alto del Chuscal, en la subregión occidente del Departamento de Antioquia.	27
Figura 7 Obras definitivas ejecutadas por la Gobernación de Antioquia entre el km57+520 y el km57+720 de la vía la Miserenga - Alto del Chuscal, en la subregión occidente del Departamento de Antioquia.	27
Figura 8 Obras de mitigación ejecutadas por la Gobernación de Antioquia en el sector La Gallinera km58+600 de la vía la Miserenga - Alto del Chuscal, en la subregión occidente del Departamento de Antioquia.	28
Figura 9 Obras definitivas ejecutadas por la Gobernación de en el km 59+826 de la vía la Miserenga - Alto del Chuscal, en la subregión occidente del Departamento de Antioquia.	29

Siglas, acrónimos y abreviaturas

INGEOMINAS	Instituto de Investigación e Información Geocientífica, Minero – Ambiental y nuclear.
SIF	Secretaría de Infraestructura Física
RSN	Red Sismológica Nacional
IGME	Instituto Geológico y Minero de España
OAPN	Organismo Autónomo Parques Nacionales
INVIAS	Instituto Nacional de Vías
UNISDR	Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres
CORPOCALDAS	Corporación Autónoma de Caldas

Resumen

La Formación Amagá está constituida por sedimentos continentales y lacustres depositados en cuencas de tracción de tamaño variable y ahora conservados en zonas tectónicas de plegamiento (Instituto de Investigación e Información Geocientífica, Minero - Ambiental y Nuclear [INGEOMINAS], 2001). Esta formación geológica ha causado algunos problemas en la carretera de segundo orden que conecta el municipio de Heliconia con el Alto del Chuscal, ubicada en la subregión Occidente del Departamento de Antioquia. El objetivo de esta propuesta es identificar los puntos que se han visto afectados por la formación en cuestión, para ello, inicialmente se pretende conocer cuáles han sido las medidas de mitigación tomadas por la secretaría de infraestructura física de la Gobernación de Antioquia, luego, con base en referencias bibliográficas y a soluciones usadas en otros lugares se espera poder proponer otras alternativas que puedan aportar al mejoramiento de la infraestructura vial afectada por estar en zonas geológicas inestables, además de cooperar de manera significativa a los procesos usados actualmente en la Gobernación de Antioquia.

Palabras clave: Formación Amagá, estabilidad, aguas de escorrentía, obras de mitigación, pérdida de banca, erosión, vías.

Abstract

The Formación Amagá is constituted by a continental and lake sediments deposited in traction basins of variable size and now preserved in tectonic folding zones (Instituto de Investigación e Información Geocientífica, Minero - Ambiental y Nuclear [INGEOMINAS], 2001). This geological formation has caused some problems in the second order road that connects the Heliconia town with Alto del Chuscal, which is located in the western sub-region of the Department of Antioquia. The aim of this proposal is to identify the points that have been affected by the formation in question, for this, initially this project intends to know what have been the mitigation measures taken by the physical infrastructure secretariat of the Government of Antioquia, then, based on bibliographic references and solutions used in other places is to propose other alternatives that can contribute to the improvement of the road infrastructure affected by being in unstable geological areas, in addition to cooperate significantly to the processes currently used in the Government of Antioquia.

Keywords: Formación Amagá, stability, runoff waters, mitigation works, erosion, roads, slopes.

Introducción

En el Departamento de Antioquia existe una problemática constante de orden vial que requiere de soluciones óptimas y de acciones inmediatas que permitan dar continuidad a la prestación del servicio de todos los usuarios de las vías de las diferentes subregiones del departamento. Con el estado de deterioro de las vías la transitabilidad entre las subregiones se reduce considerablemente, produciendo consecuencias negativas para los usuarios en todos los campos, económico, social, aumento en gastos de mantenimiento vehicular, tiempos de desplazamiento más largos, además, inseguridad e incomodidad para quienes transitan las vías departamentales como las ubicadas en la subregión Occidente. Por lo anterior, la Secretaría de Infraestructura Física [SIF] de la Gobernación de Antioquia firmó el contrato de obra 4600014783 de 2022 cuyo objeto es el “Mejoramiento de los corredores y atención de sitios críticos de las vías de segundo orden Alto del Chuscal – Armenia – La Herradura - Titiribí (60an08-1), y la Miserenga (cruce ruta 62) – Ebéjico – Sevilla – Heliconia - Alto del Chuscal (62an17), en la subregión occidente del Departamento Antioquia”. Lo que se busca en este proyecto es localizar los puntos críticos del último tramo Heliconia – Alto del Chuscal donde se ha evidenciado que el corredor vial está directamente afectado por la Formación Amagá, generando algunos problemas notorios como pérdidas de banca por erosión hidráulica, movimientos del eje de la vía, inestabilidad de taludes y laderas, entre otros. La identificación se realiza para conocer cuál es la influencia de las formaciones geológicas en los corredores viales y cuáles han sido las medidas tomadas por La SIF para mitigar los problemas presentados, esto con la finalidad de analizar las intervenciones, compararlas con soluciones propuestas en otros lugares que pueden tener la misma problemática y proponer nuevas alternativas de mitigación.

1 Planteamiento del problema

La Secretaría de Infraestructura Física de la Gobernación de Antioquia busca potenciar el desarrollo económico de Antioquia a partir de Infraestructura con sentido social, en pro de la equidad, el progreso y el desarrollo de las comunidades, impulsa el desarrollo vial del departamento con proyectos estratégicos que facilitan la movilidad y las dinámicas socioeconómicas de las subregiones. En el departamento existe una problemática relacionada con las vías que requiere de atención y de soluciones óptimas, la carretera Heliconia – Alto del Chuscal ha presentado algunos puntos críticos producto de su localización cercana a la Formación Amagá lo que ha causado procesos de inestabilidad, además, según los anexos técnicos de la SIF esta vía no contaba con cunetas laterales para la conducción de aguas superficiales y aguas lluvia y también presentaba problemas de erosión hídrica; el mejoramiento de la vía mencionada permite la potencialización de actividades económicas y optimizar la seguridad vial, además, debido a la cercanía del municipio de Heliconia con Medellín se favorece la dinámica de comercialización de productos propios de la zona, es por esto que la Gobernación de Antioquia firmó el contrato 4600014783 de 2022 que dentro de sus objetivos tiene el mejoramiento del corredor vial Heliconia – Alto del Chuscal.

1.1 Antecedentes

Existen diferentes trabajos de investigación sobre la Formación Amagá, Grosse en 1926 comenzó por fijar la extensión superficial de la formación carbonífera de Antioquia en su región principal, luego en 1996, Castrillón en su investigación sobre la geología del sector La Estación – La Corona, en los municipios de Angelópolis y Amagá, define los afloramientos de la Formación, además, los 3 miembros que la conforman, también, habla de la geología general de la zona, que corresponde a la misma zona de estudio tratada en el presente proyecto.

En lo que respecta puntualmente a la influencia de las zonas inestables sobre las carreteras y las obras que se han usado como mitigación a los problemas causados, se encontraron diferentes referencias que servirán como apoyo para el estudio. La corporación autónoma de Caldas, en busca de mejorar la gestión ambiental y la prevención de desastres ha ejecutado obras de estabilidad y manejo de aguas debido a los diferentes eventos de inestabilidad presentados en este departamento, en el trabajo de obras de reducción y mitigación del riesgo del Departamento de Caldas, presentan

diferentes aspectos geológicos e hidrológicos, además de análisis de deslizamientos y zonificación geotécnica para entender el comportamiento de la zona y de esta manera mostrar las obras ejecutadas para el tratamiento de taludes y el manejo de aguas.

En Bolivia, Trujillo, C. (2021) identificó un área de alto riesgo geológico producto de los constantes deslizamientos, ella propone el pavimento articulado como una alternativa ante fallas geológicas en la construcción de infraestructura vial, en el trabajo muestra las características de este tipo de pavimento e indica que esta es una solución práctica y económica para la reconstrucción de las vías afectadas por los fenómenos de inestabilidad.

Por otro lado, Orosco, J. (2023) se encargó de evaluar diferentes sistemas de estabilización de taludes en zonas de falla geológica en Perú, por medio de inspecciones en campo y cálculo de factores de seguridad, Orosco en esta investigación logra identificar cuáles son los métodos de estabilización indicados para las zonas geológicas inestables.

Estas investigaciones son puntualmente las que tienen mayor relación con el objetivo del presente proyecto, en ellas se encontró información concreta sobre la formación Amagá y su estratigrafía, también, se relaciona la inestabilidad con el manejo de las aguas superficiales y de escorrentía y finalmente se identifica el comportamiento de las carreteras en otras zonas geológicamente inestables y los métodos para mitigar los problemas causados.

2 Justificación

La presente investigación es relevante debido a la importancia de entender cómo la Formación Amagá ha impactado la infraestructura vial de la carrera Heliconia – Alto del Chuscal y su mantenimiento; la Formación Amagá es un factor geológico significativo que puede influir en la estabilidad de las carreteras y en la planificación de medidas de mitigación de riesgos. Por lo tanto, con este estudio se buscan evaluar las alternativas que la Gobernación de Antioquia ha implementado en busca de mantener la infraestructura vial en buen estado, además, los resultados obtenidos y las alternativas propuestas pueden proporcionar información valiosa para mejorar la seguridad y eficiencia no solo de esta carretera sino de cualquier otra que tenga características geológicas similares, además, para invertir correctamente y optimizar los recursos públicos destinados a su mantenimiento.

3 Objetivos

3.1 Objetivo general

Evaluar la influencia de la formación Amagá en la infraestructura vial de la carretera Heliconia - Alto del Chuscal

3.2 Objetivos específicos

3.2.1 Localizar los puntos críticos de la vía donde se evidencian problemas causados por la Formación Amagá

3.2.2 Identificar las obras de mitigación que se proponen desde la Secretaría de Infraestructura Física de la Gobernación de Antioquia.

3.2.3 Comparar las soluciones propuestas por la Gobernación con obras realizadas en otros lugares basados en referencias bibliográficas.

3.2.4 Proponer otras alternativas para la mitigación de los impactos generados por la formación

4 Marco teórico

En geología, una falla es una superficie de ruptura de la corteza terrestre donde se produce un movimiento diferencial entre dos bloques adyacentes (Red Sismológica Nacional [RSN], s.f.) y una formación es la principal unidad de división lito estratigráfica que define cuerpos de rocas caracterizados por propiedades comunes, puede asociarse en grupos, miembros o estratos. (Instituto Geológico y Minero de España [IGME] y Organismo Autónomo Parques Nacionales [OAPN], 2022); Algunas vías secundarias de la subregión occidente del Departamento de Antioquia se han visto perjudicadas por estar en zonas geológicamente inestables por la presencia de estas fallas y formaciones; específicamente, el tramo que conecta el municipio de Heliconia con el Alto del Chuscal está afectado por La Formación Amagá, debido a esto se han presentado diferentes situaciones críticas como movimientos de laderas que son partes de las vertientes que se desplazan hacia abajo por efecto de la gravedad, estos fenómenos son el tercer riesgo natural en el mundo por número de víctimas después de los terremotos y las inundaciones (Copons & Tallada, 2009). También, se ha evidenciado pérdida de banca en algunos tramos, la banca, según El Instituto Nacional de Vías (INVIAS, 2013) es la distancia horizontal medida normalmente al eje, entre los extremos exteriores de las cunetas o los bordes laterales, esto implica una afectación en la transitabilidad y seguridad de los usuarios de la vía, por lo que es importante buscar medidas de mitigación inmediatas que pueden ser cualquier construcción física para reducir o evitar los posibles impactos de las amenazas o la aplicación de técnicas de ingeniería para lograr la resistencia y la resiliencia de las estructuras o de los sistemas frente a estos riesgos (Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres [UNISDR], 2009).

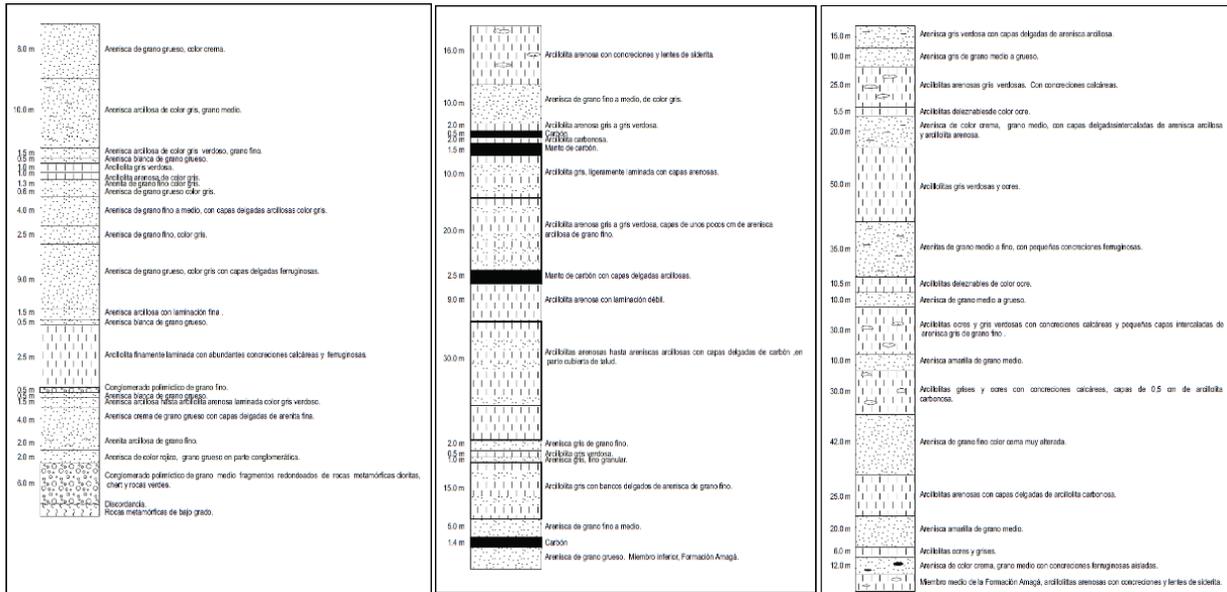
La zona también se ha visto afectada por temas de erosión hidráulica por la ausencia de sistemas de drenaje para canalizar aguas de escorrentía, la erosión hidráulica es el proceso físico que consiste en el desprendimiento y arrastre de los materiales del suelo resultado de la energía producida por el agua al precipitarse sobre la tierra (Tayupanta 1993). Para lograr la identificación de estos puntos críticos se seguirá la metodología usada por López et al. (2019) en Pereira, Risaralda, donde indica que se debe tomar un punto como referencia de partida que se identificará como el km 0+00 (kilómetro 0 + 00 metros) luego, al continuar con el recorrido por el corredor vial se deberán ir identificando, clasificando y registrando cada uno de los sitios de interés que se observen.

Las vías secundarias del departamento juegan un papel importante en la integración nacional, regional y local, además, en conjunto con las vías terciarias, representan cerca del 92% del total de la malla vial nacional (Ospina, 2016). La red de vías nacionales se divide generalmente en 3 grupos, red primaria, red secundaria y red terciaria, las redes primarias están constituidas por carreteras que unen ciudades principales, por lo general son vías doble calzada pavimentadas, mientras que la red secundaria está constituida por carreteras bidireccionales con o sin pavimento (Ospina, 2016) que conectan cabeceras municipales entre sí o con una vía primaria y finalmente, las redes terciarias son aquellas vías de acceso que unen las cabeceras municipales con sus veredas o unen veredas entre sí (INVIAS, 2016).

4.1 Formación Amagá

Castrillón (1996), menciona que la Formación Amagá es “una unidad de rocas sedimentarias estratificadas que afloran en la parte norte de la depresión del Cauca, en los Departamentos de Caldas y Antioquia como una franja alargada en dirección Norte – Sur” (p. 17); esta se caracteriza por la presencia de bancos y capas de Carbón. Grosse (1926) la llamó Terciario Carbonífero de Antioquia y la subdividió en 3 pisos: uno inferior, uno medio y uno superior, para esto se basó en la ausencia o en la presencia de mantos explotables de carbón; en el piso inferior se forman mantos explotables débiles, en algunos puntos se presentan areniscas y hasta arcillas pizarrosas; en el piso medio, también llamado piso productivo existen varios mantos de carbón explotable, areniscas como las del piso inferior y la masa principal del piso que está formada por arcillas pizarrosas; finalmente, el piso superior se caracteriza por la ausencia de mantos explotables de carbón y por el predominio de areniscas sucias y arcillo litas deleznales.

Figura 1
Miembros inferior, medio y superior de la Formación Amagá



Nota. Adaptado de *Columnas generalizadas de la Formación Amagá* (p. 166), de INGEOMINAS, 2001, <https://recordcenter.sgc.gov.co/B4/13010040024267/documento/pdf/0101242671101000.pdf>

La composición de la Formación Amagá puede causar una serie de problemas en las carreteras que atraviesan o que están cercanas a áreas de esta zona geológica; la presencia de arcillas pizarrosas hace que el suelo sea propenso a deslizamientos de tierra especialmente durante períodos de lluvias, debido a que “estos suelos aluviales, coluviales y de meteorización de las pizarras al ser más finos (arcillas) tienden a retener un mayor volumen de líquido bajo condiciones no-saturadas” (Sidle, 1984, como se citó en Arone, 2017, p. 70). Basados en el comportamiento de este material fino ante la presencia de agua, también se puede presentar la subsidencia del terrero. La compactación de las arcillas puede provocar que el terreno se asiente, lo que resultaría en la afectación de la carretera.

En un estudio realizado en la misma zona de interés por Álvarez et al. (2015) se evidenció que debido a los ciclos de expansión y compresión que experimentan las arcillas a raíz de las fluctuaciones de humedad se generan grietas, contra pendientes y reptación que es un tipo de deformación plástica que terminan afectando la infraestructura vial.

Teniendo en cuenta las características descritas anteriormente, es evidente que el efecto del agua es uno de los detonantes más relevantes de la inestabilidad de la zona, el mal manejo de esta

termina causando problemas de erosión, lo que genera a su vez pérdidas de material que se traducen en pérdidas de banca de la carretera y en la formación de baches y grietas. En el tramo de vía de Heliconia – Alto del Chuscal no se contaba con obras suficientes para el manejo de aguas de infiltración y de escorrentía por lo que uno de los objetivos principales de la intervención de la Secretaria de Infraestructura Física del Departamento de Antioquia es la ejecución de obras de drenaje y de manejo de aguas en general, teniendo en cuenta que como lo mencionan Álvarez et al. (2015) “difícilmente se podrá dar una solución definitiva al problema de inestabilidad, ya que las características mecánicas y composicionales anteriormente descritas se extienden hasta profundidades considerables, a las cuales es complicado controlar su comportamiento” (p. 43).

4.2 Marco Regional de Heliconia

El municipio de Heliconia se encuentra en la subregión occidental del Departamento de Antioquia, limita con los municipios de Ebéjico al Norte, Angelópolis y Medellín al Oriente, Angelópolis y Armenia al sur y Armenia y Medellín al Occidente, su cabecera dista de 41 km de la ciudad de Medellín, Heliconia posee una extensión de 117 km² y está a 1140 m.s.n.m (Gobernación de Antioquia, s.f.); el municipio cuenta con una vía de acceso principal: Heliconia – Alto del Chuscal – Corregimiento San Antonio de Prado – Itagüí – Medellín. El área de estudio se encuentra ubicada en la vertiente occidental de la cordillera central y cuenta con una alta actividad tectónica debido a las diferentes litologías que afloran en el municipio, entre las más importantes se encuentran un sistema de fallas y la Formación Amagá (Durán, 2018). Las fallas más extensas de la zona son la falla de Amagá y la falla Quirimará que atraviesan la zona en su totalidad en dirección Norte – Sur; la falla Amagá es de tipo inversa con dirección N40°W y 27° de buzamiento y pone en contacto a otras formaciones con la Formación Amagá. En el municipio de Heliconia, la Formación Amagá aflora en las carreteras que conducen hacia Hacienda la Cañada, Medellín, Alto del Corral y Pueblito, por las quebradas La Sucia, La Horcona y Sabaletas (INGEOMINAS 2006).

5 Metodología

El trabajo se desarrolló siguiendo la metodología planteada en el cronograma de actividades presentado en la Tabla 1.

Tabla 1

Cronograma de actividades

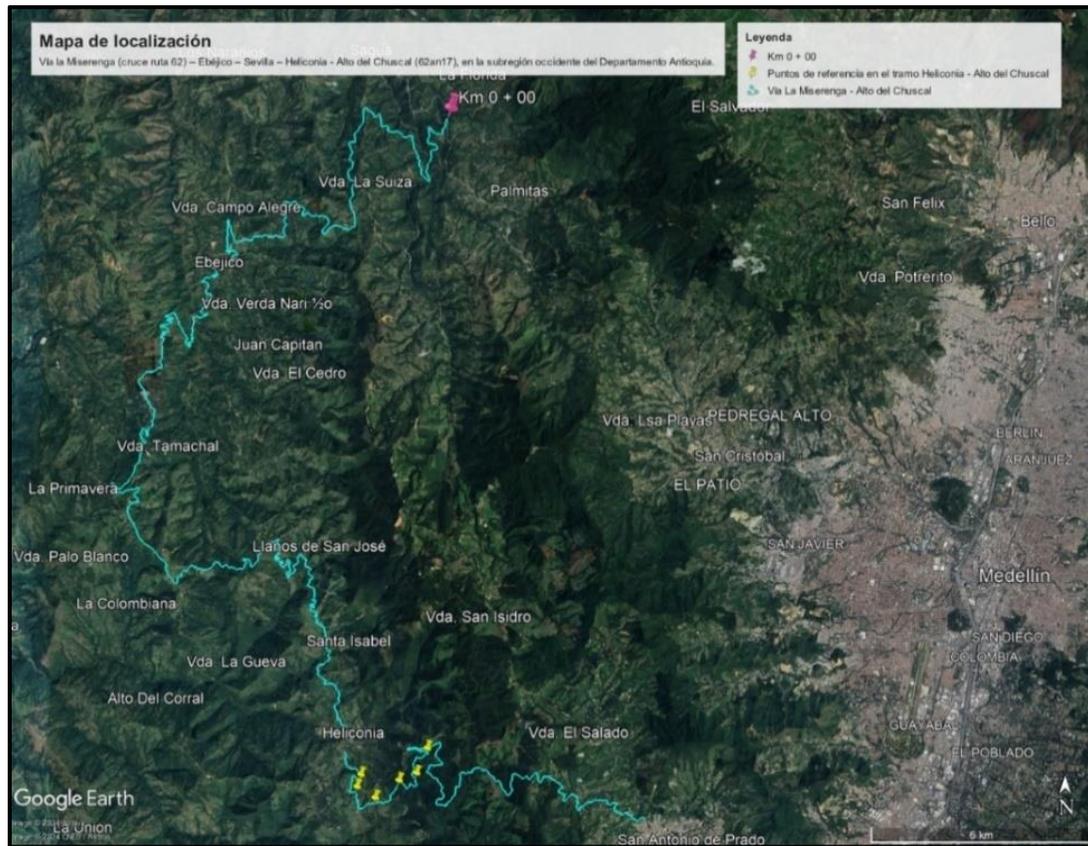
ACTIVIDADES	MARZO				ABRIL				MAYO				JUNIO			
	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4
1. Visitas a la vía de interés																
2. Localización y reconocimiento de los puntos críticos																
3. Identificación y análisis de las propuestas de mitigación por parte de la Gobernación de Antioquia																
4. Revisión bibliográfica																
5. Análisis de alternativas																

5.1 Localización general del contrato

La vía Heliconia – Alto del Chuscal hace parte del contrato firmado por la Secretaria de Infraestructura Física de la Gobernación de Antioquia que busca el mejoramiento de los corredores y atención de sitios críticos de las vías de segundo orden Alto del Chuscal – Armenia – La Herradura - Titiribí (60an08-1), y la Miserenga (cruce ruta 62) – Ebéjico – Sevilla – Heliconia - Alto del Chuscal (62an17); esta es una carretera que se encuentra en la subregión occidental del departamento y teniendo en cuenta la información relacionada anteriormente la vía en cuestión está directamente influenciada por la Formación Amagá; en la figura 2 se presenta el mapa de localización general de la vía la Miserenga (cruce ruta 62) – Ebéjico – Sevilla – Heliconia - Alto del Chuscal (62an17) y la figura 3 corresponde al mapa de localización del municipio de Heliconia, la Formación Amagá y la vía mencionada, estos mapas se crearon con base en la información obtenida de Google Earth y del Portal Datos Abiertos del Servicio Geológico Colombiano respectivamente.

Figura 2

Mapa de localización General de la vía La Miserenga – Alto del Chuscal.



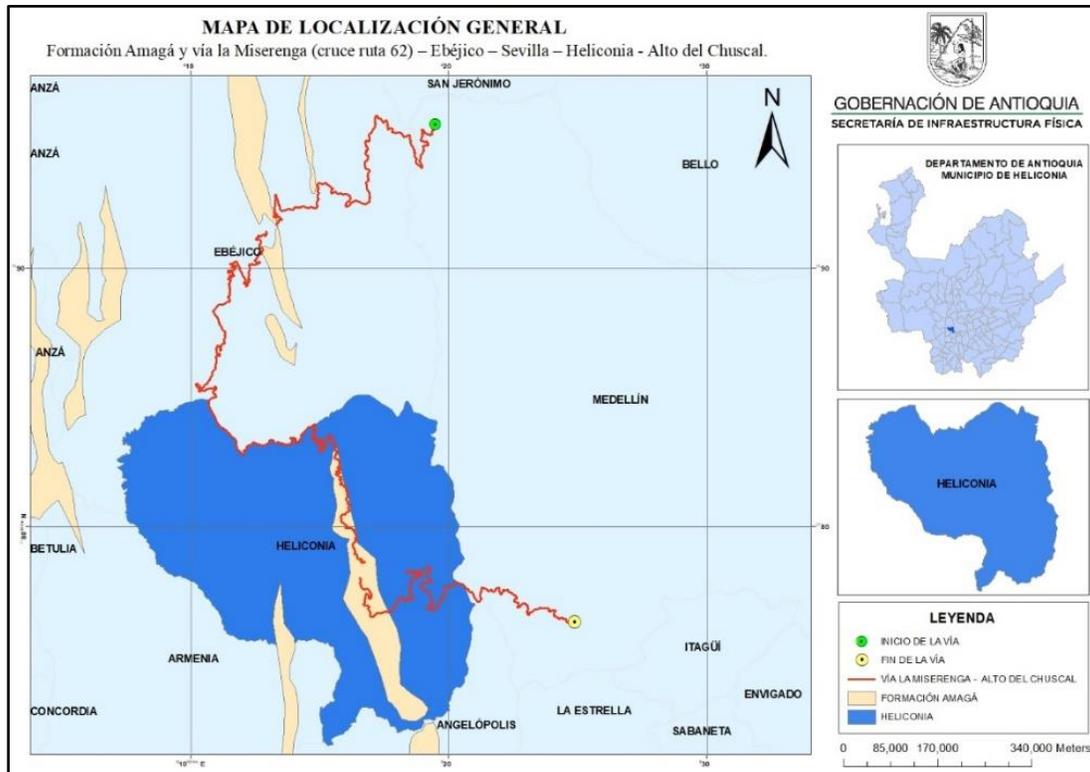
Nota: Adaptado de [Vía la Miserenga – Ebejico – Sevilla – Heliconia - Alto del Chuscal], de Google, s.f.,

https://earth.google.com/web/search/HELICONIA/@6.25677446,-75.65407499,2209.55477339a,79955.67773446d,30y,0h,0t,0r/data=CigiJgokCdWhjBolexIAefkiWH2SbRIAGax9zdIG7FLAiejbABb_7VLAOgMKATA.

Todos los derechos reservados 2022 por Google. Adaptado con permiso del autor

Figura 3

Mapa de localización General de la vía La Miserenga – Alto del Chuscal, municipio de Heliconia y la Formación Amagá.



Nota: Este mapa se creó utilizando el software ArcGIS® de Esri. ArcGIS® y ArcMap™ son propiedad intelectual de Esri y se utilizan aquí bajo licencia. Copyright © Esri. Reservados todos los derechos. Para obtener más información sobre el software Esri®, visite www.esri.com

5.2 Descripción general del Contrato

En las visitas realizadas a campo durante el periodo de prácticas se han evidenciado los avances en la ejecución del contrato, sin embargo, para conocer el estado inicial de la vía fue necesario leer los informes técnicos mensuales enviados por la interventoría, en estos se menciona que los tramos intervenidos se encontraban en afirmado en regular estado, no presentaban cunetas laterales para la conducción de aguas superficiales por lo que no había un buen drenaje, las alcantarillas existentes no eran suficientes y estaban deterioradas por falta de mantenimiento y de limpieza, por lo que la evacuación de las aguas no se daba de manera correcta. Además, en estos tramos de vía se reconocieron puntos críticos en los que se lograron identificar procesos de inestabilidad generados por la mala disposición de aguas lluvias al terreno natural y por las condiciones geológicas de la zona.

Según la Secretaria de infraestructura física de la Gobernación de Antioquia como se citó en Antioquia datos, para el año 2022 la subregión occidente del departamento tiene una longitud total de 580.5 km correspondientes a red vial secundaria, de los cuales 204.4 km están pavimentados y 376.10 km son longitud no pavimentada; para el tramo específico de La Miserenga (Cruce Ruta 62) - Ebéjico - Sevilla - Heliconia - Alto del Chuscal se tiene la información presentada en la tabla 2.

Tabla 2

Caracterización de la vía Miserenga (Cruce Ruta 62) - Ebéjico - Sevilla - Heliconia - Alto del Chuscal

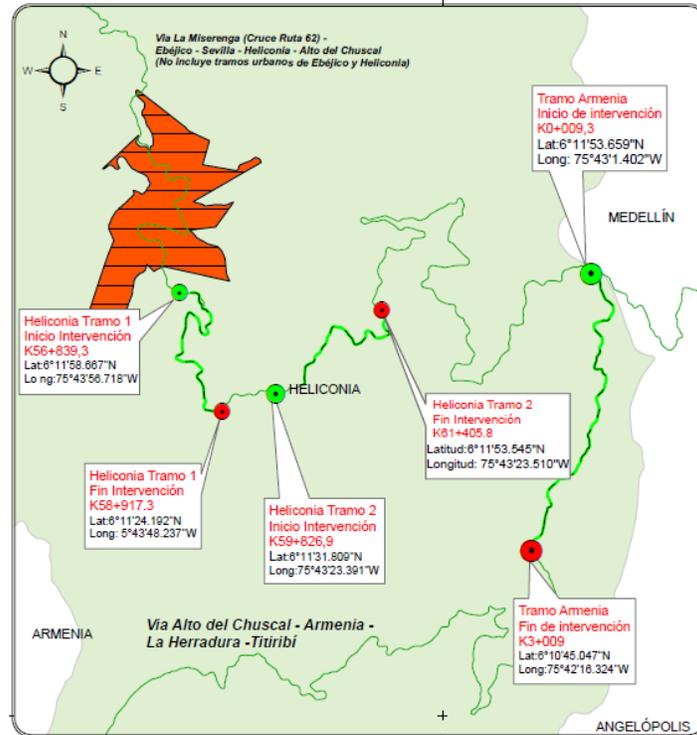
Código	Vía	Longitud total (km)	Longitud total pavimentada (km)	Longitud total no pavimentada (km)	Longitud intervenida por el presente contrato (km)
62AN17	Miserenga (Cruce Ruta 62) - Ebéjico - Sevilla - Heliconia - Alto del Chuscal	68.6	25.9	42.7	3.6569

Nota: Adaptado de Antioquia Datos (2022).

La longitud intervenida por el presente contrato en el sector Heliconia – Alto del Chuscal está dividida en 2 tramos como se muestra a continuación en la figura 4.

Figura 4

Ubicación de los tramos de vía intervenidos por el contrato 4600014783 de 2022 de la Gobernación de Antioquia.



Nota: Adaptado de Secretaria de Infraestructura Física, Gobernación de Antioquia (2022).

5.3 Identificación de puntos Críticos

La Secretaría de infraestructura física considera dos tramos críticos por movimiento en masa lento y reptación de vía, PR 55+000 y PR 56+600, con base a esto se seleccionaron los tramos de intervención presentados en la figura 4.

En las visitas a campo realizadas como practicante, se identificaron los puntos que requerían la ejecución de obras mayores como muros de contención, drenes horizontales o pavimentos con características particulares dadas las condiciones geológicas de la zona, en la figura 5 se muestran las abscisas de interés en los 2 tramos intervenidos para tener una mejor perspectiva de la ubicación de dichos puntos

Abscisa 57+520: En esta abscisa se identificó cedencia del terreno, esto causó que el tramo de vía entre el km 57+520 y el km 57+720 alcanzaran hasta un 16% de pendiente.

Abscisa 58+600: Punto conocido como Gallineras; esta es una de las zonas más inestables de los tramos intervenidos en el contrato, tiene un comportamiento similar al punto de los columpios presentando hundimientos y desplazamientos considerables, alcanzando hasta los 8 metros de desnivel, está ubicado en zona geológica inestable y, también, se presentaron problemas con el manejo del agua debido a que es un terreno bastante húmedo.

Abscisa 59+826: Se presentó pérdida de banca por erosión hidráulica, en este caso no se ha evidenciado inestabilidad del terreno, si bien en el punto existía una obra transversal, esta no contaba con dissipador para el agua de escorrentía que llegaba a la obra por lo que finalmente se da la pérdida de banca.

5.4 Revisión de referencias bibliográficas

En la revisión bibliográfica de obras de mitigación usadas en otros tramos de vía con condiciones similares a las estudiadas, se encontraron diferentes opciones que pueden funcionar como medidas alternas en contratos que se vayan a ejecutar por parte de la Gobernación de Antioquia y que estén localizados en zonas geológicamente inestables, o zonas influenciados por la presencia de fallas o de formaciones con estratigrafías o comportamientos similares a los de la Formación Amagá.

A continuación, se presentan de manera breve las referencias encontradas y usadas como fundamento para la apropiación y recomendación de obras de mitigación alternas.

- En el Departamento de Caldas, la Corporación Autónoma de Caldas (CORPOCALDAS s.f.) presentó un informe sobre las obras de reducción y mitigación de riesgos, donde se centran especialmente en la estabilización de taludes y el manejo de aguas. CORPOCALDAS menciona que existe una frecuente ocurrencia de procesos de inestabilidad en Caldas y que es necesario conservar listas actualizadas de puntos críticos afectados por eventos naturales activos.
- Por otro lado, Escobar, C. y Escobar, G. (2017), basados en el comportamiento geotécnico del trópico andino colombiano, mencionan algunos de los métodos más comunes utilizados en la estabilización de taludes, tienen en cuenta la construcción de obras hidráulicas y las limitaciones que cada actividad pueda presentar.

-
- Pensando no solo en la estabilización de taludes, sino también en la disminución de costos de mantenimiento, Hurtado, M. (2009) menciona métodos para disminuir o eliminar el riesgo de deslizamientos y para el control de aguas superficiales y subterráneas en una carretera de Ecuador que se ha visto afectada por los procesos geológicos, climáticos y geomorfológicos de la zona.
 - Zapata, J., Arias, F. y Campos, M. (2021), realizaron un estudio geotécnico para un tramo de 100 m de vía en el Municipio de Abriaquí, el cual está directamente influenciado por la falla Abriaquí. Los autores proponen diferentes obras de contención, de estabilidad y de drenaje, además de algunas recomendaciones geotécnicas generales.
 - En Bolivia, Trujillo, C. (2021) identificó un área de alto riesgo geológico, donde se presentaban deslizamientos y hundimientos que provocaban los cierres viales, desniveles en la plataforma vial y deterioro general, por lo que propone el pavimento articulado como opción funcional para la reparación y reconstrucción rápida de la infraestructura vial.
 - Orosco, J. (2023) realizó una investigación para evaluar los sistemas de estabilización de taludes en zonas de falla geológica en una carretera departamental de Junín, Perú. Menciona que las principales causas de inestabilidad son los factores hidrológicos, geotécnicos y topográficos. Orosco se basó en las inspecciones de campo y el cálculo de factores de seguridad para encontrar los mejores métodos de estabilización según las necesidades del terreno.

6 Resultados

6.1 Obras de mitigación propuestas y ejecutadas por la Gobernación de Antioquia.

Para este caso, los estudios y diseños necesarios la entidad los contrató con el Consultor Consorcio TAYFER SAS y con base en los resultados se propuso la sección típica planteada para el mejoramiento de la vía que tiene en promedio 5 metros de calzada más cunetas de 0.60 metros de ancho; como se mencionó anteriormente, uno de los factores ajenos a las condiciones geológicas que más han afectado la estabilidad de la infraestructura vial ha sido el mal manejo del agua, debido a que no existían obras transversales suficientes y las que había no tenían un buen mantenimiento, además, obras inconclusas por falta de disipadores y cunetas en mal estado. Es por esto que para la intervención de los tramos se contemplaron diferentes construcciones de obras hidráulicas.

Para los puntos críticos identificados, se realizaron dos tipos de intervenciones: definitivas y mitigatorias; las obras definitivas son aquellas que se realizan con el fin de cumplir un propósito específico, estas obras tienen diseños y métodos constructivos detallados y se espera que cumplan con su función a largo plazo. Por otro lado, las obras de mitigación son aquellas estructuras provisionales que buscan minimizar o reducir los riesgos o los impactos causados por las condiciones de inestabilidad permanente del terreno.

Abscisa 56+850, sector Columpios: En los diseños iniciales se tenía prevista la intervención con pavimento flexible; sin embargo, al ver las condiciones de la zona, se decide intervenir con pavimento articulado como medida provisional y mitigatoria. Las condiciones naturales del terreno indican que los movimientos en masa lentos se van a seguir presentando y el pavimento articulado, al poder repararse con mayor facilidad, y siendo su mantenimiento más cómodo y económico, es más viable que intervenir con pavimento flexible. Teniendo en cuenta que los desplazamientos del terreno también afectan la durabilidad de las cunetas, en este sector se construyeron cunetas de geo membrana y costales de suelo cemento, con esto se busca que la cuneta pueda adaptarse con mayor facilidad a los movimientos que el suelo pueda presentar y garantizar una buena conducción de las aguas de escorrentía; en las figuras 6 se presentan las fotografías de la intervención en este sector.

Figura 6

Obras de mitigación ejecutadas por la Gobernación de Antioquia en el sector Los Columpios km56+850 de la vía la Miserenga - Alto del Chuscal, en la subregión occidente del Departamento de Antioquia.



Abscisa 57+520, sector de alta pendiente: En este tramo de vía fue necesaria la construcción de pavimento rígido, por sus características tiene mayor durabilidad y resistencia a la deformación, también, evita el desplazamiento de la carpeta asfáltica y permite una mejor corrección de la pendiente, además, permite mayor adherencia de los vehículos; en la figura 7 se presenta la fotografía de la intervención.

Figura 7

Obras definitivas ejecutadas por la Gobernación de Antioquia entre el km57+520 y el km57+720 de la vía la Miserenga - Alto del Chuscal, en la subregión occidente del Departamento de Antioquia.



Abscisa 58+600, sector Gallineras: Como las condiciones geológicas de esta zona son similares a las del tramo de los columpios, la intervención fue la misma, con pavimento articulado y cunetas de geo membrana y costales de suelo cemento.

En este punto, también, fue necesaria la construcción de drenes horizontales para controlar la humedad del terreno y evitar aumento de inestabilidad en los taludes que llegaban a la carretera. En total se construyeron, aproximadamente, 5400 ml de drenes.

Por otra parte, existe un tramo de aproximadamente 70 m dónde no se intervino con ningún tipo de pavimento y se decidió dejarlo a nivel de la base, esto se debe a que se han presentado asentamientos considerables en poco tiempo, por lo que es más viable el mantenimiento de la base en esta longitud; en busca de estabilizar los taludes que salen de la vía, se construyeron trinchos que son estructuras construidas escalonadamente de arriba hacia abajo en sentido de la pendiente para disipar la energía cinética del agua, reconfigurar laderas (perfil más suave), controlar el arrastre de materiales y dar soporte a los filtros (INVIAS, 2021). En este punto todas las obras son medidas provisionales y mitigatorias; en la figura 8 se presentan las fotografías de la intervención.

Figura 8

Obras de mitigación ejecutadas por la Gobernación de Antioquia en el sector La Gallinera km58+600 de la vía la Miserenga - Alto del Chuscal, en la subregión occidente del Departamento de Antioquia.



Abscisa 59+826, sector pérdida de banca: Para solucionar la pérdida de banca presentada y garantizar la estabilidad de la vía fue necesaria la construcción de un muro de contención sobre pilas. El muro tiene una longitud de 26 m comprendida entre el km 59+800 y el km 59+826. En total se excavaron 10 pilas, 5 de 8 m y las demás de 14 m de profundidad. En la figura 9 se presentan las fotografías de la intervención.

Figura 9

Obras definitivas ejecutadas por la Gobernación de en el km 59+826 de la vía la Miserenga - Alto del Chuscal, en la subregión occidente del Departamento de Antioquia.



En todos los puntos críticos se construyeron obras transversales con sus disipadores y cunetas para el buen manejo de las aguas de escorrentía; es importante tener en cuenta que todas las obras mitigatorias requieren de un mantenimiento permanente para el correcto funcionamiento de la vía.

Los demás puntos de los 2 tramos del contrato de la Gobernación de Antioquia fueron intervenidos en general con pavimento flexible, cunetas, obras transversales, bordillos, etc. En la tabla 3 se presenta un listado a manera de resumen de las obras ejecutadas por la Gobernación de Antioquia.

Tabla 3

Resumen de las obras ejecutadas por la Gobernación de Antioquia en el mejoramiento del corredor y atención de sitios críticos de la vía de segundo orden la Miserenga (cruce ruta 62) – Ebéjico – Sevilla – Heliconia - Alto del Chuscal (62an17).

Actividad	Unidad	Cantidad ejecutada
Alcantarillas	un	28
Cabezotes	un	26
Pocetas	un	26
Filtros	ml	3407
Conformación de la vía	ml	3660
Sub-base granular	ml	1921
Base granular	ml	3040
Pavimento flexible primera capa	ml	3100
Pavimento flexible segunda capa	ml	2950
Pavimento rígido	ml	200
Pavimento articulado	ml	444
Cunetas	ml	3447
Disipadores	ml	165.61
Muros *	un	21
Muro de contención	un	1
Canales	un	2
Drenes	ml	5345
Cunetas en Geo membrana	ml	897
Señalización	ml	3351

Nota: Esta tabla reúne las actividades generales totales realizadas en los 2 tramos de intervención.

**La actividad de muros incluye los bordillos con micro pilotes, el concreto y los realces de muros de contención realizados.*

6.2 Obras de mitigación propuestas como alternativa.

Después de la revisión bibliográfica, se seleccionaron algunas obras que pueden funcionar como alternativas para ejecutar por la Gobernación de Antioquia en próximos contratos ubicados en zonas con las mismas características geológicas o con problemas de inestabilidad y manejo de aguas subterráneas y de escorrentía. Las obras propuestas son las siguientes:

Barreras vivas: Son hileras de plantas perennes y de crecimiento denso, sembradas a través de la pendiente. Su objetivo principal es reducir la velocidad de las aguas superficiales y retener las partículas de suelo. (CORPOCALDAS s.f.)

Perfilado de taludes: Tiene como finalidad lograr continuidad en la superficie, con esto se busca disminuir el grado de la pendiente y controlar la velocidad de las aguas de escorrentía, también, se favorece el establecimiento de vegetación (Escobar, C. y Escobar, G. 2017).

Vegetalización: Los pastos permiten el aislamiento del suelo de las fuerzas de tracción que genera el flujo de agua de escorrentía, adicionalmente, las raíces conforman una red densa que refuerza el suelo superficial, aumentando su resistencia al corte y a la erosión (Zapata, J., Arias, F. y Campos, M. 2021).

Bermas: Es una sección geométrica que resulta de la construcción a intervalos de terrazas en el talud que permiten reducir el ángulo efectivo del talud protegiéndolo contra la infiltración y la erosión (Orosco, J. 2023).

Trincheras filtrantes: son estructuras utilizadas para establecer un camino preferencial al agua en zonas de bajo nivel freático, Las trincheras filtrantes practicadas en zonas de movimientos lentos controlados por capas impermeables, sirven de apoyo a drenes sub horizontales para abatir niveles freáticos de zonas con dificultades de drenaje (Escobar, C. y Escobar, G. 2017).

Zanjas colectoras: Se construyen a media ladera con el objeto de coleccionar los caudales de aguas lluvias y de escorrentía a lo largo de un talud y/o una terraza, previniendo la formación de corrientes de agua. Generalmente, se construyen en concreto simple. (CORPOCALDAS s.f.).

Además de tener en cuenta las características geológicas de inestabilidad, estas obras de mitigación se proponen pensando en los costos y en la viabilidad de su implementación, si bien existen otras obras que pueden funcionar, es importante tener en cuenta los costos de mantenimiento y el presupuesto que la Gobernación de Antioquia dispone para este tipo de contratos.

7 Discusión

Los resultados obtenidos después de identificar los puntos críticos en la zona de estudio muestran que la formación Amagá tiene influencia directa en el comportamiento geotécnico y estructural de la carretera Heliconia – Alto del Chuscal; las características climáticas, geológicas y geomorfológicas asociadas a dicha formación son las causantes de los movimientos en masa lentos y sumado a esto, las obras deficientes para el manejo de aguas inducen las deformaciones y problemas en general presentados en la zona. Las obras propuestas y ejecutadas por la Gobernación de Antioquia son de gran ayuda para mitigar los impactos provocados por la problemática. Teniendo en cuenta las condiciones de inestabilidad, sin duda alguna, la mejor opción es usar obras mitigatorias para darles un adecuado mantenimiento.

Después de las inspecciones realizadas en campo y del seguimiento que se le hizo a la ejecución del contrato, fue notoria la mejoría de la vía que comunica al municipio de Heliconia con el Alto del Chuscal y a su vez con la ciudad de Medellín, con esto se garantiza que los tiempos de viaje sean menores y que el tránsito sea mucho más seguro para los usuarios, además, favorece las dinámicas económicas del municipio y atiende a las necesidades de las comunidades cercanas.

Las alternativas propuestas se presentaron teniendo en cuenta que difícilmente se puede dar una solución definitiva a los problemas de inestabilidad de esta zona o de otras zonas con características geológicas similares, además, pensando en la viabilidad de la ejecución de dichas obras, también se tuvieron en cuenta los posibles costos de cada una, entonces, al proponer obras definitivas es menos probable que se tengan en cuenta en los futuros contratos de la entidad debido a su alto costo de ejecución, mantenimiento y reparación y la poca garantía de durabilidad de las estructuras o demás obras que se hagan.

8 Conclusiones

En la formación Amagá predominan los materiales arcillosos capaces de experimentar cambios volumétricos que generan agrietamientos y fracturas, facilitando el desplazamiento lento de masas de tierra. Basados en la figura 3, la carretera que comunica el municipio de Heliconia con el Alto del Chuscal está directamente influenciada por los comportamientos de la formación Amagá, lo que ha causado problemas con la estabilidad del terreno y de las estructuras.

El manejo inadecuado del agua superficial y subterránea de la zona aumentó los casos de inestabilidad y dio pie para que se presentaran las pérdidas de banca y algunos hundimientos y cedencias del terreno.

Las intervenciones ejecutadas por la Gobernación de Antioquia buscando el mantenimiento de las vías secundarias del departamento son de vital importancia para suplir las necesidades de las comunidades, mantener las carreteras en buen estado mejora la calidad de vida de los usuarios y favorece significativamente las dinámicas económicas, sociales y culturales de los municipios cercanos, en este caso principalmente al municipio de Heliconia.

La solución definitiva a los problemas de inestabilidad difícilmente se puede lograr debido a las características mecánicas y composicionales propias del terreno; sin embargo, las obras mitigatorias funcionan bien para mantener las vías en buen estado y garantizar una movilidad segura y continua.

El mantenimiento de las obras de mitigación es imprescindible para su correcto funcionamiento y para su estabilidad durante el tiempo.

Los costos de la ejecución de las obras son un punto importante que la Gobernación de Antioquia tiene en cuenta a la hora de firmar los contratos de mejoramiento. Basados en esto y en las condiciones propias del terreno, se proponen las obras de mitigación alternas.

Referencias

- Álvarez, Y., Montoya, S. M., Rendón, D. A., y Caballero, J. H. (2015). Análisis y diagnóstico de los fenómenos de inestabilidad que afectan el sector "La Bonita", Amagá, Antioquia, Colombia. *Boletín de Ciencias de la Tierra*, (37), 35-44. <https://doi.org/10.15446/rbct.n37.43757>
- Antioquia Datos (2022). *Vías secundarias del Departamento de Antioquia*. Recuperado de la base de datos de Antioquia Datos.
- Arone, R. (2017). *Análisis de estabilidad de los deslizamientos de tierras con substratos pizarrosos” Caso localidad de Kelcaybamba-Ocobamba, provincia de La Convención, región Cusco* [Tesis para optar por el título de ingeniero geólogo, Universidad Nacional Mayor de San Marcos]. CYBERTESIS, Repositorio de Tesis Digitales de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos. <https://cybertesis.unmsm.edu.pe/handle/20.500.12672/6404>
- Castrillón, E. (1996). *Geología del sector La Estación – La Corona municipios de Angelópolis y Amagá*. Ecocarbón LTDA. <https://recordcenter.sgc.gov.co/B2/12005000511581/documento/pdf/0101115811102000.pdf>
- Copons, R. y Tallada, A. (2009). Movimientos de ladera en *Enseñanzas de las Ciencias de la Tierra*. <https://www.raco.cat/index.php/ECT/article/download/199931/267374>
- Corporación Autónoma Regional de Caldas [CORPOCALDAS] (s.f.). *Obras de reducción y mitigación de riesgos en el Departamento de Caldas*. <https://core.ac.uk/download/pdf/48024716.pdf>
- Durán, H. (2018). *Zonificación de susceptibilidad por movimientos en masa a escala 1:25000, mediante métodos estadísticos bivariado y multivariado para el municipio de Heliconia, Departamento de Antioquia* [Proyecto de grado, Universidad EAFIT]. Repositorio institucional de la Universidad EAFIT <https://repository.eafit.edu.co/server/api/core/bitstreams/ef41699a-dd55-4199-bb02-191d463069bb/content>
- Escobar, C. y Escobar, G. (2017). Obras de estabilización de taludes. En *Geotecnia para el trópico Andino*.

<https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/57334/obrasdeestabilizaciondetaludes.pdf>

Gobernación de Antioquia (2022, 27 de diciembre). Expediente del contrato de obra No. 4600014783 que tiene por objeto *el MEJORAMIENTO DE LOS CORREDORES Y ATENCIÓN DE SITIOS CRÍTICOS DE LAS VÍAS DE SEGUNDO ORDEN ALTO DEL CHUSCAL – ARMENIA – LA HERRADURA - TITIRIBÍ (60AN08-1), Y LA MISERENGA (CRUCE RUTA 62) – EBÉJICO – SEVILLA – HELICONIA - ALTO DEL CHUSCAL (62AN17), EN LA SUBREGIÓN OCCIDENTE DEL DEPARTAMENTO ANTIOQUIA.*

Tomado de SECOP II:
<https://community.secop.gov.co/Public/Tendering/OpportunityDetail/Index?noticeUID=C01.NTC.3281520&isFromPublicArea=True&isModal=False>

Gobernación de Antioquia. (s.f.). *Heliconia*. <https://corregimientos.antioquia.gov.co/heliconia/>

Google. (s.f.), [Vía la Misereng – Ebéjico – Sevilla – Heliconia - Alto del Chuscal]. Recuperado el 24 de abril de 2024 de https://earth.google.com/web/search/HELICONIA/@6.25677446,-75.65407499,2209.55477339a,79955.67773446d,30y,0h,0t,0r/data=CigiJgokCdWhjBolexIAEfkiWH2SbRlAGax9zdlG7FLAiejbABb_7VLAOgMKATA.

Grosse, E. (1926). *El terciario carbonífero de Antioquia*. <https://www.accefyn.com/cientificos/pdf/emilGrosse/EmilGrosse.pdf>

Hurtado, M. (2009). *Modelo para estabilización de taludes en la carretera Selva Alegre – Saguangal que permita disminuir costos de mantenimiento* [Tesis para optar por el título de Máster en vías terrestres, Universidad Técnica de Ambato]. Repositorio Universidad Técnica de Ambato. <https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/2193>

Instituto De Investigación e Información Geocientífica, Minero - Ambiental y Nuclear [INGEOMINAS]. (2001). *Mapa Geológico del Departamento de Antioquia*. <https://recordcenter.sgc.gov.co/B4/13010040024267/documento/pdf/0101242671101000.pdf>

Instituto De Investigación e Información Geocientífica, Minero - Ambiental y Nuclear [INGEOMINAS]. (2006). *Cartografía geológica de 135 km² entre los municipios de Angelópolis y Heliconia, (Departamento de Antioquia, Colombia)*. <https://recordcenter.sgc.gov.co/B12/23008002524003/documento/PDF/2105240031101000.pdf>

- Instituto Geológico y Minero de España [IGME] y Organismo Autónomo Parques Nacionales [OAPN]. (2022). *Parque Nacional de Monfragüe guía geológica*. https://www.igme.es/librose/guiasgeo/monfrague_sp/
- Instituto Nacional de Vías (2013). *Glosario*. <https://www.invias.gov.co/index.php/informacion-institucional/42-servicios-de-informacion-al-ciudadano/glosario>
- Instituto Nacional de Vías (2016). *Clasificación de las carreteras*. <https://www.invias.gov.co/index.php/informacion-institucional/2-uncategorised/2706-clasificacion-de-las-carreteras#:~:text=Son%20aquellas%20v%C3%ADas%20de%20acceso,estipuladas%20para%20las%20v%C3%ADas%20Secundarias.>
- Instituto Nacional de Vías (2021). *Especificaciones generales de construcción de carreteras 2021*. <https://www.invias.gov.co/index.php/normativa/politicas-y-lineamientos/proyectos-de-norma/12724-borrador-articulo-840-obras-de-ingenieria-verde/file#:~:text=Los%20trinchos%20vivos%20son%20estructuras,vertedero%20de%20un%20cauce%20o>
- López, E. Trejos, H. y Virgen. G. (2019). *Caracterización de puntos geotécnicos críticos en el corredor vial, Pital de Combia-vereda La Convención-Crucero de Combia municipio de Pereira, Risaralda* [Trabajo de investigación, Universidad Libre]. Repositorio institucional de la Universidad Libre. <https://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/20122/CARACTERIZACION%20DE%20PUNTOS%20GEOTECNICOS%20CRITICOS.pdf?sequence>
- Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres (2009). *Integrando la Reducción del Riesgo de Desastres en la CCA y el MANUD*. https://www.unisdr.org/files/10760_undgdrguidancenotespanish28lowreso.pdf
- Orosco, J. (2023). *Sistemas de estabilización de taludes en zonas de falla geológica, en la carretera departamental ju-103, tramo distrito de Tapo, Provincia de Tarma, Región Junín, 2022*. [Tesis para optar por el título de Ingeniero Civil, Universidad Nacional del Centro del Perú]. Repositorio institucional, Universidad Nacional del Centro del Perú. <https://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/10370>

-
- Ospina, G. (2016). *El papel de las vías secundarias y los caminos vecinales en el desarrollo de Colombia*. Universidad de los Andes. Revista de Ingeniería (44). <https://doi.org/10.16924/revinge.44.3>
- Red Sismológica Nacional [RSN]. (s.f.) *Glosario de Geología*. https://rsn.ucr.ac.cr/images/Noticias/2016_07/GlosarioRSN.pdf
- Tayupanta, J. (1993). *La erosión hídrica: proceso, factores y formas*. <https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=a7EzAQAAMAAJ&oi=fnd&pg=PA12&dq=%E2%80%9Cerosion+h%C3%ADdrica+del+suelo&ots=2xUYGw-pkO&sig=9bqMZedy8R6AfdTJ40qzQo1ZxCk#v=onepage&q=erosion%20h%C3%ADdrica%20del%20suelo&f=false>
- Trujillo, C. (2021). *Pavimento articulado una alternativa de solución ante fallas geológicas en la construcción de infraestructura vial*. [Tesis para optar por el Grado de Licenciatura, Universidad Mayor de San Andrés]. Repositorio institucional Universidad Mayor de San Andrés. <https://repositorio.umsa.bo/handle/123456789/30649>
- Zapata, J., Arias, F. y Campos, M. (2021). *Estudio geotécnico y diseño de estructura de pavimento para un tramo de 100 metros de vía en el municipio de Abriaquí, Departamento de Antioquia* [Tesis para optar por el título de ingenieros civiles, Universidad Cooperativa de Colombia]. Repositorio institucional de la Universidad Cooperativa de Colombia. <https://repository.ucc.edu.co/entities/publication/f86e3bca-1353-48ce-b7f0-4e50c468d297>