



**MEJORAMIENTO DE LA VÍA DABEIBA - CAMPARRUSIA
EN LA SUBREGIÓN OCCIDENTE DEL DEPARTAMENTO
DE ANTIOQUIA
km 2+950 – km 11+090**

**VOLUMEN III.
GEOLOGÍA PARA INGENIERÍA**

INFORME TÉCNICO

DOCUMENTO

GICA-630-DAB.-CAMP.-VOL III-INF-001-Rev0



Medellín, 5 de noviembre de 2021

LISTA DE DISTRIBUCIÓN


Copias de este documento han sido entregadas a dependencias de ARGOS Y BANCOLOMBIA según se indica a continuación. Las observaciones que resulten de su revisión y aplicación deben ser informadas a esta oficina para proceder a realizar sus modificaciones:

DEPENDENCIA	Nº de Copias
ARGOS	1
BANCOLOMBIA	1
GICA S.A.S.	1

ARGOS Y BANCOLOMBIA son responsables de administrar las copias correspondientes a este documento dentro de sus grupos de trabajo.



Calle 42 A No. 63C-38 Conquistadores
Teléfono y FAX (574) 2351092
E-mail: proyectosgica@gicasas.com.co
MEDELLÍN, COLOMBIA – SUDAMÉRICA

	VOLUMEN III. GEOLOGIA PARA INGENIERIA	
	INFORME	
	Documento: GICA-630-DAB.-CAMP.-VOL III-INF -001-Rev0	
	Medellín, Antioquia, 5 de noviembre de 2021	Página i

ÍNDICE DE MODIFICACIONES

REVISIÓN	CAPÍTULO MODIFICADO	FECHA DE MODIFICACIÓN	OBSERVACIONES
0		5/11/2021	Versión Original

ESTADO DE REVISIÓN Y APROBACIÓN

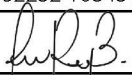
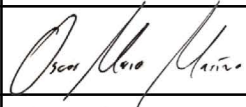
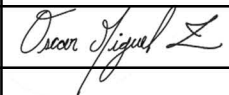
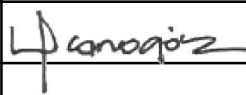
TIPO DE DOCUMENTO		INFORME			
NOMBRE DEL DOCUMENTO		MEJORAMIENTO DE LA VÍA DABEIBA - CAMPARRUSIA EN LA SUBREGIÓN OCCIDENTE DEL DEPARTAMENTO DE ANTIOQUIA - km 2+950 – km 11+090 VOLUMEN III. GEOLOGÍA PARA INGENIERÍA.			
CÓDIGO DEL DOCUMENTO		GICA-630-DAB.-CAMP.-VOL III-INF-001-Rev0			
REVISIÓN No.		PROFESIONAL	0	1	2
ELABORÓ	Nombre	Jonathan Rengifo Bueno	X		
	Cédula de ciudadanía	77.095.192			
	Matrícula Profesional	052232-16343 ANT			
	Firma				
	Fecha	05/11/2021			
	Nombre	Oscar Mario Mariño Arias			
	Cédula de ciudadanía	1.017.219.800			
	Matrícula Profesional	M.P.4528			
	Firma				
	Fecha	05/11/2021			
REVISÓ	Nombre	Oscar Miguel Zapata Rendón	X		
	Cédula de ciudadanía	1.128.397.023			
	Matrícula Profesional	05202-250349 ANT			
	Firma				
	Fecha	05/11/2021			
	Nombre				
	Cédula de ciudadanía				
	Matrícula Profesional				
	Firma				
	Fecha				
APROBÓ Y PRESENTÓ GICA	Nombre	Luis Fernando Cano Gómez	X		
	Cédula de ciudadanía	7.525.194			
	Matrícula Profesional	1920201726 CAU			
	Firma				
	Fecha	08/11/2021			
APROBÓ CLIENTE	Nombre				
	Cédula de ciudadanía				
	Matrícula Profesional				
	Firma				
	Fecha				

TABLA DE CONTENIDO

1	INTRODUCCIÓN	1
2	LOCALIZACIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO.....	1
3	GEOLOGÍA.....	2
3.1	GEOLOGÍA REGIONAL	2
3.1.1	COMPLEJO CAÑASGORDAS	3
3.2	GEOMORFOLOGÍA	6
3.3	GEOLOGÍA ESTRUCTURAL	6
3.3.1	MARCO ESTRUCTURAL REGIONAL.....	7
3.3.2	FALLAS.....	7
3.4	GEOLOGÍA LOCAL	9
3.4.1	FORMACIÓN PENDERISCO - MIEMBRO NUTIBARA	10
3.5	GEOMORFOLOGÍA LOCAL	14
3.5.1	AMBIENTE DENUDACIONAL	14
3.5.2	AMBIENTE FLUVIAL	15
3.5.3	Ambiente estructural	16
3.6	PROCESOS MORFODINÁMICOS.....	16
3.7	AMENAZA GEOLÓGICA.....	18
3.7.1	AMENAZA POR INUNDACIÓN	18
3.7.2	AMENAZA POR AVENIDAS TORRENCIALES	18
3.7.3	AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA.....	19
3.8	FUENTES DE MATERIALES.....	21
4	CONCLUSIONES	24
5	ANEXOS.....	25
6	REFERENCIAS	25

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Tramos e intervenciones a realizar entre el km 2+950 – km 11+090.....	2
Tabla 2. Calificación de la variable geología	20
Tabla 3. Calificación de la variable pendiente	20
Tabla 4. Calificación de la variable procesos morfodinámicos.....	20
Tabla 5. Rangos de susceptibilidad	21

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localización de los tramos a intervenir entre el km 2+950 a km 11+090	2
Figura 2. Bloques tectónicos de diabasas correlacionables con la Formación Barroso	4
Figura 3. Bloques tectónicos de chert y calizas correlacionables con el miembro Nutibara	5
Figura 4. Bloques tectónicos de litoarenitas, lodolitas y limolitas correlacionables con el miembro Urrao	6
Figura 5. Modelo de sombras con las geoformas de la zona de estudio	7
Figura 6. Sistema de fallas de la zona de estudio	9
Figura 7. Mapa de geología local de la zona de estudio	15
Figura 8. Mapa de susceptibilidad a amenaza por movimientos para el tramo 1 (km 2+950 a km 7+000)	22
Figura 9. Mapa de susceptibilidad a amenaza por movimientos en masa para el tramo 2 (km 7+000 a km 11+090) ..	22
Figura 10. Localización de concesión minera localizada en el municipio de Chigorodó, Antioquia	23
Figura 11. Localización de título minero en el municipio de Santa Fe de Antioquia, Antioquia	24

LISTA DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1. Estratificación definida por calizas y lodolitas	10
Fotografía 2. Calizas aflorando en la quebrada Caliche	10
Fotografía 3. Composición de calizas (Izq.). Paredes en la vía de calizas (Der.)	11
Fotografía 4. Estratificación en Calizas	11
Fotografía 5. Chert aflorando en el km 6+300	11
Fotografía 6. Chert aflorando en la vía en km 9+500.....	12
Fotografía 7. Basaltos a diabasas km 1+800	12
Fotografía 8. Basaltos al borde del río Urama	13
Fotografía 9. Basaltos con oxidación – Km 9+050.....	13
Fotografía 10. Depósitos de vertiente	14
Fotografía 11. Depósitos aluviales de la zona	14
Fotografía 12. Taludes erosivos y caída de bloques km 4+500	17
Fotografía 13. Alta sedimentación en km 6+800, quebrada Caliche.....	17
Fotografía 14. Bloques con posible caída a la vía	17
Fotografía 15. Deslizamiento en depósitos de vertiente.....	18
Fotografía 16. Encañonamiento del río Urama	18
Fotografía 17. Sedimentos por avenidas torrenciales, quebrada Caliche.....	19
Fotografía 18. Cañón del río Urama	19

“MEJORAMIENTO DE LA VÍA DABEIBA - CAMPARRUSIA EN LA SUBREGIÓN OCCIDENTE DEL DEPARTAMENTO DE ANTIOQUIA”

ABSCISADO km 2+950 – km 11+090

VOLUMEN III: GEOLOGÍA PARA INGENIERÍA

INFORME TÉCNICO

GICA-630-DAB.-CAMP.-VOL III-INF-001-Rev0

1 INTRODUCCIÓN

GICA SAS está desarrollando para ARGOS SA y BANCOLOMBIA actividades como asesor técnico en los estudios y diseños para el mejoramiento de la vía Dabeiba – Camparrusia, en el departamento de Antioquia, la cual tiene una longitud total de 44.40 km aproximadamente. Se realizará el estudio en detalle por parte de esta consultoría, del tramo de la vía comprendido entre el km 2+950 y el km 11+090, abarcando 8.14 kilómetros del proyecto.

Sin embargo, del km 5+900 al km 6+000 se considera un sector especial, en donde la problemática de la vía está asociada a la socavación lateral del río, el estudio relacionado con el análisis de éste y el planteamiento de la solución no están incluidos en el alcance de este estudio, y deberá estar sujeto a evaluaciones y análisis futuros. Por lo anterior, este tramo no fue objeto de estudios geotécnicos, estudios de pavimentación y solo se contempló el diseño de obras hidráulicas.

El proyecto tiene como objetivo fundamental mejorar la infraestructura vial para incrementar la competitividad, promover el crecimiento económico, disminuir significativamente los costos de operación vehicular, con el consecuente mejoramiento de la calidad de vida de los habitantes y de los usuarios de la vía objeto de revisión, aprovechando la sección transversal disponible. Puesto que el alcance principal de este proyecto es en esencia la pavimentación, no se contemplan ampliaciones, ni recuperaciones de banca, y tampoco intervenciones para la estabilización de taludes. Partiendo de estas consideraciones mencionadas, fueron desarrollados todos los estudios y diseños por parte de GICA SAS.


Desde la disciplina de geología, se realiza una evaluación del corredor vial con el objetivo de verificar las condiciones geológicas de la vía, teniendo en cuenta la composición, características físicas y mecánicas de las rocas de la región, lo cual incluye los tipos de suelos que se desarrollan en la zona estudiada.

2 LOCALIZACIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

El municipio de Dabeiba está localizado en la subregión occidente del departamento de Antioquia, limita por el Norte con los municipios de Mutatá e Ituango, por el Este con los municipios de Ituango, Peque y Uramita, por el Sur con los municipios de Uramita y Frontino y por el Oeste con los municipios de Murindó y Mutatá. Su cabecera dista 183.00 km de la ciudad de Medellín, capital del departamento de Antioquia.

El proyecto se ubica en el municipio de Dabeiba y comprende la vía que va desde el casco urbano al corregimiento de Camparrusia, en cuyo recorrido la vía pasa por el corregimiento de Cruces, San José de Urama y se tiene la desviación al corregimiento de la Balsita, localidades que se encuentran localizados en la subregión de nororiental del municipio.

Los estudios y diseños para construcción se desarrollan con el objetivo de lograr la aprobación por parte de la Agencia para la Renovación del Territorio ART, previo visto bueno del Departamento Nacional de Planeación (DNP), para la inclusión en el banco de proyectos, del mejoramiento de la vía que comunica el corregimiento de Camparrusia con la cabecera de Dabeiba (Antioquia), municipio ubicado en una de las zonas más afectadas por el conflicto armado – ZOMAC.

	VOLUMEN III. GEOLOGIA PARA INGENIERIA	
	INFORME	
	Documento: GICA-630-DAB.-CAMP.-VOL III-INF -001-Rev0	
	Medellín, Antioquia, 5 de noviembre de 2021	Página 1

El proyecto consta en la intervención de aproximadamente 8.14 kilómetros de vía, sin incluir los puentes, ampliaciones, recuperaciones de banca ni intervenciones para la estabilización de taludes.

En la Tabla 1 se presentan los tramos y las intervenciones asociadas a cada uno teniendo en cuenta el alcance del proyecto.

Tabla 1. Tramos e intervenciones a realizar entre el km 2+950 – km 11+090

TRAMO	SUBTRAMO	ABSCISADO	LONGITUD (m)	INTERVENCIÓN
1	1.1	Km 2+950 – km 5+900	2950	Rehabilitación y mantenimiento: Obras hidráulicas, pavimentación
	-	Km 5+900 – km 6+000	100	Solo obras hidráulicas
	1.2	Km 6+000- km 7+000	1000	Rehabilitación y mantenimiento: Obras hidráulicas, pavimentación
2	-	Km 7+000 – km 11+090	4090	Rehabilitación y mantenimiento: Obras hidráulicas, pavimentación

(Elaborado por GICA SAS)

En la Figura 1 se presenta la localización general del proyecto y el tramo en estudio entre el km 2+950 al km 11+090.

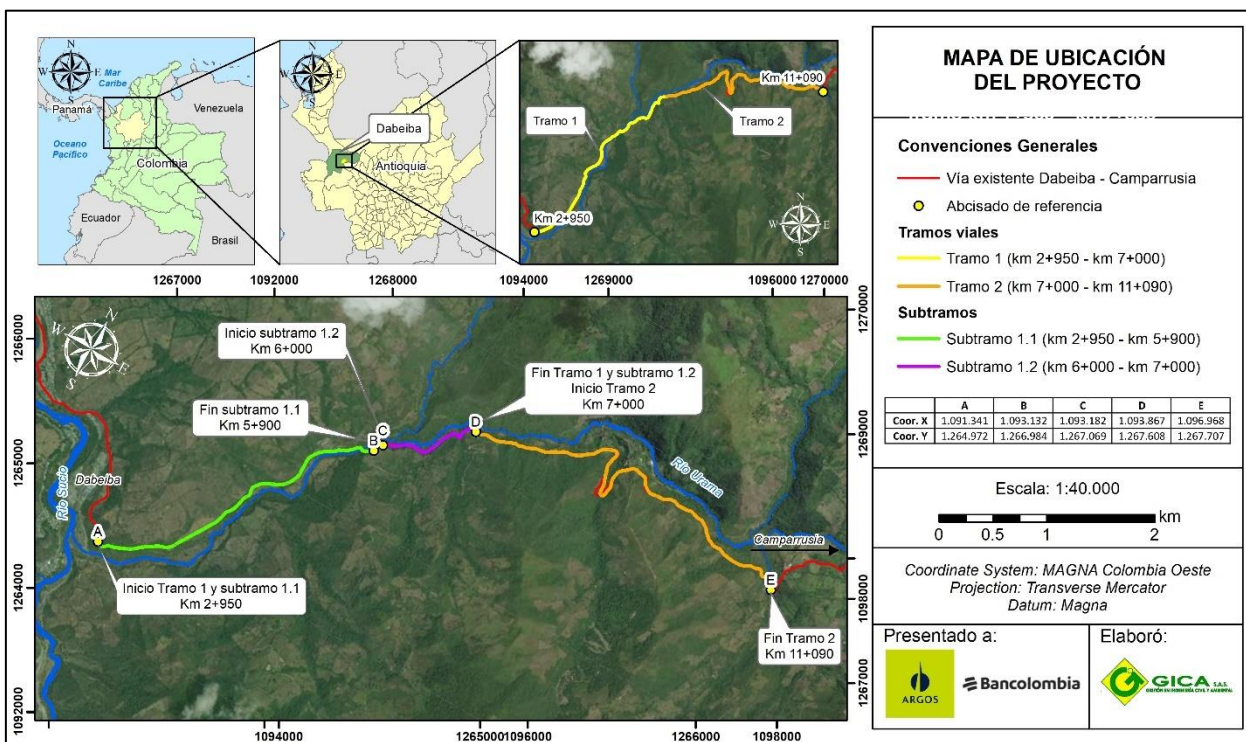


Figura 1. Localización de los tramos a intervenir entre el km 2+950 a km 11+090

(Elaborado GICA S.A.S.)

3 GEOLOGÍA

3.1 GEOLOGÍA REGIONAL

El área de estudio se encuentra enmarcada dentro de una zona compleja conformada por diferentes tipos de unidades geológicas, las cuales varían en composición, teniendo desde rocas sedimentarias como principal unidad a rocas ígneas intercaladas con las primeras, con presencia además de algunos depósitos asociados a afluentes o vertientes de la zona, que pueden variar de edad desde el Jurásico hasta el cuaternario representando una amplia franja de edades. Las características de estas unidades se describen en este capítulo y el comportamiento geomecánico de cada una, varía dependiendo del tipo de roca.

La identificación de estas unidades geológicas regionales, se basa principalmente en la revisión de información secundaria, donde se estudia los datos existentes en la zona a nivel regional, proveniente principalmente del Servicio Geológico Colombiano (SGC), posteriormente se realiza una descripción detallada de la información recolectada en

campo, con el fin de correlacionar dicha información y se recopila en geología local, para este caso, se tienen las siguientes unidades que intervienen en la región.

3.1.1 COMPLEJO CAÑASGORDAS

Con este nombre se agrupan de manera informal un conjunto de bloques tectónicos que afloran en la mitad oriental de Dabeiba y en los cuales no es posible determinar secuencias completas o parciales dentro de cada bloque, sino segmentos de secuencias sin base y techo definido limitadas por fallas. Se hace una correlación por similitud litológica, pero se carece de datos que permitan decir que un bloque tectónico de litología similar corresponde en edad a otro bloque de similar litología.

El Complejo Cañasgordas reagrupa las unidades que fueron denominadas en la Plancha 114 por Mejía & Salazar (1989, 2007) como: Pizarras de Dabeiba, Diabasa de San José de Urama y Grupo Cañasgordas, este último constituido por las formaciones Barroso y Penderisco y dividida en los miembros Urrao y Nutibara (Álvarez & González, 1978). Se denominan las rocas por bloques de similar litología y no se utiliza el nombre de grupos, formaciones y miembros por no cumplir los criterios de la Guía Estratigráfica Internacional para establecer estos nombres.

Las Pizarras de Dabeiba fueron descritas por Zuluaga & Hoyos (1978), como "Miembro pizarroso" de la Formación Penderisco; posteriormente Mejía & Salazar (1988) le dan el nombre de Pizarras de Dabeiba a algunos paquetes de pizarras con bajo metamorfismo que afloran antes y después de Dabeiba, sobre la vía que une Medellín con Urabá y la correlacionan con la Formación Quebradagrande, asignándole una edad del cretáceo temprana. Estos mismos autores, en la localidad del río Frontino y el caserío de Beibaviejo, denominan Diabasas de San José de Urama a las rocas volcánicas correlacionables con la Formación Barroso definida por Álvarez & González (1978) y denominadas posteriormente por González (2001) como Volcánico del Barroso.

Los bloques sedimentarios de lodolitas y litoarenitas, y chert y calizas del Complejo Cañasgordas corresponden a los denominados miembros Urrao y Nutibara del Grupo Cañasgordas en el sentido de Álvarez & González (1978) y los bloques de diabasas y basaltos corresponden a la Formación Barroso de estos autores.

3.1.1.1 Diabasas y basaltos del Barroso

Como Diabasas y basaltos del Barroso se agrupan una serie de bloques tectónicos que afloran en la mitad oriental de la Plancha 114 Dabeiba, desde la entrada a Frontino hasta antes de la vereda El Botón, sobre la vía Medellín-Turbo, los cuales corresponden a franjas de dirección Norte-Sur y amplitud menor de 2.00 km, conforman bloques lenticulares y algunos continuos limitados por fallas normales e inversas con adelgazamientos y engrosamientos locales. Los mejores afloramientos de esta unidad se encuentran sobre la vía Cañasgordas-Dabeiba en cuyo trayecto se cruzan al menos cinco (5) franjas de diabasas y basaltos y sobre la vía que va bordeando el río Urama hacia Urama Grande.

Macroscópicamente los cuerpos que afloran en la plancha están constituidos por diabasas y en menor proporción por basaltos, la roca es de color gris y gris verdoso, fanerítica fina a muy fina, se le puede o no reconocer la mineralogía y la textura típica de diabasas de acuerdo al tamaño de grano de la roca en el afloramiento, generalmente están compuestas por cristales de plagioclasa menores de 1.00 mm, de color verde claro y un mineral máfico negro (piroxeno), predomina la plagioclasa sobre el piroxeno, localmente presentan sulfuros como pirita y pirrotina diseminada en contenidos menores al 1.00%. Con frecuencia se desarrollan patinas de color negro y gris azul de óxidos de manganeso en las diaclasas y fracturas de la roca o al interior de la roca como alteración de los máficos.

Los basaltos son de color gris a gris verdoso, afaníticos, pueden tener fenocristales finos menores de 1.00 mm y amígdalas de 1.00 a 2.00 mm de color blanco, subredondeadas, las cuales flotan en la pasta de la roca. Al igual que las diabasas están fracturados y deformados y tiene patinas de manganeso en los planos de fractura.

Los cuerpos de diabasa y basalto se encuentran intensamente fracturados y deformados, son frecuentes las zonas de fallas en los bordes de cada cuerpo, las cuales pueden alcanzar espesores de más de cien metros (100 m). Localmente, en el interior de los bloques, se pueden presentar zonas de milonitas, con foliación dinámica y presencia de poliedros de diabasa no deformada del orden milimétrico a métrico, rodeados por milonitas formadas a partir de diabasas y basaltos, además, son frecuentes los poliedros de chert negro centimétricos a decimétricos a manera de budines y augenes al interior de los cuerpos deformados de diabasa y basaltos, indicando comportamiento de los poliedros como un cuerpo resistente y rígido. Venas de cuarzo y vetillas en stockwork de cuarzo y calcita se presentan en las zonas deformadas.

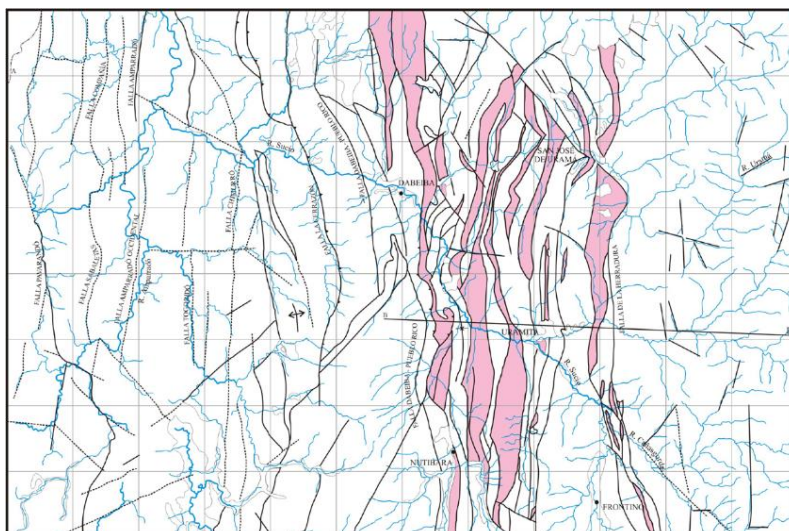


Figura 2. Bloques tectónicos de diabasas correlacionables con la Formación Barroso
Tomado de: Geología de la parte oriental la plancha 114 Dabeiba

3.1.1.2 Chert y calizas de Nutibara

Como chert y calizas de Nutibara se agrupan una serie de bloques tectónicos que afloran en la mitad oriental de la Plancha 114 Dabeiba, desde la entrada a Frontino hasta después del municipio de Dabeiba, sobre la vía Medellín-Turbo, los cuales corresponden a franjas irregulares de dirección norte – sur y amplitudes variables que oscilan entre decenas de metros y tres kilómetros (3 km), conforman bloques tectónicos alargados, continuos y discontinuos, limitados por fallas normales e inversas, con adelgazamientos y engrosamientos locales, generalmente plegados que se intercalan con los bloques de diabasas y basaltos y menos frecuente con bloques de litoarenitas y lodolitas grises correlacionables con el Miembro Urrao en el sentido de Álvarez & González (1978). Los mejores afloramientos de esta unidad se encuentran sobre la vía Cañasgordas–Dabeiba, en cuyo trayecto se cruzan franjas de paquetes conformados por chert, calizas y subordinadas lodolitas, y sobre la vía que va bordeando el río Urama hacia Urama Grande. Los cuerpos de chert y calizas fueron denominados en el área de la Plancha 114 como Miembro Nutibara perteneciente a la Formación Penderisco y su nombre se derivó del corregimiento de Nutibara en el Municipio de Frontino-Antioquia en el sentido de Álvarez & González (1978). Fue definido y nombrado por Álvarez (1970) y descrito en el informe geológico del Cuadrángulo I-7 “Urrao” (Álvarez & González, 1978) como Miembro Nutibara, que, unido con el Miembro Urrao, conformaban la Formación Penderisco del Grupo Cañasgordas. Posteriormente, Mejía & Salazar (2007) denominan a esta unidad como Complejo Nutibara por sus características litológicas, estructurales y paleontológicas diferentes, además de estar tectónicamente separada del Grupo Cañasgordas y reconocen tres (3) litologías dominantes: chert negro o lidita, chert calcáreo y calizas y niveles con jaspe.

Macroscópicamente cada bloque tectónico de chert puede o no presentar intercalaciones de calizas, lodolitas y limolitas, en general de un bloque a otro hay diferencias litológicas en cuanto a los espesores de las secuencias, las capas de chert, calizas y limolitas y lodolitas intercaladas. El chert es de color negro a gris oscuro, localmente puede presentar laminación fina a media, plano paralelas a no paralelas continua marcada por cambios de color, con láminas negras, grises y blancas. Forman secuencias o paquetes gruesos de espesores que pueden alcanzar treinta (30) o más metros, conformados por capas finas, medias y gruesas que pueden o no tener intercalaciones de capas muy finas a finas de lodolitas y limolitas grises con partición pizarrosa y capas y paquetes de calizas micríticas. Generalmente los paquetes de chert están plegados, fallados con desplazamientos entre las capas, en algunos casos el desplazamiento se da a lo largo de los planos de estratificación facilitada por las intercalaciones finas de lodolitas y arcillolitas, pueden tener lisos de falla, presentan diaclasamiento, fracturamiento y plegamientos complejos, los cuales varían de un sitio a otro de acuerdo al grado de deformación y cizallamiento y a la cercanía a fallas, es frecuente que estén atravesadas por venillas irregulares de color blanco constituidas por cuarzo lechosos y calcita; las venillas generalmente dispuestas transversal a la estratificación de las capas o forman estovercas de venillas irregulares en todas las direcciones, imprimiéndole a la roca un aspecto brechoide.

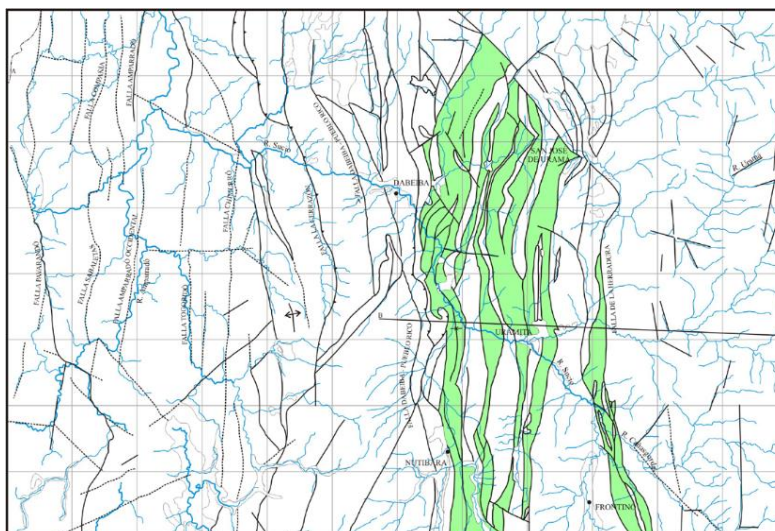


Figura 3. Bloques tectónicos de chert y calizas correlacionables con el miembro Nutibara
Tomado de: Geología de la parte oriental la plancha 114 Dabeiba

3.1.1.3 Litoarenitas, limolitas y lodolitas de Urrao

Como Litoarenitas, limolitas y lodolitas de Urrao se agrupan una serie de bloques tectónicos que afloran en la mitad oriental de la Plancha 114 Dabeiba, desde Cañasgordas hasta después del municipio de Dabeiba. Esta unidad aflora en la parte oriental de la plancha, ocupa el 40-45% del área aproximadamente unos 900.00 km². La mayoría de los afloramientos se encuentran meteorizados y solamente se localiza roca fresca en las cabeceras de los ríos, quebradas y algunos tramos de carretera. Los mejores afloramientos en la Plancha 114 se encuentran en las carreteras Cañasgordas-Vereda Palmas, río Uramita, río San Julián, río Urama, quebrada Chachafruto y río Páramo.

Según algunos autores (Toussaint, 1996; González, 2001) el Miembro Urrao está conformado por sedimentos tipo "flysch" plegados y fallados que pueden interpretarse como turbiditas proximales, pero hacia el tope, cuando aparecen intercalados o transicionales a la secuencia de calizas y lidita, correspondería a turbiditas distales de más de 3000.00 m de espesor.

Esta unidad es predominantemente areno-arcillosa, compuesta por arenitas líticas, grauvacas, limolitas y lodolitas silíceas y conglomerados ocasionales, con bancos delgados de chert y caliza hacia el tope, localmente con silos y derrames diabásicos y basálticos.

Las arcillolitas se encuentran en capas paralelas de 50.00 a 200.00 mm de espesor, perturbadas por pliegues de orden centimétrico; interestratificadas con grauvaca y limolitas, en bancos gruesos a muy gruesos. Son rocas físlas, con laminación fina, de color gris verdoso a pardo oscuro por hidróxidos de hierro en los planos de estratificación.

Las lodolitas son rocas que se encuentran interestratificadas en bancos de espesor variable, 0.05 a 1.00 m, están constituidas por láminas de minerales arcillosos y cuarzo, intercaladas con materia orgánica. Los fragmentos son subangulares a subredondeados de cuarzo, líticos, feldespatos, epidota y micas; localmente se encuentra cemento calcáreo. Por los efectos dinámicos se desarrollan clivajes y foliación, formando pizarras o filitas con intercalaciones arenosas.

Las limolitas se encuentran en bancos de espesor variable entre 0.05 a 1.00 m, intercalados en la secuencia de grauvacas. Son rocas macizas a finamente estratificadas, de color gris oscuro a negro, con alto contenido de materia orgánica.

Las arenitas y grawacas, son de color gris verdoso a gris oscuro en rocas frescas. Se presentan en capas de variado espesor de delgadas a muy gruesas, con estratificación plana, paralela continua; a veces presentan estratificación cruzada a pequeña escala.

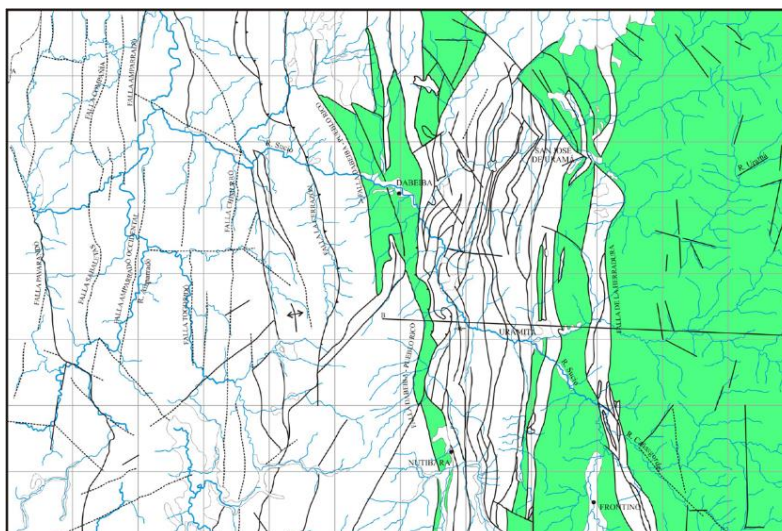


Figura 4. Bloques tectónicos de litoarenitas, lodolitas y limolitas correlacionables con el miembro Urrao
Tomado de: Geología de la parte oriental la plancha 114 Dabeiba

3.2 GEOMORFOLOGÍA

La zona perteneciente al sector de Dabeiba corresponde a una sola zona geomorfológica que comprende el núcleo y la vertiente Oeste de la Cordillera Occidental, caracterizada por una topografía montañosa, quebrada, de ríos encañonados con pequeños valles intra cordilleranos aislados y alargados en el sentido de las fallas geológicas.

De acuerdo a Mejía & Salazar (2007) el área se encuentra en la cuenca del Río Sucio, está cubierta de pastos y bosques; los drenajes son prolongados requiriendo 50.00 km de E a W para bajar al nivel de 350 m.s.n.m., en el extremo Norte del río Sucio. Esta unidad la subdividen en varias subunidades:

La mitad oriental al E de Dabeiba, entre Dabeiba y el río Amparradó; al Norte del río Togoridó; el SW de la Plancha 114, cuenca de los ríos Pegadó, Chaquenodá y Jenaturadó y al W del río Amparradó hasta el Batolito de Mandé.


Al este de Dabeiba, el control estructural de la litología se evidencia en los rasgos morfológicos del área, además, buena parte del drenaje está controlado por fallas geológicas, encontrando que muchos de los cauces secundarios corren en el sentido del tren estructural N-S.

Mejía & Salazar (2007) describen y denominan "Domo de San Pablo", a la estructura rodeada por los ríos Urama, Uramita y Sucio al borde Este de Dabeiba; allí se forma un macizo semicircular donde el drenaje se dispone de forma radial entre 2200 m.s.n.m. y 450 m.s.n.m. Parcialmente esta estructura semicircular se debe a control estructural de fallas, específicamente en la zona norte, pero al interior de la estructura morfológica el tren estructural litológico es continuo en dirección N-S.

El sistema de fallas de Dabeiba morfológicamente está caracterizado por el alineamiento de drenajes a ambos lados del río Sucio, como por ejemplo el control estructural de las quebradas Ambalema, Fuemia, Santa Lucía, Nudillales, Mango, El Tigre y Buga entre otras y el río Verde en algunos tramos. La formación de cuchillas alargadas en sentido norte sur, valles intramontañosos como los de Musinga, Nutibara y Nobogá, el desarrollo de hombreras a media ladera a lo largo de la traza de las fallas, el desarrollo de deslizamientos de gran magnitud asociados a las zonas y trazas de fallas como los que se observan a lo largo de la vía Dabeiba-Cañagordas y el sector del Revenidero.

3.3 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

La zona de Dabeiba se localiza en el norte de la Cordillera Occidental de Colombia, estructuralmente está al occidente de la Falla Cauca-Almaguer y del Sistema de Fallas del Cauca, se encuentra atravesada por el Sistema de Fallas de Dabeiba, que limita el Complejo Cañagordas con el Complejo Santa Cecilia-La Equis a nivel regional.

	VOLUMEN III. GEOLOGIA PARA INGENIERIA	
	INFORME	
	Documento: GICA-630-DAB.-CAMP.-VOL III-INF -001-Rev0	
	Medellín, Antioquia, 5 de noviembre de 2021	Página 6

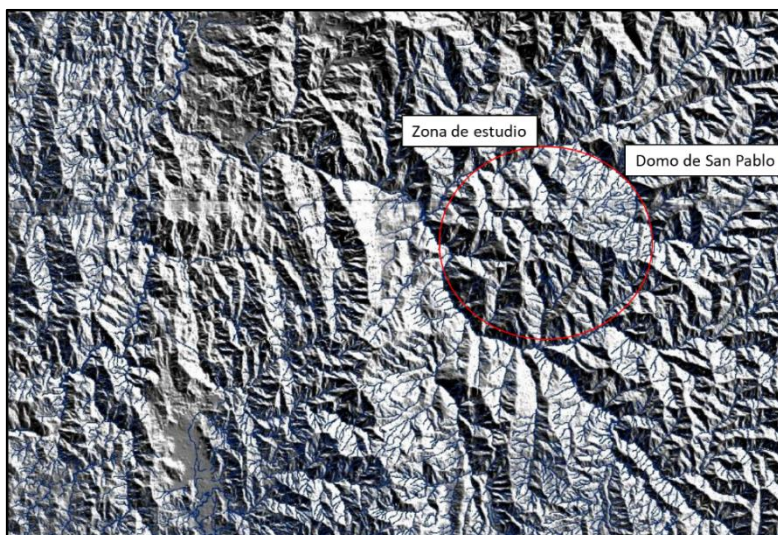


Figura 5. Modelo de sombras con las geoformas de la zona de estudio
Tomado de: Geología de la parte oriental la plancha 114 Dabeiba

3.3.1 MARCO ESTRUCTURAL REGIONAL

La zona de estudio se localiza cerca de la unión triple de las placas Nazca, Caribe y Suramérica, siendo este sector sometido a una amplia deformación y con una tectónica compleja que ha dado como resultado un mosaico de bloques tectónicos limitados por fallas, orientados en sentido regional N-S, los cuales adquirieron, en buena medida, la configuración actual durante la orogenia Andina.

El área de estudio se encuentra bajo la influencia de dos (2) sistemas de fallas principales N-S:

1. El Sistema del Borde Occidental de la Cordillera Central que incluye el Sistema Cauca-Romeral y comprende las Fallas Cauca-Almaguer y Cauca occidental (en el sentido de Maya & González, 1995), Tonusco, Espíritu Santo, Santa Rita y Sabanalarga entre otras, junto con las fallas satélites asociadas a este sistema.
2. El Sistema de Fallas de Dabeiba, el cual comprende entre otras las denominadas Fallas de Dabeiba, La Herradura, San Ruperto, Urrao y Río Verde, y hacia el occidente de la Falla Dabeiba-Pueblo Rico se presenta el sistema de fallas Amparradó-Murindó.

Los dos (2) sistemas en este trabajo se toman en un sentido amplio y general como zonas donde se presentan numerosas fallas que ponen en contacto, en la zona norte de la Cordillera Occidental, rocas y bloques de los complejos Cañasgordas y Santa Cecilia-La Equis, sin tener en cuenta la edad individual, su origen, ni el estilo estructural individual de cada falla, sino como un conjunto general.

La mayoría de los autores (Toussaint & Restrepo, 1994; Maya & González, 1995)) han explicado el significado de los sistemas como límites de unidades y terrenos.


Los dos (2) sistemas en conjunto influyen la tectónica regional de la parte norte de la Cordillera Occidental y forman una estructura compresiva, donde el Sistema del Borde Occidental de la Cordillera Central es de tipo dextral, mientras el Sistema de fallas de Dabeiba, en la Plancha 114, tiene una componente de rumbo sinetral con desplazamientos normales e inversos.

Adicionalmente a los sistemas regionales Norte-Sur se presentan fallas en sentido NE y NW, más jóvenes que el sistema regional y que tienen importancia en que fraccionan los bloques, los interrumpen y desplazan y truncan las fallas del Sistema Norte-Sur.

Teniendo en cuenta el marco tectónico regional, se describen en la Plancha de Dabeiba, las estructuras de falla, lineamientos, pliegues y foliaciones, el significado a nivel local y regional de cada una de ellas y las características más relevantes asociadas a las estructuras.

3.3.2 FALLAS

En la Plancha 114 Dabeiba se presentan estructuras de falla formadas bajo condiciones frágiles y en niveles de deformación intermedios, estas últimas caracterizadas por el desarrollo de zonas amplias deformadas donde afloran

	VOLUMEN III. GEOLOGIA PARA INGENIERIA	
	INFORME	
	Documento: GICA-630-DAB.-CAMP.-VOL III-INF -001-Rev0	
	Medellín, Antioquia, 5 de noviembre de 2021	Página 7

principalmente milonitas. Dos (2) direcciones de fallamiento predominan en esta área de la Cordillera Occidental: N-S y N45°W. Relacionadas a éstas se presentan fallas inversas, fallas de rumbo y fallas normales.

3.3.2.1 Fallas de dirección N-S

Las fallas de dirección N-S conforman el tren estructural regional dominante en la zona norte de la Cordillera Occidental y en la Plancha 114 Dabeiba, el cual en el límite o borde del Complejo Cañasgordas con el Complejo Santa Cecilia–La Equis está representado por numerosas fallas trenzadas dando origen a un mosaico de bloques deformados de diferente litología, el cual se denomina Sistema de Fallas de Dabeiba, compuesto por fallas dispuestas de manera anastomosada que limitan fajas y lentes de diabasas y basaltos con bloques de chert y calizas y bloques de litoarenitas, limolitas y lodolitas, así como también limitan bloques de tobas-aglomerados-basaltos del Complejo Santa Cecilia-La Equis y sedimentitas de la Formación Guineales.

3.3.2.2 Sistema de Fallas de Dabeiba

Con este nombre se denomina a un sistema de fallas de dirección N-S con una amplitud en sentido este-oeste en la Plancha 114 Dabeiba de aproximadamente 20.00 km. El sistema afecta las rocas denominadas en este trabajo como Complejo Cañasgordas, y limita bloques de diferente litología dentro del complejo como diabasas, chert, calizas, litoarenitas y lodolitas. Por lo general, los bloques tienen amplitudes menores a 3.00 km, los cuales se extienden a lo largo del rumbo de manera continua, lenticular y discontinua.

El sistema está representado aproximadamente por trece (13) a quince (15) fallas en la plancha 114; el límite occidental del Sistema de fallas de Dabeiba es la Falla Dabeiba-Pueblo Rico, que corresponde al contacto fallado del Complejo Cañasgordas con el Complejo Santa Cecilia–La Equis; el límite oriental del sistema es la Falla de La Herradura que pone en contacto la zona de mayor deformación con rocas menos deformadas del Complejo Cañasgordas.

En este trabajo sólo se utilizan los nombres de las fallas que limitan el sistema, es decir la Falla Dabeiba-Pueblo Rico como límite entre los complejos Cañasgordas y Santa Cecilia – La Equis y Falla de La Herradura, que marca en la Plancha 114, la aparición de los primeros bloques de diabasas y chert y calizas en contacto fallado con las litoarenitas y lodolitas de Urrao. Los demás nombres no se utilizan, en parte por la complejidad estructural del sistema, el fallamiento de tipo trenzado o anastomosado del sistema y por los problemas cartográficos al norte y sur, en las planchas 129 y 103, donde los límites de los bloques litológicos y las trazas de fallas al interior del sistema no tienen continuidad en la cartografía geológica existente, requiriendo la elaboración de la cartografía para definir la continuidad de las fallas tanto al norte como al sur de la plancha 114.

Las fallas que constituyen el sistema presentan movimientos normales, inversos, ocasionales cabalgamientos y desplazamientos de rumbo sinetral. Los tipos de roca formados a lo largo de las zonas de deformación de estas estructuras están íntimamente asociados a la respuesta deformacional de las diferentes litologías que conforman los bloques tectónicos, es decir, la deformación causada por la falla a un bloque de diabasas-basaltos no es la misma que la que ocurre en un bloque de chert y calizas.


3.3.2.2.1 Falla de La Herradura

La Falla Herradura recibe su nombre del río Herradura en Cañasgordas (Álvarez & González, 1978) el cual se encuentra controlado por esta estructura. Tiene dirección predominante N-S. González & Londoño (2003), en la memoria de la Plancha 129, consideran que hacia el norte solo llega hasta el cañón del río Riosucio y es interrumpida por el Plutón de Cerro Frontino, afectando rocas sedimentarias areno arcillosas del Miembro Urrao. Según Page (1986, en González & Londoño, 2003) esta falla parece desplazar un valle aluvial hacia el este cerca del Municipio de Urrao.

Al este de la Plancha 114, la falla Herradura marca la primera aparición, de bloques de diabasas y basaltos del Barroso y de Chert y calizas del Nutibara asociados al Sistema de fallas de Dabeiba–Pueblo Rico en contacto fallado con litoarenitas y lodolitas de Urrao.

3.3.2.2.2 Falla Dabeiba–Pueblo Rico

Etayo *et al.* (1986) le asignan el nombre de falla de Dabeiba a una falla NW que limita el Terreno Cañasgordas de los Terrenos Sinú y Buriticá. Esta falla ha sido considerada como una sutura por Toussaint (1994) entre el terreno Cuna y el Bloque Andino. Buchely *et al.* (2009) denominan esta estructura, al norte de la Plancha 114, con el nombre informal de Falla Nutibara que es un sinónimo o más bien es equivalente a la Falla Dabeiba-Pueblo Rico, además la consideran como una estructura de carácter rumbo dextral principalmente, aunque no descartan que tiene un componente de movimiento en la vertical.

	VOLUMEN III. GEOLOGIA PARA INGENIERIA	
	INFORME	
	Documento: GICA-630-DAB.-CAMP.-VOL III-INF -001-Rev0	
	Medellín, Antioquia, 5 de noviembre de 2021	Página 8

3.3.2.3 Sistema de Fallas Amparradó-Murindó

Con este nombre se agrupa las fallas de dirección Norte-Sur que afloran al occidente de la Falla Dabeiba-Pueblo Rico y al oriente de la Falla Murindó y que afectan el Complejo Santa Cecilia-La Equis. La información que se tiene de las fallas que componen este sistema en la Plancha 114, se retoma del trabajo de Mejía & Salazar (2007), puesto que en el presente trabajo no se hizo reconocimiento de campo de este sector.

El Sistema de Fallas Amparradó – Murindó comprende las fallas Cerrazón, Amparradó, Chimurro, Togoridó, Amparradó Occidental, Sabaletas, Compañía y Pantanos.

3.3.2.4 Fallas y lineamientos de dirección NW

Fue definido por Mejía & Salazar (2007) como un conjunto de estructuras que afecta las fallas y lineamientos de dirección Norte-Sur, pero que aparentemente es truncado por el sistema de fallas Noreste. En la Plancha 114 se presentan fallas de dirección NW en la vereda El Águila, entre la Aguada y la quebrada La Esperanza y en un segmento del río Sucio, afectando el contacto de la Formación Guineales. Se caracteriza porque trunca las fallas y bloques litológicos de dirección N-S, indicando que corresponde a fallas más recientes que las del rumbo regional N-S.

3.3.2.5 Fallas y lineamientos de dirección NE

Este sistema de fallas está representado en la Plancha 114 Dabeiba por fallas de poca longitud que truncan los bloques litológicos y las fallas del sistema N-S y desplazan al sistema de fallas NW, considerando por tal razón que corresponden a las fallas más jóvenes que afectan la zona de estudio. Las estructuras de falla más importantes de este sistema se presentan al norte de la plancha, a lo largo de la quebrada El Águila, donde se encuentra una falla de más de 5.00 km que alinea la quebrada a lo largo de la traza y orienta los bloques litológicos en el sentido de la falla.

3.4 GEOLOGÍA LOCAL

Dentro de la geología local se identificaron diversos tipos de roca que afloran en la zona, las cuales pertenecen a una misma unidad, pero que representan variabilidad en cuanto a su composición. Debido a esto, el comportamiento geo-mecánico cambia, llegando a tener espesores distintos, con estratos más gruesos o más delgados y resistencia a la meteorización variable. Esto implica una distinción de dichas rocas en la zona de estudio. De igual manera, se identifican depósitos cuaternarios en diversos sitios, que representan aquellos materiales no consolidados que se encuentran en la zona.

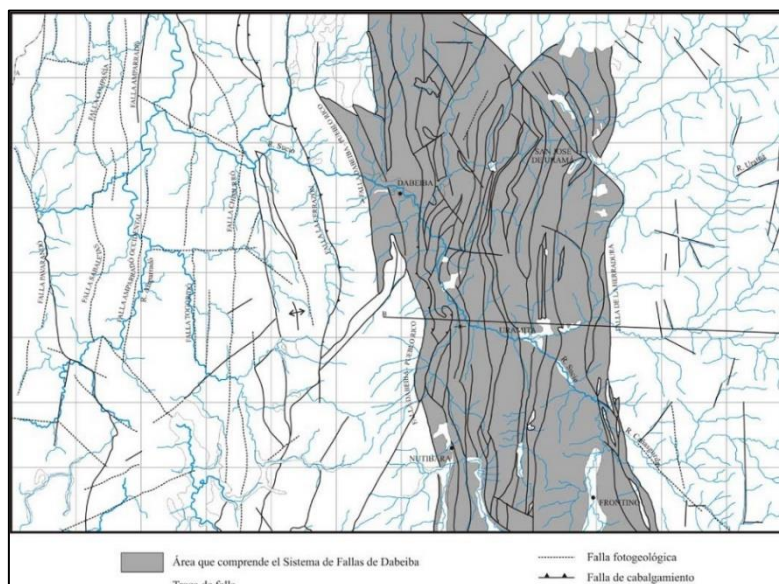



Figura 6. Sistema de fallas de la zona de estudio

Tomado de: Geología de la parte oriental la plancha 114 Dabeiba

	VOLUMEN III. GEOLOGIA PARA INGENIERIA	
	INFORME	
	Documento: GICA-630-DAB.-CAMP.-VOL III-INF -001-Rev0	
	Medellín, Antioquia, 5 de noviembre de 2021	Página 9

3.4.1 FORMACIÓN PENDERISCO - MIEMBRO NUTIBARA

Esta unidad corresponde a la principal de la zona de estudio, se encuentra aflorando en casi todo el tramo con presencia de rocas como calizas, chert y basaltos, las cuales presentan diferentes configuraciones a través de la zona.

En el caso de la caliza, se puede encontrar aflorando en diversos puntos, con la característica de presentar estratificación que varía dependiendo del sitio, debido a que el tectonismo de la zona ha generado plegamientos, o cambios en la estratificación de la roca.

El primer sitio de afloramiento es cerca del km 2+750, donde se aprecia una roca estratificada con capas lenticulares que varían su espesor, teniendo algunos lentes con su eje central de 0.30 m con puntas de 0.10 m. Estas son separadas por capas más finas de lodolitas o composición similar en algunos casos, pero que envuelven estos lentes, los espesores alcanzan promedio de 0.10 m hasta menores. La composición de esta roca es calcácea, de grano medio y coloración gris claro, en el caso de las lodolitas, son finogranulares y de tonalidad gris oscura. La estratificación de la zona tiene una dirección NS/44E con diaclasamiento en dirección N70W/90.



Fotografía 1. Estratificación definida por calizas y lodolitas
(Registro tomado por GICA SAS en 2021)

En este sitio el cambio litológico se da con basaltos que se describen más adelante, donde la estratificación que se observa desaparece, pasando a una roca masiva. Posteriormente, aflora nuevamente estas calizas, como una roca estratificada hacia el km 6+550 al km 6+750, donde logran observarse aflorando como capas subverticales en la quebrada Caliche. La composición de las rocas en este sitio es similar, siendo calcáreas en alto porcentaje y de grano medio, el grado de meteorización de estos minerales es bajo, preservándose como una roca fresca pero altamente fracturada, se encuentra cubierta por depósitos aluviales en el cauce de la quebrada y alrededores, pero aflorando sobre la vía. En este sitio se observan como paquetes tabulares sin presencia de lentes, donde la roca es en su totalidad caliza, no presenta mezcla con otros elementos, los espesores de las capas tienen en promedio 0.10 m y su proceso de formación está asociada a turbiditas.



Fotografía 2. Calizas aflorando en la quebrada Caliche
(Registro tomado por GICA SAS en 2021)

Posteriormente, afloran nuevamente las calizas hacia el km 7+650, donde se presenta un cambio estructural, teniendo una estratificación en dirección N60E/90 y diaclasamiento N30W/15SW. En este punto los paquetes son más gruesos y subparalelos a la vía, realizando cortes que permiten dejar una pared al lado de la misma. Este se separa de las mismas calizas aproximadamente al km 8+050 donde interviene un depósito de vertiente que cubre la zona, permitiendo

afloramientos nuevamente hacia el km 8+450, donde el plegamiento en la roca muestra una estratificación de N10E/30NW, en este punto es clara una laminación y se observa fácilmente la composición mineral de la roca.



Fotografía 3. Composición de calizas (Izq.). Paredes en la vía de calizas (Der.)
(Registro tomado por GICA SAS en 2021)

Por último, en el tramo puede encontrarse aflorando estas calizas entre los km 9+300 y km 9+500, donde se pueden identificar nuevamente como secuencias turbidíticas que forman paquetes de 0.10 m de espesor que presenta plegamiento, llegando a cambiar la estratificación de la roca, encontrando N10E/90 a N-S/90. Este sector muestra claramente las capas dejando algunos pliegues en la zona, que pueden representar bloques colgados hacia la vía. En estos sitios puede identificarse diaclasas en dirección N80W/35SW y N80W/58NE.




Fotografía 4. Estratificación en Calizas
(Registro tomado por GICA SAS en 2021)

Perteneciendo a la misma unidad, se encuentran intercaladas con las calizas descritas, rocas silíceas bandeadas de origen sedimentario que corresponde a chert, esta se presenta como una roca consistente y estratificada caracterizada por su coloración negra a gris oscura (Fotografía 5). El primer punto de afloramiento en la vía, corresponde al km 7+550 y se encuentra como paquetes de 0.10 m de espesor con estratificación N5W/90, similar a la estratificación que la rodea de las calizas. La composición de esta es cuarzo en altos porcentajes y su formación se remonta a una posible secuencia turbidítica que genera estratos delgados, los cuales se encuentran verticales debido al tectonismo de la zona.



Fotografía 5. Chert aflorando en el km 6+300
(Registro tomado por GICA SAS en 2021)

	VOLUMEN III. GEOLOGIA PARA INGENIERIA	
	INFORME	
	Documento: GICA-630-DAB.-CAMP.-VOL III-INF -001-Rev0	
	Medellín, Antioquia, 5 de noviembre de 2021	Página 11

Otro de los sitios que aflora esta roca, corresponden al km 10+750, donde se aprecian paquetes estratificados tipo secuencia turbidítica sobre la vía, donde se nota claramente una coloración negra a gris oscura típica de los chert. Este presenta una estratificación N-S/60W, siendo consecuente con el buzamiento de toda la secuencia, pero con pliegues debido a que a veces se encuentra vertical y otras veces con cierta inclinación. La característica que presenta la roca de tonalidad gris, es que presenta laminación de elementos oscuros posiblemente de materia orgánica.



Fotografía 6. Chert aflorando en la vía en km 9+500
(Registro tomado por GICA SAS en 2021)

Como elemento importante, afloran rocas que varían completamente de su composición de acuerdo con las ya mencionadas, estas corresponden a rocas ígneas fino granulares básicas, siendo de color verdoso y minerales finos levemente observables. Estas corresponden principalmente a basaltos o diabasas y según la clasificación de Servicio Geológico Colombiano, pertenecen al igual que las calizas y chert, al miembro Nutibara de la formación Penderisco.

Se presentan como rocas finas color verde y presencia de algunos minerales básicos de tamaños finos a medios, para la zona aflora entre los km 3+050 y km 4+500, interrumpidos por algunos depósitos recientes que se localizan en el sector. Su presentación a diferencia de las sedimentarias es el de una roca masiva y dura, que puede presentar meteorización media con presencia de familias de diaclasas:

- NS/65SE
- EW/90
- N15E/40NW

Hacia el sector km 4+500, se presenta un deslizamiento antiguo asociado al fuerte fracturamiento, ya que se forman bloques que se desprenden fácilmente.



Fotografía 7. Basaltos a diabasas km 1+800
(Registro tomado por GICA SAS en 2021)

Hacia el km 5+750 se puede apreciar un cambio litológico de la zona, donde se ve aflorando a margen derecha del río Urama, rocas ígneas básicas finogranulares similares a las descritas anteriormente, estas se caracterizan por su forma masiva y su color oscuro. Su grado de meteorización es bajo y afloran al borde del río, indicando una posible falla para el contacto hacia el otro lado y su afloramiento es muy profundo. Sobre esta se localizan algunos depósitos aluviales. Debido a que el cuerpo se encuentra muy masivo, no es posible medir estructuras como diaclasas en el sector.



Fotografía 8. Basaltos al borde del río Urama
(Registro tomado por GICA SAS en 2021)

Posteriormente, cerca del km 9+800, se encuentra aflorando nuevamente esta roca ígnea fino-granular, la cual durante su afloramiento se muestra masiva sin planos de diaclasamiento que representen planos de debilidad, esta tiende a presentar un tamaño de grano fino, donde se observan algunos máficos que pueden corresponder a piroxenos. El talud muestra desprendimiento de bloques que se asocia a fracturas, donde la mayor parte se muestra fuertemente fracturado. De igual manera, se encuentra nuevamente, afloramientos de basaltos hacia el km 10+300 con la diferencia de que en este sector tiende a mostrar una oxidación importante en el sector, probablemente esto se deba al contenido de agua en la zona, la cual oxida con facilidad los ferromagnesianos que posee esta roca, dejando un estado de meteorización medio.



Fotografía 9. Basaltos con oxidación – Km 9+050
(Registro tomado por GICA SAS en 2021)

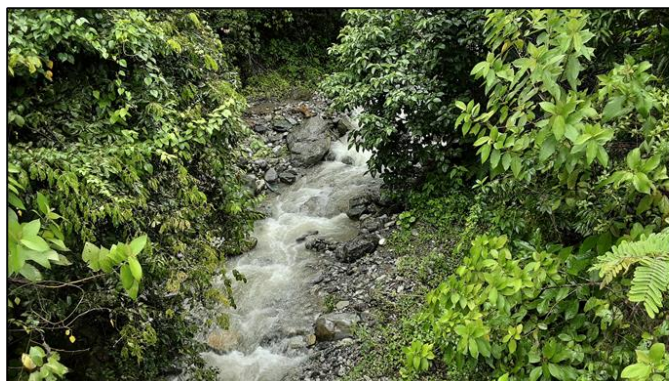
Como elementos recientes, se encuentran depósitos tanto aluviales como de vertiente, los cuales se diferencian por su tipo de formación y composición. Los depósitos aluviales son aquellos que son depositados por el río, donde el material transportado encuentra lugares de reposo y generalmente se da mezcla de suelos y gravas o bloques que tienden a ser redondeados debido al transporte que estos sufren, pueden tener algunos metros de recorrido o varios kilómetros, lo cual depende del evento. Para el caso de los depósitos de vertiente, son eventos generados en la ladera de la montaña, donde algunos de los materiales quedan atrapados en un deslizamiento, depositándose en zonas de estabilidad, estos se caracterizan por poseer fragmentos de roca angulosos debido al poco transporte que sufren.

En el caso de los depósitos de vertiente en la zona, son muy abundantes, empezando a aparecer desde el km 4+700 al km 5+300, donde se caracterizan por ser depósitos clasto soportados con materiales angulosos gruesos de calizas y basaltos, dependiendo donde sea el sitio. Tienden a ser materiales sueltos, no compactados que conservan fragmentos de roca de hasta 0.20 m de diámetro, en algunos casos logran ser mayores, correspondiendo a fragmentos de la roca que aflora cerca a estos. Hacia los siguientes kilómetros, logran apreciarse otro tipo de depósitos de vertiente, siendo materiales matriz-soportados, donde la cantidad de bloques o fragmentos es menor que los mencionados anteriormente. Estos se localizan hacia los km 9+050, km 9+000, km 10+550, km 10+800 y km 10+950.



Fotografía 10. Depósitos de vertiente
(Registro tomado por GICA SAS en 2021)

Para el caso de los depósitos aluviales, varían con relación a los depósitos de vertiente mencionados. Por lo general se presentan como depósitos matriz soportados, con la presencia de bloques de composición variable que alcanza tamaños de 0.40 m de diámetro, se encuentra de dos (2) tipos, unos asociados a la base de las quebradas, donde el depósito es activo y tiene aporte constante del afluente, como los encontrados en el km 6+750 y km 8+800, o aquellos cuyo depósito fue en un evento y actualmente no se encuentran con aporte constante, siendo en algunos casos terrazas aluviales que se encuentran colgadas a lo largo de la vía. La característica principal de estos afluentes se basa en que los bloques que presenta son redondeados debido al fuerte transporte que han sufrido. En la Fotografía 11 se puede observar estos tipos de depósitos aluviales que se nombran aquí.



Fotografía 11. Depósitos aluviales de la zona
(Registro tomado por GICA SAS en 2021)

3.5 GEOMORFOLOGÍA LOCAL


La zona está caracterizada por presentar múltiples geoformas que dependen del tipo de ambiente al cual pertenezcan, que pueden presentarse como ambiente estructural de acuerdo a las contribuciones estructurales que se presenten en la zona, ambiente denudacional, que se asocia a formaciones asociadas principalmente a la erosión natural y por último ambiente fluvial, el cual está determinado por la sedimentación asociada a ríos y quebradas, estas se describen a continuación.

3.5.1 AMBIENTE DENUDACIONAL

En este tipo de ambiente, se encuentran varios tipos de geoformas que aplican a las encontradas en la zona, donde muchas de ellas están asociadas a escarpes o laderas erosivas que permiten la evolución del terreno debido a su elevada pendiente, estas son las siguientes.

3.5.1.1 Escarpe de erosión mayor

Corresponde a una ladera abrupta o a desplome de altura variable que puede formarse por distintas causas: tectónicas, por la abrasión (erosión fluvial y marina), por procesos gravitacionales, glaciales, tectógenos. Eventualmente de longitud corta a larga, de forma cóncava, convexa y recta, con pendiente escarpada a muy escarpada.

	VOLUMEN III. GEOLOGIA PARA INGENIERIA	
	INFORME	
	Documento: GICA-630-DAB.-CAMP.-VOL III-INF -001-Rev0	
	Medellín, Antioquia, 5 de noviembre de 2021	Página 14

3.5.1.2 Escarpe de erosión menor

Es una ladera abrupta o a desplome de longitud corta a larga, de forma cóncava-convexa y eventualmente recta, con pendiente escarpada a muy escarpada, originada por socavación fluvial lateral o por procesos de erosión y movimientos en masa remontantes a lo largo de un drenaje.

3.5.1.3 Ladera erosiva

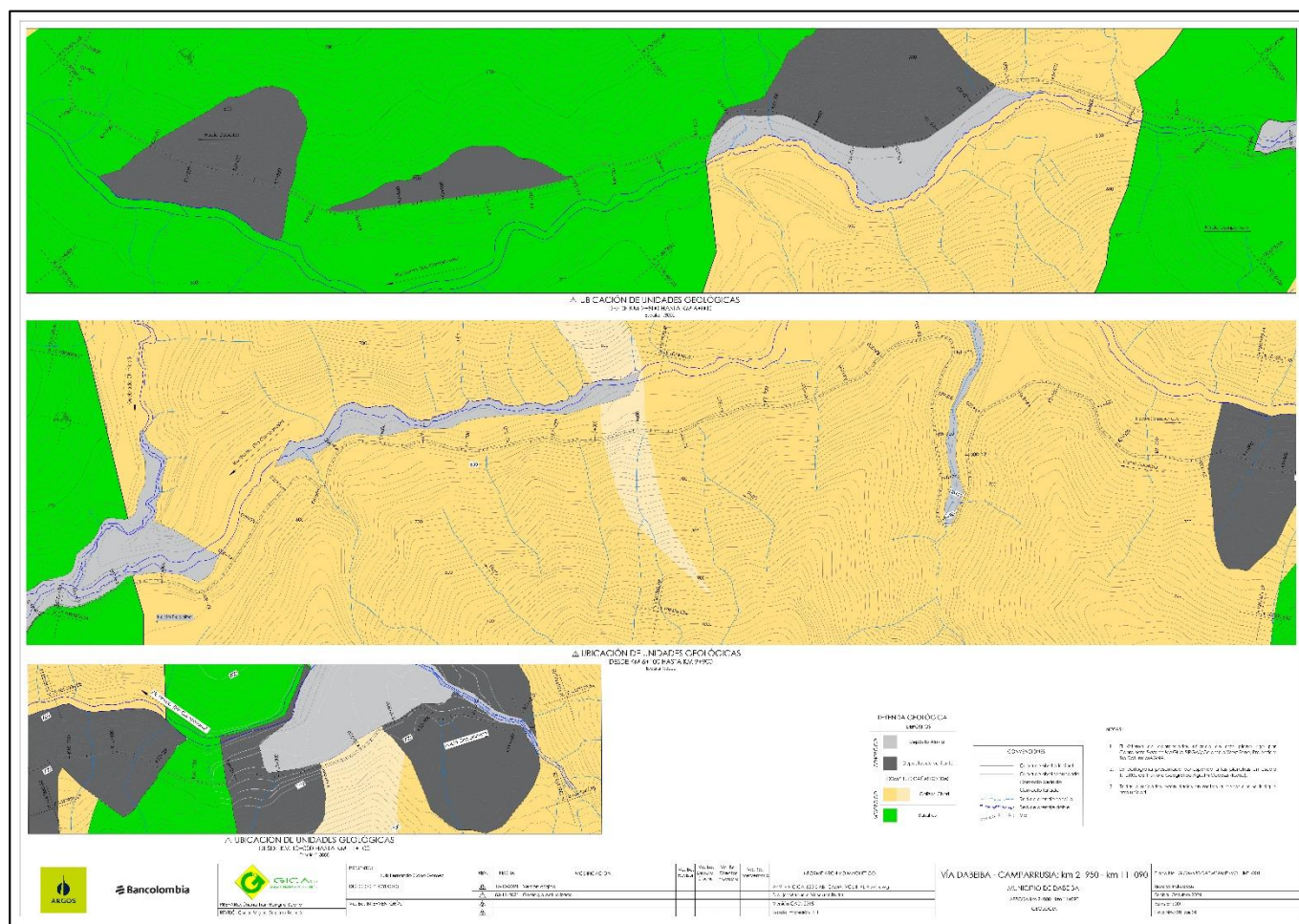
Corresponde a superficies del terreno de pendientes muy inclinadas a escarpadas, de longitudes moderadas a extremadamente largas, de formas planas, cóncavas y convexas, patrón de drenaje típico dendrítico a subparalelo. Presenta procesos erosivos intensos como cárcavas, surcos y solifluxión, sobre materiales de suelo o roca. Estas laderas no necesariamente están asociadas a una geoforma mayor o una estructura.

3.5.1.4 Terrazas sobreelevadas “colgadas”

Plano o superficie denudada de morfología alomada y colinada, de pendientes suavemente inclinadas que aparecen como relictos de antiguas terrazas y modelados fluviales, emplazados a una altura mayor que el nivel base del cauce actual. Corresponden a zonas afectadas por tectonismo o áreas donde los procesos de erosión son más influyentes que los de depositación.

3.5.2 AMBIENTE FLUVIAL

En este caso, es posible identificar este ambiente debido a que la zona está controlada por un afluente importante, generalmente su cauce está bien definido y ocasionalmente ha podido generar depósitos bien marcados en la zona como terrazas aluviales.



3.5.2.1 Cauce aluvial

Canal de forma irregular excavado por erosión de las corrientes perennes o estacionales, dentro de macizos rocosos y/o sedimentos aluviales. Dependiendo de factores como pendiente, resistencia del lecho, carga de sedimentos y caudal, pueden persistir por grandes distancias. Los cauces rectos se restringen a valles estrechos en forma de V, generalmente relacionados al control estructural de fallas o diaclasas. Estos cauces cuando recorren grandes distancias pueden formar lagunas y rápidos. Cuando las corrientes fluyen en zonas semiplanas a planas (llanura aluvial), los cauces son de tipo meándrico o divagante, como producto del cambio súbito de la dirección del flujo. Dependiendo de la cantidad de carga de sedimentos, la pendiente y caudal pueden llegar a formar sistemas anastomosados, trenzados, divergentes y otras unidades asociadas.

3.5.2.2 Terraza de acumulación

Superficie elongada, plana a suavemente ondulada, modelada sobre sedimentos aluviales, que se presenta en forma pareada, limitada por escarpes de diferente altura a lo largo del cauce de un río. Su origen está relacionado a procesos de erosión y acumulación aluvial, dentro de antiguas llanuras de inundación. Su formación incluye fases de acumulación, incisión y erosión vertical. Estas terrazas pueden ser parte de cauces rectos a meándricos. Su depósito está constituido por gravas arenas, limos y arcillas, con disminución del tamaño a medida que se aleja del cauce del río.

3.5.3 Ambiente estructural

Este ambiente está relacionado con aquellas geoformas que son formadas por procesos tectónicos principalmente, donde las estructuras como fallas, han afectado la morfología de la zona generando laderas estructurales, entre otras.

3.5.3.1 Ladera contrapendiente (Slcp)

Superficie en declive, de morfología regular a irregular, definida por planos (estratos, foliación, diaclasamiento entre otros) dispuestos en sentido contrario a la inclinación del terreno. Puede presentarse con longitud larga a extremadamente larga y con pendientes suavemente inclinadas a muy escarpadas. Esta geoforma no está asociada a ninguna estructura de tipo regional (anticlinal, sinclinal, monoclinal, entre otros).

3.5.3.2 Ladera estructural (Sle)


Superficie en declive, de morfología regular a irregular, definida por planos preferentes (estratos, foliación, diaclasamiento entre otros) a favor de la pendiente del terreno. De longitud larga a extremadamente larga y con pendientes suavemente inclinadas a escarpadas. Esta geoforma no está asociada a ninguna estructura de tipo regional (anticlinal, sinclinal, monoclinal, entre otros).

3.6 PROCESOS MORFODINÁMICOS

Los procesos morfodinámicos corresponden a eventos puntuales generados en las unidades presentes en la zona de estudio, estos están representados como erosión, deslizamientos, socavación y/o movimientos en masa que pueden variar de dimensiones dependiendo de las características de los materiales. En este capítulo se describen cada uno de los sectores con procesos morfodinámicos identificados en la zona de estudio, establecidos como sitios en observación debido a sus características.

En general, en todo el tramo se presentan rocas estratificadas (calizas y chert) y masivas (basaltos) que tienen estructuras como diaclasamiento, bloques de rocas que tienden a desprenderse con facilidad. Esto, sumado a la fuerte erosión que se da en la zona y las elevadas pendientes asociadas con la vía, conlleva a encontrar lugares con desprendimiento de bloques en los sitios donde afloran estas unidades, por lo tanto la caída de bloques es uno de los principales procesos asociados a diaclasamiento y erosión.

De igual manera, la erosión es otro de los procesos recurrentes debido a que en general se encuentran taludes verticales por el alta pendiente de la zona, donde se localizan paredes mayores a 3.00 m de altura que tienden a soltar partículas o bloques hacia la vía o zonas de menor elevación como en los afluentes hídricos.

	VOLUMEN III. GEOLOGIA PARA INGENIERIA	
	INFORME	
	Documento: GICA-630-DAB.-CAMP.-VOL III-INF -001-Rev0	
	Medellín, Antioquia, 5 de noviembre de 2021	Página 16



Fotografía 12. Taludes erosivos y caída de bloques km 4+500
(Registro tomado por GICA SAS en 2021)

Hacia el km 5+950, se aprecia un deslizamiento de pequeñas dimensiones el cual se asocia a terrazas aluviales matriz soportadas, las cuales tienen un porcentaje de matriz del 70.00% con 30.00% de bloques redondeados. Este sitio muestra un deslizamiento de 3.00 m de ancho con 4.00 m de alto, con acumulación de materiales hacia la vía; el cual ha sido removido en ocasiones anteriores, pero dejando una parte de este sobre el talud.

Posteriormente, en el km 6+800 asociados a la quebrada Caliche, se encuentran depósitos aluviales relacionados a eventos torrenciales de la quebrada, los cuales han depositado materiales sobre la vía, obstaculizando el box culvert que se encuentra en el sitio y permitiendo una depositación dentro y sobre el mismo. En este sector, el aporte de sedimentos es alto.



Fotografía 13. Alta sedimentación en km 6+800, quebrada Caliche
(Registro tomado por GICA SAS en 2021)

Entre los km 9+300 y km 9+500, se encuentran rocas estratificadas en contrapendiente que producen y son susceptibles a la caída de bloques, donde producto del diaclasamiento la roca se encuentra densamente fragmentada. Los bloques son de diversos tamaños, produciendo perturbaciones en la vía o el bloqueo parcial de esta.



Fotografía 14. Bloques con posible caída a la vía
(Registro tomado por GICA SAS en 2021)

En el km 10+800, se encuentra un pequeño deslizamiento antiguo de 3.00 m de ancho con 4.00 m de altura, donde se aprecia un desprendimiento de depósito de vertiente en zona de alta pendiente, está muestra claramente que la alta inclinación de la ladera muchas veces no es adecuada para soportar los depósitos que allí se presentan.



Fotografía 15. Deslizamiento en depósitos de vertiente
(Registro tomado por GICA SAS en 2021)

3.7 AMENAZA GEOLÓGICA

La amenaza geológica está caracterizada por presentar elementos que dependen principalmente de tres (3) factores, los cuales son movimientos en masa, inundaciones y avenidas torrenciales, cada uno de estos presenta características distintas, debido a que pertenecen a diferentes orígenes y por ende representan la misma cantidad de categorías principales de estas amenazas, las cuales se describen a continuación.

3.7.1 AMENAZA POR INUNDACIÓN

Este tipo de amenaza está relacionada con afluentes, ríos o quebradas, los cuales durante su recorrido tienden a elevar su caudal, generando zonas de inundación a lo largo de su cauce y zonas aledañas, en el caso de la zona de estudio, el principal afluente corresponde al río Urama y a drenajes secundarios como la quebrada Caliche.

Dada las rocas y la morfología de la zona de estudio, los ríos y quebradas son encañonadas, con paredes elevadas como límites laterales que no permiten que haya un aumento del afluente con desborde hacia sus laterales, por lo que la amenaza por inundación en la zona tiende a ser baja o nula. No se presentan lugares a lo largo del tramo que puedan presentar procesos de desbordamiento o inundación, por lo que simplemente, el crecimiento de los drenajes es en su cauce en vertical.



Fotografía 16. Encañonamiento del río Urama
(Registro tomado por GICA SAS en 2021)

3.7.2 AMENAZA POR AVENIDAS TORRENCIALES

Para este caso se tienen dos (2) tipos de amenaza por avenidas torrenciales que se presentan de acuerdo con las clases de afluentes presentes, donde el primero se asocia a la quebrada Caliche localizada en el km 6+800, presentando evidencias de recientes avenidas torrenciales. En este punto, se observan múltiples eventos que han afectado la capacidad hidráulica del box culvert de la zona. Adicionalmente, hay evidencia de volcamiento de

puentes que existieron en este lugar y el transporte de bloques de roca, que representan la alta energía en el momento del evento.

En este punto, es recurrente la situación, debido a que se tienen registros históricos por parte de los habitantes de la zona, donde la quebrada Caliche recorre un sector de pendiente elevada, permitiendo que el agua transcurra a gran velocidad, transportando bloques y sedimentos hasta encontrar donde depositarlos.



Fotografía 17. Sedimentos por avenidas torrenciales, quebrada Caliche
(Registro tomado por GICA SAS en 2021)

El segundo de los afluentes causante de este tipo de eventos corresponde al principal de la zona, el río Urama, el cual es un drenaje de gran energía que transporta sedimentos gruesos en gran parte del tiempo. Debido a la topografía abrupta del sector y la alta pluviosidad, existe una importante susceptibilidad a la ocurrencia de deslizamientos, los cuales, al generarse en zonas cercanas al afluente, puede llegar a generar un represamiento del mismo, llegando así a formar un aumento en el nivel del río, formando así un flujo de carácter torrencial. Estos pueden darse en diferentes lugares del trazado del río debido a su cauce encañonado.



Fotografía 18. Cañon del río Urama
(Registro tomado por GICA SAS en 2021)

3.7.3 AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA

Para el caso de las amenazas por movimientos en masa, hay que tener en cuenta diversos factores que intervienen como elementos independientes en estos eventos, como por ejemplo la geología, la cual depende del estado de las rocas encontradas en la zona, ya que, si el material encontrado corresponde a suelo, su aporte al desprendimiento de materiales tiene mayor probabilidad.

De acuerdo con la Ley 1523 de 2012, la amenaza se define como peligro latente de que un evento físico de origen natural, o causado, o inducido por la acción humana de manera accidental, se presente con una severidad suficiente para causar pérdida de vidas, lesiones u otros impactos en la salud, así como también daños y pérdidas en los bienes, la infraestructura, los medios de sustento, la prestación de servicios y los recursos ambientales.

3.7.3.1 Evaluación de la susceptibilidad

3.7.3.1.1 Metodología

La metodología empleada para realizar el mapa de amenazas por movimiento en masa se basa en un método heurístico, que parte de la definición inicial de la susceptibilidad a los movimientos en masa. En términos generales, la susceptibilidad se define como la predisposición potencial o actual del terreno a partir de sus propiedades intrínsecas a la ocurrencia de movimientos en masa.

En el modelo empleado para generar el mapa de susceptibilidad, cada uno de los elementos que componen los mapas temáticos base (geología, pendientes y procesos morfodinámicos) son evaluados en el rango entre uno (1) y nueve (9), donde uno (1) corresponde a una susceptibilidad baja y nueve (9) a la condición alta, de acuerdo a la densidad de procesos erosivos y procesos de remoción en masa que se identificaron, además de la susceptibilidad que cada una de ellas presenta en la ocurrencia de este tipo de procesos. La calificación dada a cada una de las variables depende de las condiciones propias de cada una de ellas para generar este tipo de procesos. A continuación, se presenta la calificación dada:

Tabla 2. Calificación de la variable geología

UNIDAD GEOLÓGICA	CALIFICACIÓN
Caliza	6
Chert	5
Basaltos	4
Depósitos de vertiente	7
Depósitos aluviales	2

(Elaborado por GICA SAS)

Tabla 3. Calificación de la variable pendiente

RANGO DE PENDIENTES	CALIFICACIÓN
0°-15°	2
15°-30°	4
30°-45°	6
> 45°	8

(Elaborado por GICA SAS)

De igual manera, y a pesar de que cada variable está relacionada a la posibilidad de generación de procesos erosivos y movimientos en masa, se tuvo en cuenta los diferentes fenómenos encontrados dentro del tramo, debido a que son procesos morfodinámicos que existen en la actualidad y que corresponden a un componente de gran importancia dentro del municipio. De esta manera los valores asignados para cada proceso son los siguientes.

Tabla 4. Calificación de la variable procesos morfodinámicos

PROCESO MORFODINÁMICO	CALIFICACIÓN
Erosión	2
Surcos	4
Cárcavas	6
Deslizamientos	8

(Elaborado por GICA SAS)

La metodología empleada para la valoración de la susceptibilidad es la denominada "Álgebra de mapas", en sistema de información geográfica SIG y consiste en términos generales, en asignar un valor ponderado a cada una de las variables (geología, pendientes y procesos) y a cada uno de los indicadores que la componen, mediante la función de "Raster calculation", por lo que cada uno de los mapas temáticos se deben encontrar en formato RASTER.

El valor o peso asignado para cada una de las variables se asocia a la relación que existe entre dicha variable y la ocurrencia de los procesos morfodinámicos; y se obtiene a partir de la información recolectada durante el trabajo de campo.

El mapa de susceptibilidad se elaboró mediante la siguiente operación en la cual se tuvieron en cuenta los valores de los elementos ya mencionados por medio de la siguiente ecuación:

$$(\text{Procesos Morfodinámicos} \times 0.40) + (\text{Unidades Geológicas} \times 0.20) + (\text{Pendientes} \times 0.40)$$

El mapa de susceptibilidad responde a la superposición de los mapas anteriormente mencionados y se reclasifica en tres (3) rangos, con el fin de determinar la susceptibilidad. Estos rangos se describen a continuación:

Tabla 5. Rangos de susceptibilidad

SUSCEPTIBILIDAD	RANGO
Alta	7 - 9
Media	4 - 7
Baja	1 - 4

(Elaborado por GICA SAS)

La Figura 8 y Figura 9 ilustran los rangos de susceptibilidad alta, media y baja obtenido para el corredor vial, a través del algebra de mapa de las variables anteriormente mencionadas.

3.7.3.1.2 Susceptibilidad Alta

Este rango se encuentra ampliamente distribuido dentro del tramo, cubriendo principalmente a partir del km 5+500, donde se empieza a encontrar con mayor intensidad. La característica de este punto son las altas pendientes de la zona, con sectores de fuerte erosión están asociadas a esta condición, donde las pendientes ya sean en suelos o roca, mantienen una fuerte inclinación que conllevan a la aparición de procesos morfodinámicos como deslizamientos.

Estas zonas desde el punto de vista geológico se encuentran asociadas a la formación Penderisco, la cual exhibe suelos residuales con características limo arcillosas. Además, presenta también rocas altamente fracturadas producto del control estructural dado por los sistemas de fallas regionales que controlan la zona. Desde el punto de vista geomorfológico, en la zona predominan unidades de tipo estructural, los cuales presentan vertientes moderadas a largas, de pendientes predominantemente altas.

Se destaca que en estas zonas se evidencia la ocurrencia de diferentes tipos de procesos morfodinámicos, donde la mayor parte de estos son deslizamientos de tipo rotacional y traslacional, que demuestran las condiciones dinámicas del sector.

3.7.3.1.3 Susceptibilidad Media

En este rango de susceptibilidad igualmente se localiza buena parte del tramo, presentándose de forma aleatoria, pero con un mayor predominio en la totalidad de la zona.

Desde el punto de vista geológico, esta zona se asocia principalmente a la formación Penderisco, el cual exhibe suelos asociados a depósitos de vertiente y residuales, con una alta susceptibilidad a los procesos de erosión superficial. Desde el punto de vista geomorfológico, predominan unidades con un rango de pendientes menor, pero sobre las cuales igualmente se imprimen las características estructurales dominantes en la región.

En estos lugares los procesos de erosión superficial es el principal proceso morfodinámico, sin embargo, localmente se presentan algunos movimientos en masa, pero con afectaciones menores.

3.7.3.1.4 Susceptibilidad baja

Este rango de susceptibilidad corresponde al encontrado inicialmente en el tramo vial, donde se encuentran controlados principalmente por superficies planas asociadas a depósitos o terrazas aluviales, además de algunos depósitos de vertiente de pendiente media a baja.

3.8 FUENTES DE MATERIALES

De acuerdo con la visita de campo, no se evidenciaron fuentes de materiales activas que permitan la extracción de material con fines de aprovechamiento en los diferentes usos de las obras de infraestructura vial, no sin aclarar que, de acuerdo a la litología que compone la Formación Penderisco, miembro Nutibara y sus variaciones litológicas, se podría usar dicho material proveniente de los cortes de talud para los diferentes usos de las obras de construcción vial siempre y cuando, se realice una caracterización de los materiales que determine su potencial uso.

Existen alejados de la zona, unos sitios de fuentes de materiales que pueden ser usados como materiales para las obras implementadas aquí y corresponden a dos sectores fuera del municipio:

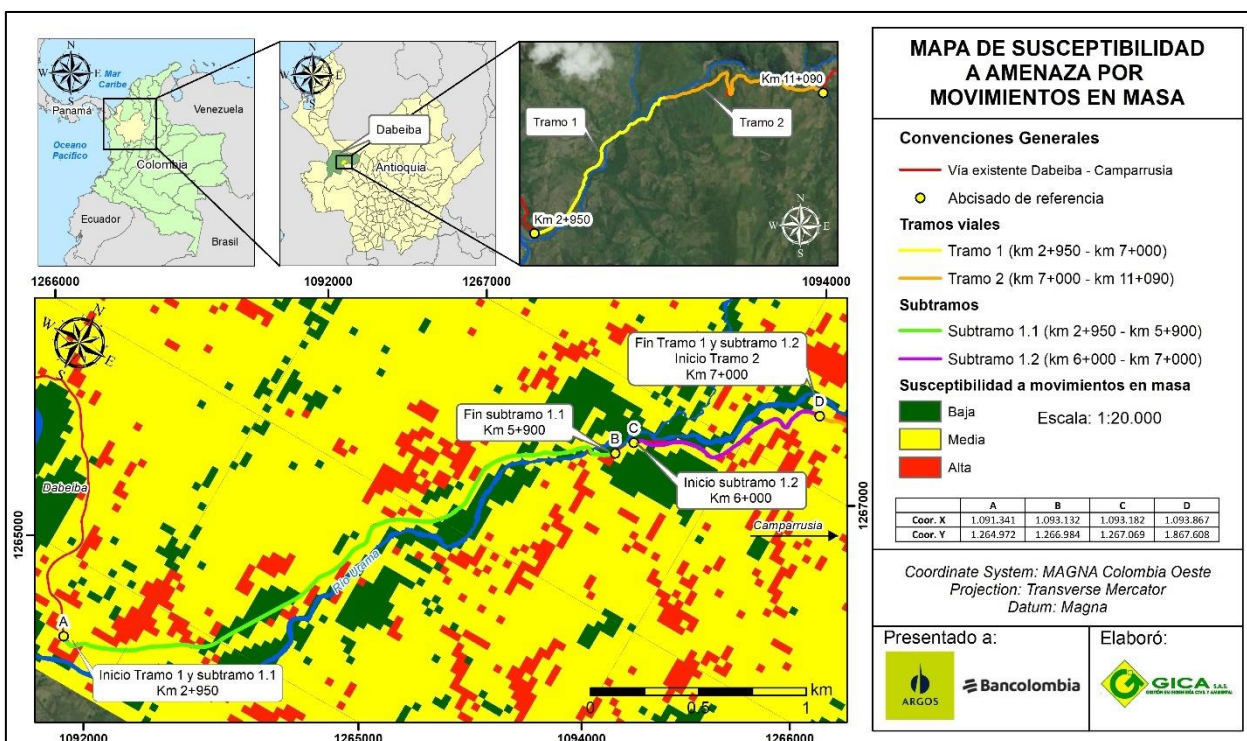


Figura 8. Mapa de susceptibilidad a amenaza por movimientos para el tramo 1 (km 2+950 a km 7+000)
(Elaborado por GICA SAS)

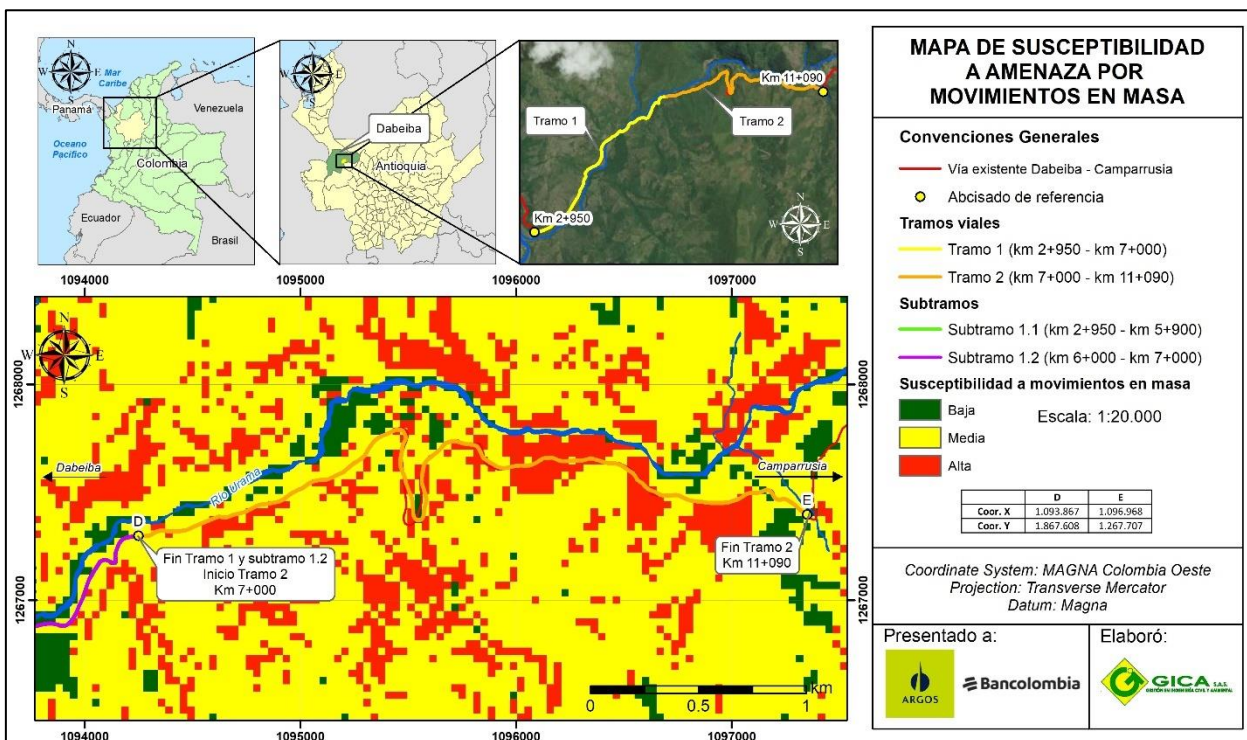


Figura 9. Mapa de susceptibilidad a amenaza por movimientos en masa para el tramo 2 (km 7+000 a km 11+090)
(Elaborado por GICA SAS)

El primero se ubica hacia el norte en el municipio de Mutatá, donde se localiza fuentes de materiales del río La Fortuna, en el cual existe una concesión minera N° 5338 de 53.39 Ha, donde se realiza explotación de los materiales de río como fuente de materiales para agregados pétreos. Las coordenadas geográficas WGS-84 son 7°27'18.85"N y

76°32'56.94''O, con una altura de 69 m.s.n.m. Las coordenadas geográficas UTM sistema Bogotá son: 131 6923.9839 N y 728925.5955 E. La zona de influencia de la explotación minera corresponde a tierras bajas inundables, constituidas por las vegas del río La Fortuna, las cuales presentan un ecosistema de Bosque Húmedo Tropical de alta biodiversidad. Esta zona se encuentra muy afectada por usos del suelo tales como la ganadería y la agricultura intensiva de banano, los que han generado una drástica degradación del medio ambiente, principalmente la tala de bosques primarios y secundarios. Se trata de un medio ambiente relativamente homogéneo cruzado por varias fuentes hídricas de menor caudal, las cuales vierten sus aguas al río la Fortuna, que desemboca en el río Chigorodó de mayor caudal, y que desemboca, a su vez, en el golfo de Urabá. El río La Fortuna presenta un fuerte caudal debido a su ubicación en el piedemonte de las últimas estribaciones septentrionales de la cordillera Occidental. Por esto recibe bastantes materiales de las tierras altas durante las lluvias torrenciales, los cuales se depositan en estas tierras más bajas y planas, conformando un tramo del río con abundantes depósitos de materiales pétreos, gravas, gravillas y arena. Este dista de la zona de estudio aproximadamente 110.00 km (Figura 10).

El otro de los lugares caracterizados como fuente de materiales, se localiza hacia el sur, en jurisdicción del municipio de Santa Fe de Antioquia, a borde del río Cauca, explotando materiales de la cañada Juan Martín y del Cauca. Esta corresponde a Construcciones e inversiones empresariales S.A.S con título vigente H7130005 según la Agencia Nacional de Minería. En este sitio se explotan los diversos materiales clásticos que transportan los diferentes ríos que son depositados en su llanura aluvial, tanto para el río Cauca como para la cañada Juan Martín, estos materiales tienden a ser areno gravosos generalmente. La fuente dista de la zona de estudio aproximadamente 120.00 km (Figura 11).

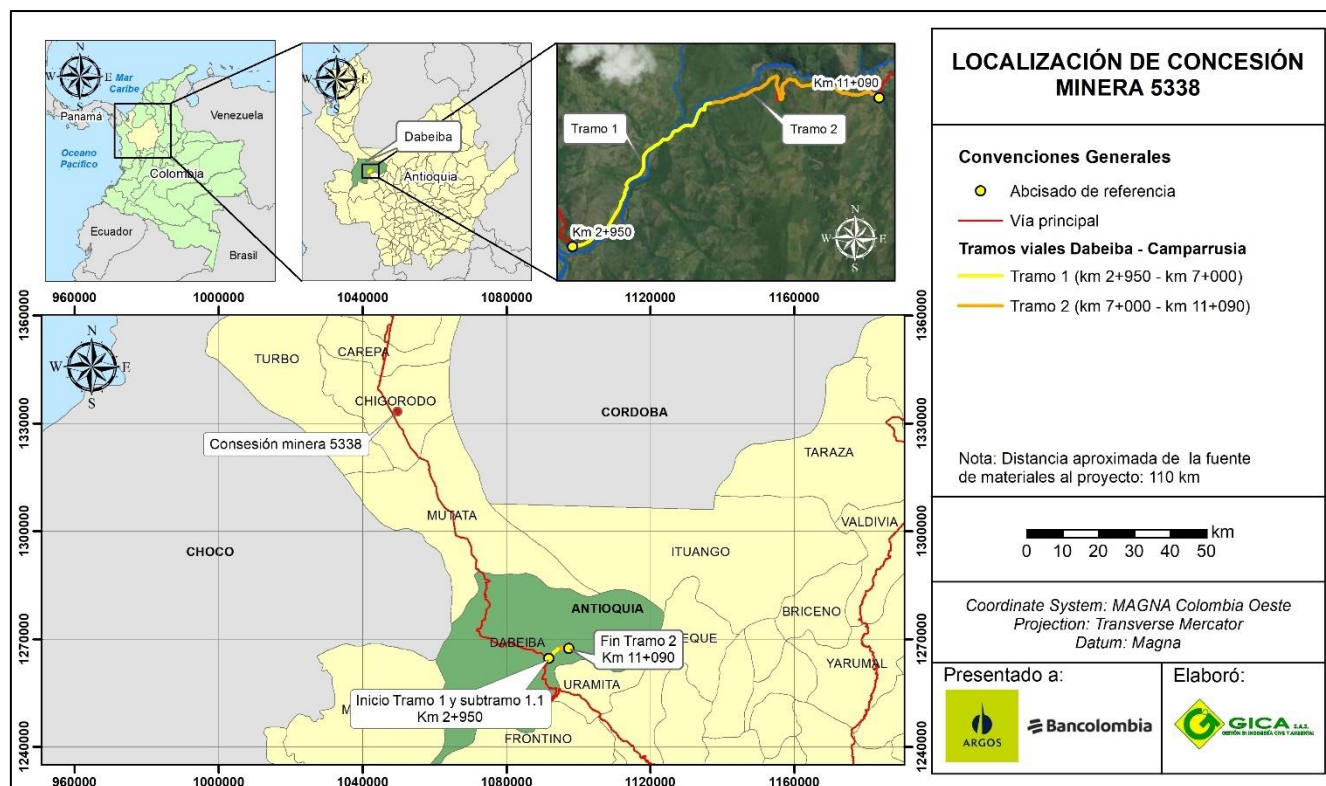


Figura 10. Localización de concesión minera localizada en el municipio de Chigorodó, Antioquia
(Elaborado por GICA SAS)

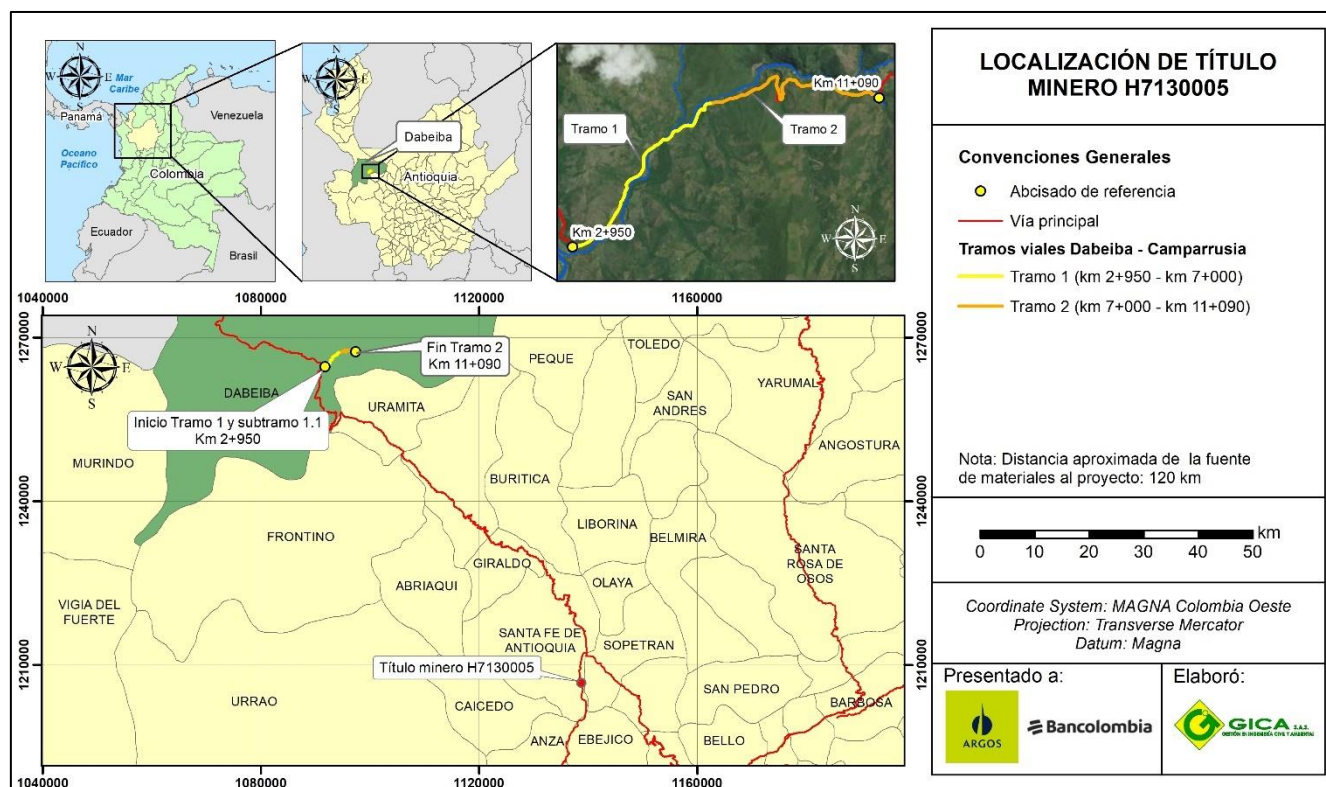


Figura 11. Localización de título minero en el municipio de Santa Fe de Antioquia, Antioquia
(Elaborado por GICA SAS)

Para ambos casos se anexa la documentación disponible de licencias ambientales y certificado de registro minero.

4 CONCLUSIONES

Realizado el presente informe, se concluye lo siguiente:

- Teniendo presente los tipos de roca a lo largo del corredor vial (calizas, chert y basaltos) pertenecientes al Complejo Cañas Gordas, está es una vía donde se presentan rocas con comportamientos geomecánicos diferentes y que a pesar de estar sometidas a los mismos efectos ambientales desarrollan diferentes procesos morfodinámicos como movimientos en masa sencillos y compuestos, erosión superficial con carcavamiento, y caída de bloques y rocas.
- Teniendo en cuenta que a lo largo del corredor vial se presentan múltiples afloramientos conformados por calizas, estas zonas son altamente susceptibles a procesos de meteorización química, por lo cual se desarrollan exposiciones de roca con oquedades. Adicionalmente, la estratificación de estas rocas, que en algunos casos se encuentra plegada y generan superficies en contrapendiente, posibilitan la caída de material.
- Las zonas de la vía compuestas por cherts son menos susceptibles a procesos de meteorización, debido a que están conformadas casi en su totalidad por cuarzo. No obstante, este tipo de roca tiende a ser muy fracturada producto de su formación y estructura, generando afloramientos densamente fracturados que ocasionalmente presentan caída de rocas y hasta bloques.
- Existen capas de suelos que generalmente tienen pendientes elevadas asociadas a los cortes de la vía. Estos corresponden a depósitos que pueden variar de vertientes a aluviales (los cuales están representados por terrazas). Ambos tienden a conformar mezclas de suelos y bloques de rocas, donde predomina el contenido de suelo, siendo materiales poco compactados, fácilmente erodables y susceptibles a movimientos en masa. Estos suelos, aunque no representan la totalidad del tramo en estudio, abarcan extensiones importantes del corredor vial en la cuales se pueden presentar fácilmente desprendimiento de materiales.
- Debido a la alta densidad de controles estructurales que presenta la zona de estudio a nivel regional, con complejos sistemas de fallas como el sistema de fallas de Dabeiba, los macizos rocosos se encuentran

fuertemente fracturados. Esto conlleva a que en la zona se generen procesos morfodinámicos reiterativos como la caída de fragmentos de roca o desarrollo de movimientos en masa.

- Debido al grado de encajonamiento que tienen algunos afluentes en la zona, limitados por paredes verticales, son drenajes con posibilidad de eventos torrenciales que pueden transportar grandes cargas de sedimentos. Por ende, a pesar de que las amenazas por avenidas torrenciales no están contempladas en el área de interés, es posible que este fenómeno se genere en el afluente principal (río Urama), por efectos de procesos morfodinámicos en las laderas de éste.
- A lo largo del corredor vial se presentan varios sitios que, en caso de una posible ocurrencia de falla, pueden generar la afectación parcial o total de la vía, dichos puntos han sido denominados sitios de atención. Aunque estos lugares no presentan evaluación de estabilidad ni propuestas de diseños ya que no está contemplado en el alcance del proyecto, se recomienda sean monitoreados de manera continua.

5 ANEXOS

Anexo 1. Mapa unidades geológicas (GICA-630-DAB.-CAMP.-VOL III-PL-001-Rev0)

Anexo 2. Localización de fuente de materiales CM5338.

Anexo 3. Localización de fuente de materiales H6457005.

Anexo 4. Registro minero construcciones ENER 2021.


Anexo 5. Resolución 130HX - licencia ambiental 7130.

Anexo 6. Licencia ambiental La Fortuna (Mutatá).

6 REFERENCIAS


- Álvarez, E. y González, H., 1978. Geología y geoquímica del Cuadrángulo I-7 (Urrao). Ingeominas. Informe 1761. 347p. Mapa escala 1:100.000. Medellín.
- Álvarez, J., 1970. Memorandos Geológicos internos. INGEOMINAS Medellín. Inédito.
- Buchely, F., Parra, E., Castillo, H., González, F., Dávila, C., y Romero, O., 2009. Realización de la cartografía geológica y muestreo geoquímico en las planchas 144, 145, 128, 129, 113 y 114 (1580 km) 172p. y anexos. Contrato No. 390 de 2007. Bogotá.
- González, H., 2001. Memoria explicativa del Mapa Geológico del Departamento de Antioquia. Escala 1:400.000. INGEOMINAS, 240 p. Medellín.
- González, H. y Londoño, A.C., 2003. Geología de las Planchas 129 Cañasgordas y 145 Urrao. Escala 1:100.000. Memoria explicativa. INGEOMINAS. 117p. Bogotá.
- Maya, M., González, H., 1995. Unidades litodémicas en la Cordillera Central de Colombia, Bol. Geol. INGEOMINAS, vol. 35, N°2,3, p.43-57.
- Mejía M. y Salazar G. 1989. Geología de la plancha 114 (Dabeiba) y parte W de la 115 (Toledo). Ingeominas, Medellín, 111p.
- Mejía, M., y Salazar. G., 1988. Geología de la Plancha 114 Dabeiba. INGEOMINAS. Informe interno. 236p. Medellín.
- Mejía, M.; Salazar, G. 1989 (publicado 2007). Memoria explicativa de la Geología de la Plancha 114 (Dabeiba) y parte W de la 115 (Toledo). Escala 1:100.000. INGEOMINAS. 111p. Medellín.
- Rodríguez, G., Zapata, G., y Gómez, J. F. 2013. Geología de la Plancha 114 Dabeiba. Servicio Geológico Colombiano.
- Rodríguez, G., Zapata, G., y Gómez, J. F. 2010. Geología de la parte oriental de la Plancha 114 Dabeiba. INGEOMINAS. Medellín.
- Toussaint, J.F. 1996. Evolución geológica de Colombia durante el Cretácico: Universidad Nacional de Colombia. 277p. Medellín – Colombia.
- Toussaint, J.F., y Restrepo, J.J., 1994. The Colombian Andes during Cretaceous times: in Cretaceous tectonics of the Andes, J.A. Salfity Editor, Vieweg. p61-100.
- Zuluaga, J. E., y Hoyos, P. 1978. Estudio Geológico del Grupo Cañasgordas: Sección Boquerón del Toyo Dabeiba. Univ. Nal. Medellín. Tesis de grado, inédita, 147.

ANEXO 1. MAPA UNIDADES GEOLÓGICAS (GICA-630-DAB.-CAMP.-VOL III-PL-001-REV0)


	VOLUMEN III. GEOLOGIA PARA INGENIERIA	
	INFORME	
	Documento: GICA-630-DAB.-CAMP.-VOL III-INF -001-Rev0	
	Medellín, Antioquia, 5 de noviembre de 2021	Página 26

ANEXO 2. LOCALIZACIÓN DE FUENTE DE MATERIALES CM5338


ANEXO 3. LOCALIZACIÓN DE FUENTE DE MATERIALES H7130005

	VOLUMEN III. GEOLOGIA PARA INGENIERIA	
	INFORME	
	Documento: GICA-630-DAB.-CAMP.-VOL III-INF -001-Rev0	
	Medellín, Antioquia, 5 de noviembre de 2021	Página 28


ANEXO 4. REGISTRO MINERO CONSTRUCCIONES ENER 2021.

	VOLUMEN III. GEOLOGIA PARA INGENIERIA	
	INFORME	
	Documento: GICA-630-DAB.-CAMP.-VOL III-INF -001-Rev0	
	Medellín, Antioquia, 5 de noviembre de 2021	Página 29

ANEXO 5. RESOLUCION 130HX - LICENCIA AMBIENTAL 7130.

	VOLUMEN III. GEOLOGIA PARA INGENIERIA	
	INFORME	
	Documento: GICA-630-DAB.-CAMP.-VOL III-INF -001-Rev0	
	Medellín, Antioquia, 5 de noviembre de 2021	Página 30

ANEXO 6. LICENCIA AMBIENTAL LA FORTUNA (MUTATÁ).

	VOLUMEN III. GEOLOGIA PARA INGENIERIA	
	INFORME	
	Documento: GICA-630-DAB.-CAMP.-VOL III-INF -001-Rev0	
	Medellín, Antioquia, 5 de noviembre de 2021	Página 31



**MEJORAMIENTO DE LA VÍA DABEIBA - CAMPARRUSIA
EN LA SUBREGIÓN OCCIDENTE DEL DEPARTAMENTO
DE ANTIOQUIA
km 2+950 – km 11+090**

**VOLUMEN IV.
ESTUDIO DE SUELOS PARA EL DISEÑO DE
FUNDACIONES DE PUENTES, OBRAS DE
DRENAJE Y OTRAS ESTRUCTURAS DE
CONTENCIÓN**

INFORME TÉCNICO

DOCUMENTO
GICA-630-DAB.-CAMP.-VOL IV-INF-001-Rev0



Medellín, 05 de noviembre de 2021



LISTA DE DISTRIBUCIÓN

Copias de este documento han sido entregadas a dependencias de ARGOS y BANCOLOMBIA según se indica a continuación. Las observaciones que resulten de su revisión y aplicación deben ser informadas a esta oficina para proceder a realizar sus modificaciones:

DEPENDENCIA	Nº de Copias
ARGOS	1
BANCOLOMBIA	1
GICA S.A.S.	1

ARGOS Y BANCOLOMBIA son responsables de administrar las copias correspondientes a este documento dentro de sus grupos de trabajo.



Calle 42 A No. 63C-38 Conquistadores
Teléfono (57) 604-2351092
E-mail: proyectosgica@gicasas.com.co
MEDELLÍN, COLOMBIA – SUDAMÉRICA

	ESTUDIO DE SUELOS PARA EL DISEÑO DE FUNDACIONES DE PUENTES, OBRAS DE DRENAJE Y OTRAS ESTRUCTURAS DE CONTENCIÓN	
	INFORME	
	Documento: GICA-630-DAB.-CAMP.-VOL IV-INF-001-Rev0	
	Medellín, Antioquia, 05 de noviembre de 2021	Página ii

ÍNDICE DE MODIFICACIONES

REVISIÓN	CAPÍTULO MODIFICADO	FECHA DE MODIFICACIÓN	OBSERVACIONES
0	N/A	05/11/2021	Versión Original

ESTADO DE REVISIÓN Y APROBACIÓN

TIPO DE DOCUMENTO	INFORME TÉCNICO			
NOMBRE DEL DOCUMENTO	VOLUMEN IV: ESTUDIO DE SUELOS PARA EL DISEÑO DE FUNDACIONES DE PUENTES, OBRAS DE DRENAJE Y OTRAS ESTRUCTURAS DE CONTENCIÓN			
CÓDIGO DEL DOCUMENTO	GICA-630-DAB.-CAMP.-VOL IV-INF-001-Rev0			
REVISIÓN N°	PROFESIONAL	0	1	2

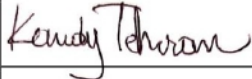
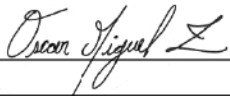
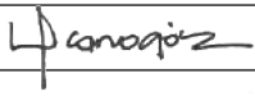
ELABORÓ	Nombre	Kandy Manuela Teheran Ochoa	X		
	Cédula de ciudadanía	1.118.858.262			
	Matrícula Profesional	20223-354229 CES			
	Firma				
	Fecha	05/11/2021			
	Nombre				
	Cédula de ciudadanía				
	Matrícula Profesional				
	Firma				
	Fecha				
	Nombre				
	Cédula de ciudadanía				
	Matrícula Profesional				
	Firma				
	Fecha				
REVISÓ	Nombre	Oscar Miguel Zapata Rendón	X		
	Cédula de ciudadanía	1.128.397.023			
	Matrícula Profesional	05202-250349 ANT			
	Firma				
	Fecha	08/11/2021			
APROBÓ Y	Nombre	Luis Fernando Cano Gómez	X		
	Cédula de ciudadanía	7.525.194			
	Matrícula Profesional	1920201726 CAU			
	Firma				
	Fecha	08/11/2021			
APROBÓ CLIENTE	Nombre		X		
	Cédula de ciudadanía				
	Matrícula Profesional				
	Firma				
	Fecha				

TABLA DE CONTENIDO

1.	GENERALIDADES	1
1.1.	INTRODUCCIÓN	1
1.2.	OBJETIVOS	2
1.2.1	OBJETIVO GENERAL	2
1.2.2	ALCANCES.....	2
1.3.	LOCALIZACIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO	2
1.4.	METODOLOGÍA GENERAL	3
2.	INFORMACIÓN DISPONIBLE.....	3
3.	PLAN DE EXPLORACIÓN DEL SUBSUELO Y ENSAYOS	4
3.1.	EXPLORACIÓN DIRECTA.....	4
3.2.	ENSAYOS DE LABORATORIO Y PARÁMETROS GEOTÉCNICOS.....	7
3.2.1	RESULTADOS ENSAYOS DE CLASIFICACIÓN	7
3.2.2	RESULTADOS ENSAYOS DE CARACTERIZACIÓN MECÁNICA EN SUELOS	7
3.2.3	RESULTADOS ENSAYOS DE CARACTERIZACIÓN MECÁNICA EN ROCAS	7
3.2.4	CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA DEL MACIZO	8
3.2.5	MÓDULOS DE ELASTICIDAD.....	10
3.3.	CONSIDERACIONES SÍSMICAS.....	10
4.	ANÁLISIS DE SOCAVACIÓN.....	11
5.	CONDICIONES ESPECIALES DEL SUBSUELO	12
6.	ANÁLISIS GEOTÉCNICO PARA LAS CIMENTACIONES DE LAS OBRAS HIDRÁULICAS	12
6.1.	PARÁMETROS ADOPTADOS PARA LOS DISEÑOS	14
6.2.	TIPOLOGÍA DE CIMENTACIÓN.....	14
6.3.	CÁLCULO CAPACIDAD DE CARGA ÚLTIMA	14
6.4.	CÁLCULO DE ASENTAMIENTOS	17
6.1.	CÁLCULO DE MÓDULO DE REACCIÓN	19
7.	CONCLUSIONES.....	21
8.	RECOMENDACIONES	21
9.	LISTA DE ANEXOS	22
10.	REFERENCIAS	22

LISTA DE FIGURAS

Fotografía 1. Muestras de calizas extraídas de los macizos rocoso.....	5
Fotografía 2. Muestras de cherts extraídos de los macizos rocoso	6
Fotografía 3. Muestras de basaltos extraídos de los macizos rocosos.....	6
Fotografía 4. Muestras de depósitos	6

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Tramos e intervenciones a realizar entre el km 2+950 – km 11+090	2
Tabla 2. Información localización toma de muestras.....	5
Tabla 3. Resultados de ensayos de clasificación de depósitos	7
Tabla 4. Resultados de ensayos de corte directo depósitos	7
Tabla 5. Resultados de ensayos de carga puntual.....	8
Tabla 6. Parámetros de roca adoptados para los análisis geotécnicos	8
Tabla 7. Parámetros y valoración para los macizos conformados por calizas	8
Tabla 8. Parámetros y valoración para los macizos conformados por cherts	9
Tabla 9. Parámetros y valoración para los macizos conformados por basaltos	9
Tabla 10. Clasificación geomecánica según Hoek-Brown para las calizas	9
Tabla 11. Clasificación geomecánica según Hoek-Brown para los cherts	9
Tabla 12. Clasificación geomecánica según Hoek-Brown para los basaltos	10
Tabla 13. Clasificación geomecánica según Barton-Bandis para las rocas del sitio	10
Tabla 14. Resumen de los módulos de elasticidad para la roca intacta (Modificado de CCP, 2014)	10
Tabla 15. Datos para el cálculo del coeficiente de aceleración horizontal.....	11
Tabla 16. Coeficientes de aceleración horizontal y vertical empleados en el análisis de estabilidad	11
Tabla 17. Características de los Box Culvert para el cálculo de la capacidad portante.....	12
Tabla 18. Resumen de parámetros de roca utilizados para el cálculo de cimentaciones de las obras hidráulicas	14
Tabla 19. Resumen de parámetros de suelo para el cálculo de cimentaciones de las obras hidráulicas	14
Tabla 20. Capacidad de carga última, admisible y carga total aplicada del Box Culvert	15
Tabla 21. Factores de forma (elasticidad y rigidez),	17
Tabla 22. Asentamientos esperados en las cimentaciones de las obras hidráulicas.....	17
Tabla 23. Asentamientos esperados en las cimentaciones de las obras hidráulicas.....	19

LISTA DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1. Muestras de calizas extraídas de los macizos rocoso.....	5
Fotografía 2. Muestras de cherts extraídos de los macizos rocoso	6
Fotografía 3. Muestras de basaltos extraídos de los macizos rocosos.....	6
Fotografía 4. Muestras de depósitos	6

“MEJORAMIENTO DE LA VÍA DABEIBA - CAMPARRUSIA EN LA SUBREGIÓN OCCIDENTE DEL DEPARTAMENTO DE ANTIOQUIA” ABSCISADO km 2+950 – km 11+090

VOLUMEN IV. ESTUDIO DE SUELOS PARA EL DISEÑO DE FUNDACIONES DE PUENTES, OBRAS DE DRENAJE Y OTRAS ESTRUCTURAS DE CONTENCIÓN

INFORME TÉCNICO

DOCUMENTO: GICA-630-DAB.-CAMP.-VOL IV-INF-001-Rev0

1. GENERALIDADES

1.1. INTRODUCCIÓN


GICA SAS está desarrollando para ARGOS SA y BANCOLOMBIA actividades como asesor técnico en los estudios y diseños para el mejoramiento de la vía Dabeiba – Camparrusia, en el departamento de Antioquia, la cual tiene una longitud total de 44.40 km aproximadamente. Se realizará el estudio en detalle por parte de esta consultoría, del tramo de la vía comprendido entre el km 2+950 y el km 11+090, abarcando 8.14 kilómetros del proyecto.

Sin embargo, del km 5+900 al km 6+000 se considera un sector especial, en donde la problemática de la vía está asociada a la socavación lateral del río, el estudio relacionado con el análisis de éste y el planteamiento de la solución no están incluidos en el alcance de este estudio, y deberá estar sujeto a evaluaciones y análisis futuros. Por lo anterior, este tramo no fue objeto de estudios geotécnicos, estudios de pavimentación y solo se contempló el diseño de obras hidráulicas.

El proyecto tiene como objetivo fundamental mejorar la infraestructura vial para incrementar la competitividad, promover el crecimiento económico, disminuir significativamente los costos de operación vehicular, con el consecuente mejoramiento de la calidad de vida de los habitantes y de los usuarios de la vía objeto de revisión, aprovechando la sección transversal disponible. Puesto que el alcance principal de este proyecto es en esencia la pavimentación, no se contemplan ampliaciones, ni recuperaciones de banca, y tampoco intervenciones para la estabilización de taludes. Partiendo de estas consideraciones mencionadas, fueron desarrollados todos los estudios y diseños por parte de GICA SAS.

Con base en lo anterior, se recopila el componente de geotecnia correspondiente al estudio de diseño de cimentaciones para las obras hidráulicas definidas en el informe de referencia “GICA-630-DAB.-CAMP.-VOL VII-INF-001-Rev0”. El análisis consistió inicialmente, en la obtención de parámetros geomecánicos mediante ensayos de laboratorio, se proponen los diseños geotécnicos de las cimentaciones basados en las propiedades de los materiales presentes en el proyecto y de la geometría de las obras hidráulicas propuestas. Por último, se dan las recomendaciones para la construcción de la cimentación con el fin de garantizar un buen funcionamiento de la misma.

Los diseños propuestos buscan dar la solución óptima a las problemáticas detectadas y a las necesidades del proyecto desde el punto vista técnico, económico y constructivo. Todos los cálculos y los diseños se realizaron teniendo como referencia el Código Colombiano de Puentes del año 2014 CCP (2014).

 GICA S.A.S. <small>GESTIÓN DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL</small>	ESTUDIO DE SUELOS PARA EL DISEÑO DE FUNDACIONES DE PUENTES, OBRAS DE DRENAJE Y OTRAS ESTRUCTURAS DE CONTENCIÓN		
	INFORME		
	Documento: GICA-630-DAB.-CAMP.-VOL IV-INF-001-Rev0		
	Medellín, Antioquia, 05 de noviembre de 2021		Página 1

1.2. OBJETIVOS

1.2.1 OBJETIVO GENERAL

Realizar los estudios y diseños para el componente de geotecnia de cimentaciones del tramo comprendido entre el km 2+950 al km 11+090, correspondiente a la vía que comienza desde el casco urbano del municipio de Dabeiba y finaliza en el corregimiento de Camparrusia, en el departamento de Antioquia, acorde con la ejecución de las exploraciones geotécnicas en la zona de interés para determinar el diseño de fundaciones de las obras hidráulicas, influyendo en los resultados de ensayos de laboratorio y verificando el cumplimiento de todos los criterios normativos exigidos.

1.2.2 ALCANCES

- Recopilación de información registrada, teniendo en cuenta las observaciones dadas en visita de campo.
- Ejecución del plan de exploración en campo (calicatas y toma de muestra de rocas) para efectuar los ensayos de laboratorio correspondientes y realizar los análisis de resultados obtenidos.
- Procesamiento y análisis de la información.
- Diseño geotécnico de las cimentaciones.

1.3. LOCALIZACIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

El municipio de Dabeiba está localizado en la subregión occidente del departamento de Antioquia, limita por el Norte con los municipios de Mutatá e Ituango, por el Este con los municipios de Ituango, Peque y Uramita, por el Sur con los municipios de Uramita y Frontino y por el Oeste con los municipios de Murindó y Mutatá. Su cabecera dista 183.00 km de la ciudad de Medellín, capital del departamento de Antioquia.

El proyecto se ubica en el municipio de Dabeiba y comprende la vía que va desde el casco urbano al corregimiento de Camparrusia, en cuyo recorrido la vía pasa por el corregimiento de Cruces, San José de Urama y se tiene la desviación al corregimiento de la Balsita, localidades que se encuentran localizados en la subregión de nororiental del municipio.

Los estudios y diseños para construcción se desarrollan con el objetivo de lograr la aprobación por parte de la Agencia para la Renovación del Territorio ART, previo visto bueno del Departamento Nacional de Planeación (DNP), para la inclusión en el banco de proyectos, del mejoramiento de la vía que comunica el corregimiento de Camparrusia con la cabecera de Dabeiba (Antioquia), municipio ubicado en una de las zonas más afectadas por el conflicto armado – ZOMAC.

El proyecto consta en la intervención de aproximadamente 8,14 kilómetros de vía, sin incluir los puentes, ampliaciones, recuperaciones de banca ni intervenciones para la estabilización de taludes. En la Tabla 1 se presentan los tramos y las intervenciones asociadas a cada uno teniendo en cuenta el alcance del proyecto.

Tabla 1. Tramos e intervenciones a realizar entre el km 2+950 – km 11+090

TRAMO	SUBTRAMO	ABSCISADO	LONGITUD (m)	INTERVENCIÓN
1	1.1	Km 2+950 – km 5+900	2950	Rehabilitación y mantenimiento: Obras hidráulicas, pavimentación
	-	Km 5+900 – km 6+000	100	Solo obras hidráulicas
	1.2	Km 6+000- km 7+000	1000	Rehabilitación y mantenimiento: Obras hidráulicas, pavimentación
2	-	Km 7+000 – km 11+090	4090	Rehabilitación y mantenimiento: Obras hidráulicas, pavimentación

(Elaborado por GICA SAS)

En la Figura 1 se presenta la localización general del proyecto y el tramo en estudio entre el km 2+950 al km 11+090.

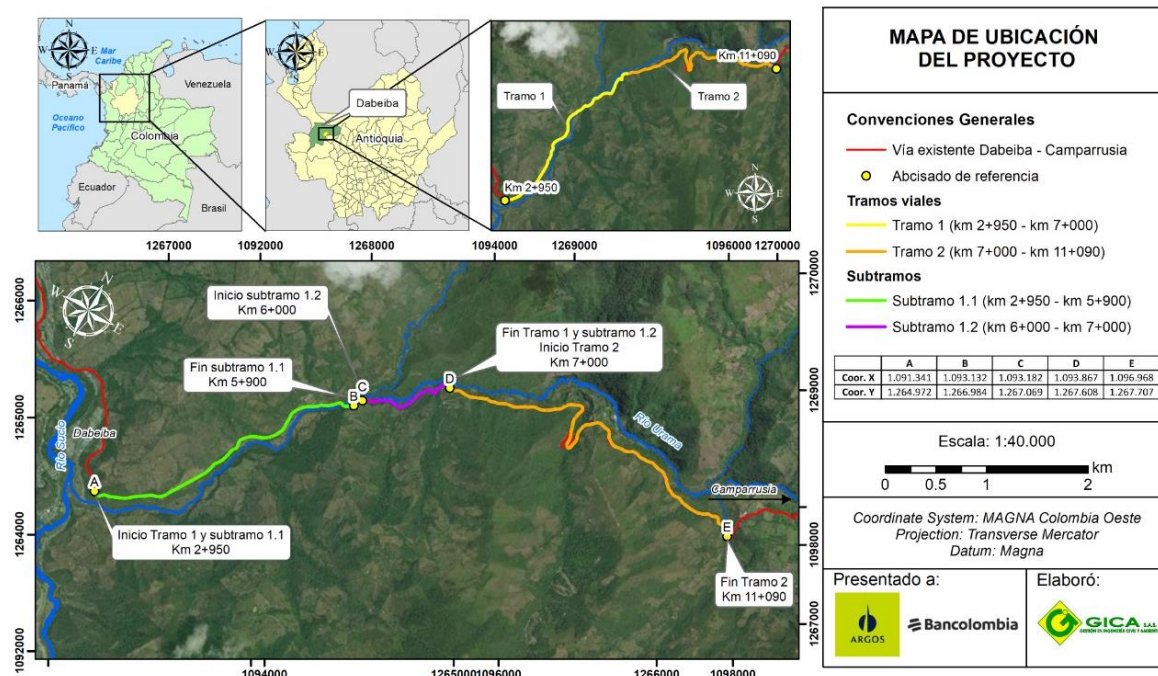


Figura 1. Ubicación general del proyecto y del tramo en estudio
(Elaborado por GICA S.A.S.)

1.4. METODOLOGÍA GENERAL


El desarrollo general del presente trabajo contempló las siguientes etapas metodológicas:

- **Revisión información.** Consolidación de información obtenida del levantamiento realizado en visita de campo para los tramos objeto de estudio. Revisión de mapas topográficos con delimitación del área de interés para el proyecto, características geológicas, geomorfológicas, geotécnicas, de sismicidad, hidrografía, consulta de las estaciones hidrometeorológicas y revisión de las condiciones ambientales adyacentes al área de estudio.
- **Exploración geotécnica:** Se realizó la ejecución de diferentes calicatas y toma de muestras, las cuales tienen como objetivo explorar los materiales que se encuentran en el subsuelo, además de tomar las muestras necesarias para la realización de los ensayos de laboratorio pertinentes.
- **Trabajo de laboratorio.** Las muestras obtenidas de campo, fueron sometidas a ensayos de laboratorio para determinar las propiedades índices, que definan el modelo y los parámetros resistentes para el análisis geotécnico en cuestión.
- **Trabajo de oficina.** En esta etapa se realizó el compendio general de la información, donde se desarrolla el diagnóstico geológico - geotécnico de lo identificado en campo, y se efectúan los análisis de diseños requeridos.
- **Elaboración de informe final.** Finalmente se recopiló toda la información obtenida con los resultados de laboratorio para hacer un análisis geotécnico y poder construir el informe final con las respectivas conclusiones y recomendaciones para el proyecto.
- **Elaboración de planos.** Se generaron planos con la localización del proyecto y localización de las obras hidráulicas.

2. INFORMACIÓN DISPONIBLE

Para el correcto desarrollo del proyecto y de la investigación concerniente a los análisis de geotecnia, se recolectó la información disponible, previa a la realización del presente informe.

Específicamente se consultaron los siguientes estudios:

	ESTUDIO DE SUELOS PARA EL DISEÑO DE FUNDACIONES DE PUENTES, OBRAS DE DRENAJE Y OTRAS ESTRUCTURAS DE CONTENCIÓN	
	INFORME	
	Documento: GICA-630-DAB.-CAMP.-VOL IV-INF-001-Rev0	
	Medellín, Antioquia, 05 de noviembre de 2021	Página 3

- Estudios en etapa de factibilidad del proyecto.
- Levantamiento topográfico del corredor.
- Diseño geométrico de la vía.
- Normas INVIAS, CCP-14 y bibliografía en tema de geotecnia.
- Imágenes satelitales y panorámicas de la zona disponibles en Google Earth.

3. PLAN DE EXPLORACIÓN DEL SUBSUELO Y ENSAYOS

Para el estudio geotécnico se desarrolló un programa de exploración de campo, compuesto por sondeos directos, así como por recorridos detallados por el sitio de estudio. De los sondeos directos se recuperaron muestras inalteradas de suelo, las cuales fueron descritas geológicamente para definir el tipo de material encontrado. Para la caracterización de la roca, se tomaron muestras de los diferentes materiales encontrados durante la visita. Sobre aquellas que se definieron como representativas se ejecutó un programa de ensayos de laboratorio, para su caracterización física y mecánica.

3.1. EXPLORACIÓN DIRECTA

Se aclara, que los sitios de las obras de drenaje transcurren por lechos rocosos de distintos grados de fracturación y meteorización, por lo cual las exploraciones se limitaron a caracterizar los materiales existentes de caurdo con la diferenciación trabajada en el estudio geológico reliazdo por GICA.

Se ejecutaron cuatro (4) calicatas en todo el tramo de intervención, con el propósito de conocer los materiales que componen el subsuelo y caracterizarlos física y mecánicamente. Las calicatas alcanzaron una profundidad máxima de 1.00 m y de cada una se obtuvo una muestra cilíndrica. Las muestras de la roca fueron extraídas en siete (7) puntos con ayuda del martillo geológico.

En la Tabla 2 se presentan las abscisas y coordenadas de localización de los sondeos realizados en suelo y roca. La información se discretizó por tipo de material según la clasificación preliminar. En la Figura 1 se muestra su localización en planta. A continuación, se describe de forma general los materiales identificados.


	ESTUDIO DE SUELOS PARA EL DISEÑO DE FUNDACIONES DE PUENTES, OBRAS DE DRENAJE Y OTRAS ESTRUCTURAS DE CONTENCIÓN		
	INFORME		
	Documento: GICA-630-DAB.-CAMP.-VOL IV-INF-001-Rev0		
	Medellín, Antioquia, 05 de noviembre de 2021		Página 4

Tabla 2. Información localización toma de muestras

MUESTRA	MATERIAL	ABSCISA PRINCIPAL	COORDENADAS	
			ESTE	NORTE
M1	Calizas	km 8+480	763563.8436	1268444.0394
M2		km 7+930	763213.0181	1268318.1051
M5		km 9+460	763950.2578	1268407.2250
M7		km 2+760	759669.4249	1265596.6142
M3	Cherts	km 7+560	762866.9352	1268200.5521
M4	Basaltos	km 10+280	764698.8843	1268275.7242
M6		km 2+910	759766.8979	1265479.5732
C1	Depósito de Vertiente	km 3+327	760120.9179	1265567.5008
C2	Depósito de Vertiente	km 11+095	765438.1395	1268141.9615
C3	Depósito Aluvial	km 5+330	761134.9128	1267148.7875
C4	Depósito Aluvial	Km 6+050	761692.8259	1267562.7738

(Elaborado por GICA SAS)

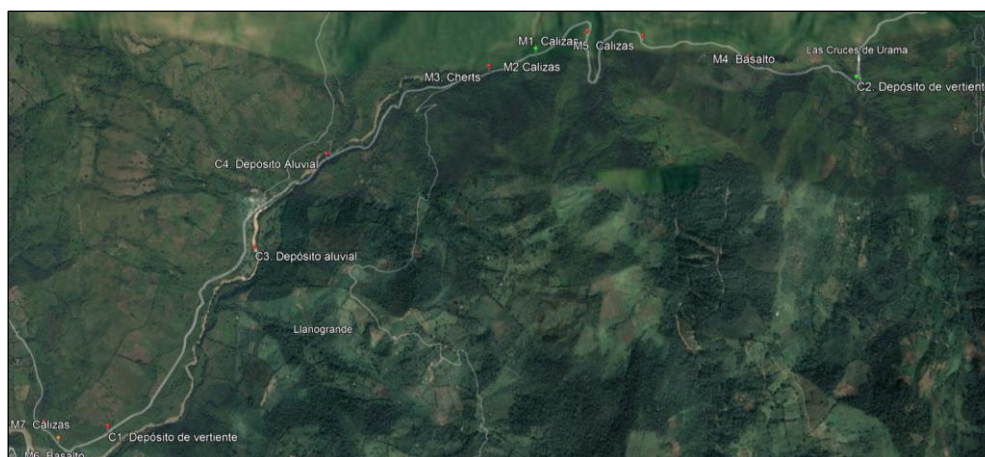


Figura 1. Localización de las calizas y toma de muestras
(Tomado de Google Earth – Modificado por GICA)

En la Fotografía 1 se muestran varias imágenes de los tipos de calizas existentes en la zona, estas tienen en general una tonalidad clara asociada a la presencia de carbonatos de calcio (CaCO_3), y oscura con contenido de materia orgánica. Las rocas tienden a ser de grano medio a fino con textura masiva, en algunos casos puede observarse laminación de los minerales, caracterizando la textura sedimentaria de la roca.



Fotografía 1. Muestras de calizas extraídas de los macizos rocoso
(Registro tomado por GICA SAS en 2021)

En la Fotografía 2, se puede observar una muestra de chert, la cual tiende a ser oscura de acuerdo a su contenido de materia orgánica. El mineral principal que contiene esta roca es cuarzo, siendo una roca rica en sílice y la cual muestra una textura masiva fragmentada, que se asocia al fuerte fracturamiento que generalmente llegan a presentar. Tiende a ser una roca muy dura debido a la cantidad de sílice que presenta.



Fotografía 2. Muestras de cherts extraídos de los macizos rocoso
(Registro tomado por GICA SAS en 2021)

La Fotografía 3 muestra basaltos como la roca del sector, se exhibe como una roca de tonalidad verdosa que en algunos sitios se pueden observar levemente los minerales máficos, tiende a ser finogranular y el color verdoso es debido a la alteración de minerales ferromagnesianos a clorita. Esta roca tiene textura masiva y generalmente se encuentra como un cuerpo masivo en medio de rocas estratificadas.



Fotografía 3. Muestras de basaltos extraídos de los macizos rocosos
(Registro tomado por GICA SAS en 2021)

Los depósitos de vertiente y aluviales conforman la parte suprayacente de los materiales rocosos. En la Fotografía 4 se muestra el material que se pudo extraer de los apiques para los ensayos de laboratorio. Los depósitos de vertiente de la zona están relacionados a aquellos eventos en los cuales la pendiente tiende a ser muy alta y favorece a la generación de deslizamientos, permitiendo que estos materiales reposen en un punto (en este caso la vía), para los cuales muestra mezclas de suelo y gravas, siendo matriz soportados, con fragmentos de roca componentes de la zona, con formas angulosas.



Fotografía 4. Muestras de depósitos
(Registro tomado por GICA SAS en 2021)

En el caso de los aluviales que se encuentran en la zona, tienden a ser matriz soportados con aparición de fragmentos redondeados asociados al transporte del afluente, estos están compuestos por materiales variables que incluyen tanto materiales de la zona como rocas de zonas externas.

3.2. ENSAYOS DE LABORATORIO Y PARÁMETROS GEOTÉCNICOS

Luego de observar, describir y analizar las muestras extraídas de los sondeos, se seleccionaron las más representativas y las que mostraron cambios significativos en el tipo de material, con el fin de determinar sus propiedades físicas y mecánicas. En tal sentido, se realizaron ensayos de granulometría, límites de Atterberg (límite líquido y plástico) y corte directo los cuales se realizaron a los depósitos de vertiente y depósitos aluviales presentes. Con el propósito de caracterizar física y mecánicamente el material rocoso, se ejecutaron catorce (14) ensayos de carga puntual. En el Anexo 2 se puede consultar el reporte completo de los resultados.

3.2.1 RESULTADOS ENSAYOS DE CLASIFICACIÓN

Se tomaron los resultados de los ensayos de granulometría y de límites de consistencia para proceder a clasificar las muestras con base en el Sistema de Clasificación Unificada de Suelos (USCS). El resumen de los resultados se muestra en la Tabla 3.

Tabla 3. Resultados de ensayos de clasificación de depósitos

MATERIAL	ABSCISA	GRAVAS (%)	ARENAS (%)	FINOS (%)	LL (%)	LP (%)	IP (%)	USCS
Depósito de vertiente	km 11+095	46.00	44.80	9.20	NP	NP	0	GP-GM
Depósito de vertiente	km 3+327	60.00	32.90	7.10	NL	NP	0	GP-GM
Depósito aluvial	km 5+330	52.00	37.40	10.60	NP	NP	0	GW-GM
Depósito aluvial	Km 6+050	13.00	77.80	9.20	NP	NP	0	SP-SM

(Elaborado por GICA SAS)

Los resultados muestran que los materiales de depósitos de vertiente y aluviales no presentan índice de plasticidad. Esta característica se relaciona directamente con el bajo porcentaje de material fino de las muestras, menor al 12%. Además, hay predominancia de los materiales grueso granulares, lo que favorece el comportamiento friccionante.

3.2.2 RESULTADOS ENSAYOS DE CARACTERIZACIÓN MECÁNICA EN SUELOS

Se ejecutaron dos (2) ensayos de corte directo consolidado y drenado (CD) con el objetivo determinar los parámetros de resistencia del suelo en condiciones efectivas. En la Tabla 4 se muestra el resumen de los resultados obtenidos.

Tabla 4. Resultados de ensayos de corte directo depósitos

MATERIAL	Φ (°)	C (kPa)
km 5+330	35.3	0.079
Km 6+050	37.4	1.79

(Elaborado por GICA SAS)

3.2.3 RESULTADOS ENSAYOS DE CARACTERIZACIÓN MECÁNICA EN ROCAS

Para la caracterización mecánica del estrato rocoso se realizaron ensayos de carga puntual (ASTM D 5731). Con este ensayo se determinó el índice de resistencia a carga puntual I_s , con el cual se calculó la resistencia a compresión simple en distintos tipos de roca con la siguiente correlación¹:

$$\sigma_c = 24I_{s(50)}$$

Donde:

- σ_c = Resistencia a la compresión simple
- $I_{s(50)}$ = Índice de resistencia de carga puntual corregido

Las muestras corresponden a rocas calizas, cherts y balsatos y los resultados se muestran en la Tabla 5. Los parámetros Adoptados en el diseño se detallan en la Tabla 6 y corresponden al promedio de los valores de peso unitario y resistencia a la compresión discretizados por tipo de material.

¹ Ingeniería Geológica. Luis Gonzáles de Vallejo. Ensayo de carga puntual, Pág 348

Tabla 5. Resultados de ensayos de carga puntual

MUESTRA		γ (kN/m ³)	I_s (MPa)	I_s (50) (MPa)	σ_c (MPa)
Calizas	M1-1	27.70	1.79	2.31	55,44
	M1-2		2.34	2.93	70,32
	M2-1	28.40	0.52	0.65	15,60
	M2-2		0.13	0.17	4,08
	M5-1	27.30	1.32	1.59	38,16
	M5-2		2.79	2.99	71,76
	M7-1	27.70	1.89	2.03	48,72
	M7-2		1.43	1.94	46,56
Cherts	M3-1	28.40	0.52	0.60	14,40
	M3-2		3.06	4.00	96,00
Basaltos	M4-1	28.30	4.31	4.79	114,96
	M4-2		2.34	2.90	69,60
	M6-1	27.90	2.35	3,36	80,64
	M6-2		0.59	0.82	19,68

(Elaborado por GICA SAS)

Tabla 6. Parámetros de roca adoptados para los análisis geotécnicos

MATERIAL	γ (kN/m ³)	I_s (MPa)	σ_c (MPa)
Calizas	27.7	1.91	45,80
Cherts	28.4	2.30	55.20
Basalto	28.1	3.13	75.12

(Elaborado por GICA SAS)

3.2.4 CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA DEL MACIZO

La clasificación geomecánica de los materiales encontrados en los macizos rocosos se presentan en las Tabla 7, Tabla 8 y Tabla 9. Para la evaluación de la calidad del macizo se utiliza el índice GSI (Índice de resistencia geológica), el cual indica la condición del macizo y de los planos de discontinuidad que en él se presentan y el RQD (Índice de designación de la calidad de la roca), el cual da un indicativo del porcentaje de bloques mayores a 0.10 m. A continuación, se hace un análisis de la condición del macizo, los valores de RQD fueron obtenidos de los levantamientos en campo.

Tabla 7. Parámetros y valoración para los macizos conformados por calizas

PARÁMETRO (VALORACIÓN)	VALORACIÓN MÁXIMA	VALORACIÓN MÍNIMA	VALORACIÓN PROMEDIO	RMR PROMEDIO	GSI_{LEV}/GSI_{perf}
Resistencia a la roca intacta, RCS	7	7	7	80 - 61	35-40
Índice de calidad del macizo rocoso, RQD	13	13	13		
Espaciado de las discontinuidades	10	8	9		
Continuidad	6	2	4		
Abertura	5	3	4		
Rugosidad	5	3	4		
Relleno	6	4	5		
Meteorización	6	3	4		
Agua en las discontinuidades	15	10	12		
RMR, Índice del macizo rocoso			62		

(Elaborado por GICA SAS)

Tabla 8. Parámetros y valoración para los macizos conformados por cherts

PARÁMETRO (VALORACIÓN)	VALORACIÓN MÁXIMA	VALORACIÓN MÍNIMA	VALORACIÓN PROMEDIO	RMR PROMEDIO	GSI_{LEV}/GSI_{perf}
Resistencia a la roca intacta, RCS	7	4	5	60-41	30-35
Índice de calidad del macizo rocoso, RQD	13	13	13		
Espaciado de las discontinuidades	10	8	9		
Continuidad	6	2	4		
Abertura	5	3	4		
Rugosidad	3	0	1		
Relleno	6	4	5		
Meteorización	6	5	5		
Agua de agua en las discontinuidades	15	10	12		
RMR, Índice del macizo rocoso			58		

(Elaborado por GICA SAS)

Tabla 9. Parámetros y valoración para los macizos conformados por basaltos

PARÁMETRO (VALORACIÓN)	VALORACIÓN MÁXIMA	VALORACIÓN MÍNIMA	VALORACIÓN PROMEDIO	RMR PROMEDIO	GSI_{LEV}/GSI_{perf}
Resistencia a la roca intacta, RCS	7	7	7	60-41	42-45
Índice de calidad del macizo rocoso, RQD	13	13	13		
Espaciado de las discontinuidades	10	8	9		
Continuidad	6	4	5		
Abertura	5	3	4		
Rugosidad	5	3	4		
Relleno	4	2	3		
Meteorización	5	3	4		
Agua de agua en las discontinuidades	10	7	8		
RMR, Índice del macizo rocoso			57		

(Elaborado por GICA SAS)

De acuerdo a los resultados obtenidos en la valoración de RMR de Blenaswki, los basaltos y los cherts se clasificaron como roca Regular (III), y las calizas se clasificaron como Buena (II). Se espera que el macizo rocoso presente mecanismos de falla tipo caída de bloques dada su baja persistencia y espaciamento de las discontinuidades. De la Tabla 10 a la Tabla 13 se muestran la clasificación geomecánica según Hoek-Brown para el macizo y los valores de JRC (Join Rugosity Coefficient) de Barton-Bandis para las discontinuidades respectivamente.

Tabla 10. Clasificación geomecánica según Hoek-Brown para las calizas

Clasificación según Hoek-Brown	SIMBOLO	UNIDAD	GSI=35	GSI=40
	σ_{ci}	MPa	37	
	GSI	adim	35	40
	Mi	adim	12	12
	D	adim	0.70	0.70

(Elaborado por GICA SAS)

Tabla 11. Clasificación geomecánica según Hoek-Brown para los cherts

Clasificación según Hoek-Brown	SIMBOLO	UNIDAD	GSI=30	GSI=35
	σ_{ci}	MPa	43	
	GSI	adim	30	35
	Mi	adim	12	12
	D	adim	0.70	0.70

(Elaborado por GICA SAS)

Tabla 12. Clasificación geomecánica según Hoek-Brown para los basaltos

Clasificación según Hoek-Brown	SÍMBOLO	UNIDAD	GSI=42	GSI=45
	σ_{ci}	MPa	56	
	GSI	adim	42	45
	Mi	adim	25	25
	D	adim	0	0

(Elaborado por GICA SAS)

Tabla 13. Clasificación geomecánica según Barton-Bandis para las rocas del sitio

JRC (JOIN RUGOSITY COEFFICIENT)	VALORES MÍNIMOS	VALORES MÁXIMOS	VALORES ADOPTADOS
Calizas	4	6	5
Cherts	0	2	1
Basalto	8	10	9

(Elaborado por GICA SAS)

3.2.5 MÓDULOS DE ELASTICIDAD

El módulo de elasticidad se adoptó a partir de los valores propuestos por Kulhaway (1978) para roca intacta referenciados en el CCP, 2014. En la Tabla 14 se muestra la tabla de referencia donde se obtuvieron estos valores típicos.

Tabla 14. Resumen de los módulos de elasticidad para la roca intacta (Modificado de CCP, 2014)

TIPO DE ROCA	Módulo de elasticidad, E_i (MPa x 10^3)			DESVIACIÓN ESTÁNDAR (MPa x 10^3)
	VALORES MÍNIMOS	VALORES MÁXIMOS	PROMEDIO	
Calizas	89.6	4.5	39.30	25.7
Cherts	89.6	4.5	39.30	25.7
Basalto	84.1	29	56.10	17.9

(Elaborado por GICA SAS)

Módulos de elasticidad adoptados

3.3. CONSIDERACIONES SÍSMICAS

Según el estudio de Amenaza sísmica de Colombia AIS (2009) y el Código Colombiano de Puentes (CCP, 2014), el municipio de Dabeiba se encuentra en una zona de amenaza sísmica alta. De acuerdo con las definiciones del tipo de perfil de suelo consignada en el numeral 3.10.3.1 del CCP (2014), el perfil del suelo para el sitio de estudio se clasifica como tipo C, teniendo en cuenta que son perfiles de suelo muy densos o roca blanca, cuya resistencia a la penetración estándar es superior a los 50 golpes/pie.

A continuación, se presentan los coeficientes sísmicos de diseño para la estructura en consideración.

A partir de la aceleración horizontal pico del terreno (PGA), el tipo de suelo y el coeficiente de ampliación (F_{pga}) en la estructura, se calculó el coeficiente de aceleración horizontal. El valor del PGA se obtiene del mapa de zonificación sísmica que se muestra en la Figura 2. En la Tabla 15 se detallan los datos empleados para el cálculo del coeficiente de aceleración horizontal.

El coeficiente sísmico de aceleración vertical, k_v , debe suponerse igual a cero (0) para el cálculo de las presiones y las evaluaciones de estabilidad. Dado lo anterior, se presentan en la Tabla 16 los coeficientes de aceleración horizontal y vertical empleados para los análisis de estabilidad.

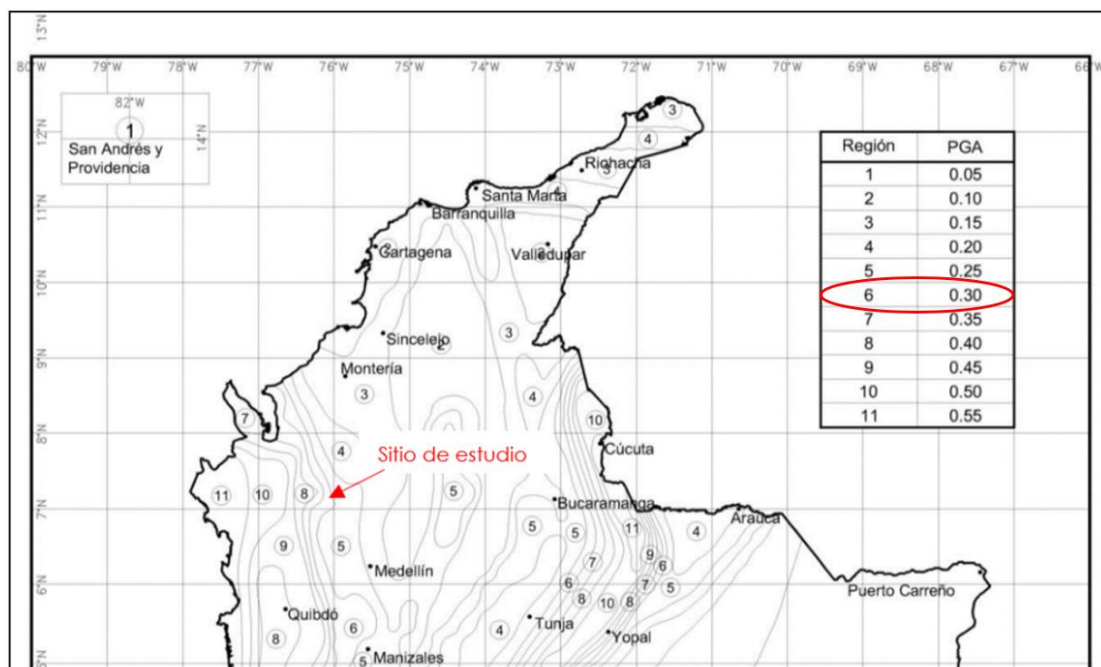


Figura 2. Zonificación sísmica para la aceleración horizontal pico del terreno (PGA) (CCP, 2014)

Tabla 15. Datos para el cálculo del coeficiente de aceleración horizontal

PGA	0.30 g
Clasificación del tipo de suelo	C
Coeficiente de ampliación F_{pga}	1.10

(Elaborado por GICA SAS)

Tabla 16. Coeficientes de aceleración horizontal y vertical empleados en el análisis de estabilidad

K_h	$k_h = 0.50 * F_{pga} * PGA$	0.17
K_v	0	

(Elaborado por GICA SAS)

4. ANÁLISIS DE SOCACACIÓN

Toda la información relativa a los procedimientos de cálculo implementados para análisis de socavación se presenta en el volumen VII: Estudio de Hidrología, Hidráulica y Socavación (GICA-630-DAB.-CAMP.-VOL VII-INF-001-Rev0).

Los mecanismos principales de socavación están asociados a pérdidas de material de la base de la vía actual producto de erosión por aguas de escorrentía. Este proceso se genera principalmente en la zona lateral de la quebrada.

El cálculo de la profundidad de socavación está basado al paso de un caudal de diseño por la sección hidráulica, donde se prevé localizar la estructura. Para el presente estudio se han realizado cálculos de socavación para las hipótesis de avenida de 100 años de periodo de retorno.

Además de los condicionantes hidráulicos, la estimación de las profundidades de socavación está claramente condicionada por las características geológicas del sustrato del suelo sobre el que discurre el cauce estudiado (litología, estructura del suelo y meteorización del mismo).

5. CONDICIONES ESPECIALES DEL SUBSUELO

Con la información recolectada de las salidas de campo, y los ensayos de clasificación ejecutados en los materiales de depósitos de vertiente y aluviales, se evaluó la existencia de materiales con características especiales como suelos expansivos, dispersivos y/o suelos colapsables, dado que estos pueden afectar la estabilidad y por lo tanto requieran un manejo distinto, para evitar afectaciones a la vía.

En el recorrido de campo de la vía no se evidenciaron problemas de suelos expansivos tales como "embombamientos" o deformaciones evidentes. De acuerdo con la clasificación granulométrica de los materiales de depósito de vertiente y depósitos aluviales, el porcentaje de finos es menor al 16.00%, y son clasificados como no plásticos. Por lo tanto, se concluye que la probabilidad de encontrar arcillas expansivas en superficie que afecten a la vía, es muy baja.

Con respecto al fenómeno de colapsabilidad y licuefacción, aunque los suelos presentes en la vía de estudio presentan un alto porcentaje de materiales gruesos (arena y grava), la gradación distribuida y la densa compactación de estos materiales, podría disminuir la probabilidad de ocurrencia de estos fenómenos. Es de resaltar además, que no se evidenciaron procesos de hundimiento o de colapso en los materiales de depósitos presentes en los taludes, ni en el afirmado.

Un detonante de estas condiciones de colapso y/o expansión son cambios rápidos del grado de saturación del material por variaciones en el nivel freático. Sin embargo, en el sector no se observaron taludes ni sectores del afirmado con superficies saturadas o aflorando agua. Es posible que los fenómenos descritos para los materiales presentes no acontecen por la falta de variación en el grado de saturación ni el grado de compacidad de estos materiales.

6. ANÁLISIS GEOTÉCNICO PARA LAS CIMENTACIONES DE LAS OBRAS HIDRÁULICAS

En este apartado se presenta el diseño de las cimentaciones para las obras hidráulicas, en específico de los box culverts. En la Tabla 17 se muestra la localización y características geométricas de cada una de las obras, así como el material donde se apoyará la cimentación. La dimensión L (m) del box culvert se toma como 8.00 metros que corresponde al ancho máximo de la vía. La definición de los box culverts, fue realizada por el grupo de hidráulica, y los valores de cargas totales aplicadas por dichas estructuras hidráulicas, fueron suministradas por el ingeniero estructural.

Tabla 17. Características de los Box Culvert para el cálculo de la capacidad portante

OBRA	COORDENADAS		ABSCISA	B (m)	H (m)	ÁREA DE CONTACTO (m²)	MATERIAL DE APOYO
	ESTE	NORTE					
1	1091317.675	1264995.988	km 2+910	1.00	1.00	8.00	Basalto
2	1091440.709	1264982.681	km 3+065	1.00	1.00	8.00	Basalto
3	1091549.002	1265016.186	km 3+178	1.00	1.00	8.00	Basalto
4	1091187.771	1265064.27	km 3+288	1.00	1.00	8.00	Basalto
5	1265109.020	1265115.848	km 3+370	1.00	1.00	8.00	Basalto
6	1091775.291	1265160.814	km 3+450	1.00	1.00	8.00	Basalto
7	1091849.535	1265211.973	km 3+540	1.00	1.00	8.00	Basalto
8	1091923.274	1265241.331	km 3+619	1.00	1.00	8.00	Basalto
9	1091977.32	1265298.958	km 3+699	1.00	1.00	8.00	Basalto
10	1092026.443	1265385.938	km 3+800	1.00	1.00	8.00	Basalto
11	1092094.519	1265496.593	km 3+930	1.00	1.00	8.00	Basalto
12	1092153.15	1265598.016	km 4+047	2.00	1.50	16.00	Basalto
13	1092268.64	1265841.053	km 4+320	1.00	1.00	8.00	Basalto
14	1092311.661	1265983.485	km 4+470	1.00	1.00	8.00	Basalto
15	1092336.569	1266083.924	km 4+580	1.50	1.00	12.00	Caliza
16	1092341.192	1266131.466	km 4+628	1.50	1.00	12.00	Caliza
17	1092382.424	1266183.222	km 4+694	2.00	1.00	16.00	Caliza

OBRA	COORDENADAS		ABSCISA	B (m)	H (m)	ÁREA DE CONTACTO (m²)	MATERIAL DE APOYO
	ESTE	NORTE					
18	1092481.219	1266239.84	km 4+810	1.00	1.00	8.00	Caliza
19	1092552.369	1266275.849	km 4+890	1.00	1.00	8.00	Caliza
20	1092617.724	1266350.706	km 4+990	1.00	1.00	8.00	Caliza
21	1092648.487	1266483.644	km 5+130	1.50	1.00	12.00	Caliza
22	1092643.469	1266578.36	km 5+223	1.00	1.00	8.00	Caliza
23	1091317.675	1266678.444	km 5+331	1.50	1.00	12.00	Caliza
24	1264995.988	1266733.217	km 5+409	1.00	1.00	8.00	Caliza
25	1092853.727	1266819.88	km 5+556	3.00	2.50	24.00	Basalto
26	1092926.517	1266858.156	km 5+640	2.00	1.00	16.00	Basalto
27	1093104.068	1266952.275	km 5+862	2.00	2.50	16.00	Basalto
28	1093186.63	1267061.082	km 6+000	1.00	1.00	8.00	Basalto
29	1093272.278	1267099.588	km 6+100	1.00	1.00	8.00	Basalto
30	1093350.693	1267160.871	km 6+200	1.00	1.00	8.00	Basalto
31	1093418.502	1267189.076	km 6+273	1.00	1.00	8.00	Caliza
32	1093532.626	1267185.826	km 6+390	2.00	1.50	16.00	Caliza
33	1093584.092	1267244.295	km 6+470	1.00	1.00	8.00	Caliza
34	1093628.12	1267351.77	km 6+585	1.00	1.00	8.00	Caliza
35	1093763.572	1267480.118	km 6+811	3.00	2.50	24.00	Caliza
36	1093797.214	1267586.288	km 6+927	1.00	1.00	8.00	Caliza
37	1093983.235	1267626.415	km 7+121	1.00	1.00	8.00	Caliza
38	1094110.627	1267633.586	km 7+247	1.00	1.00	8.00	Caliza
39	1094216.918	1267681.082	km 7+363	1.00	1.00	8.00	Caliza
40	1094272.987	1267687.681	km 7+424	1.00	1.00	8.00	Caliza
41	1094480.8	1267753.102	km 7+645	1.50	1.00	12.00	Caliza
42	1091440.709	1267784.046	km 7+730	2.00	1.00	16.00	Caliza
43	1264982.681	1267820.715	km 7+805	1.00	1.00	8.00	Caliza
44	1094821.65	1267899.774	km 8+022	1.00	1.00	8.00	Caliza
45	1094902.152	1267959.713	km 8+122	1.00	1.00	8.00	Caliza
46	1094977.219	1268053.424	km 8+244	1.00	1.00	8.00	Caliza
47	1095101.245	1268080.703	km 8+383	1.00	1.00	8.00	Caliza
48	1095088.341	1267979.807	km 8+488	1.00	1.00	8.00	Caliza
49	1095145.552	1267734.296	km 8+743	1.00	1.00	8.00	Caliza
50	1095202.597	1267733.524	km 8+888	1.00	1.00	8.00	Caliza
51	1095192.212	1267925.015	km 9+085	1.00	1.00	8.00	Caliza
52	1095276.545	1268012.777	km 9+208	1.00	1.00	8.00	Caliza
53	1095357.86	1268036.248	km 9+300	1.00	1.00	8.00	Caliza
54	1095548.778	1267917.621	km 9+538	1.00	1.00	8.00	Caliza
55	1095594.821	1267921.811	km 9+582	1.00	1.00	8.00	Caliza
56	1095683.138	1267928.112	km 9+671	1.00	1.00	8.00	Caliza
57	1095835.502	1267949.137	km 9+834	1.00	1.00	8.00	Caliza
58	1096050.039	1267938.446	km 10+057	2.00	1.00	16.00	Caliza
59	1096140.543	1267907.652	km 10+156	1.00	1.00	8.00	Basalto
60	1096290.192	1267792.122	km 10+350	1.00	1.00	8.00	Basalto
61	1091549.002	1267765.198	km 10+494	2.00	1.50	16.00	Basalto
62	1265016.186	1267754.757	km 10+620	1.00	1.50	8.00	Cherts
63	1096713.143	1267800.371	km 10+785	2.00	1.50	16.00	Caliza

OBRA	COORDENADAS		ABSCISA	B (m)	H (m)	ÁREA DE CONTACTO (m ²)	MATERIAL DE APOYO
	ESTE	NORTE					
64	1096822.606	1267776.834	km 10+920	2.00	1.00	16.00	Caliza
65	1096846.210	1267777.91	km 10+950	1.00	1.00	8.00	Caliza
66	1096890.243	1267760.924	km 10+991	1.00	1.00	8.00	Caliza

(Elaborado por GICA SAS)

6.1. PARÁMETROS ADOPTADOS PARA LOS DISEÑOS

Los materiales rocosos y los depósitos constituyen los materiales predominantes en el sitio de estudio. Como punto de referencia se toman entonces los resultados de laboratorio, que incluyen los ensayos de carga puntual para rocas y los ensayos de corte directo para los depósitos presentes en la zona. En la Tabla 18 se muestran los parámetros adoptados para las rocas.

Tabla 18. Resumen de parámetros de roca utilizados para el cálculo de cimentaciones de las obras hidráulicas

PARÁMETROS GEOTÉCNICOS	CALIZA	CHERT	BASALTO
Peso unitario γ (kN/m ³)	27.70	28.40	28.10
Compresión inconfiada (MPa)	45.80	55.20	74.12
Clasificación GSI	30.00	35.00	42.00
Constante m_i	12.00	12.00	25.00
Factor de alteración D	0.00	0.00	0.00
Constante m	0.99	1.18	3.15
Constante s	4.19E-04	7.30E-04	1.59E-03
Módulo de elasticidad (Roca) (MPa)	39.30	39.30	56.10
Módulo de elasticidad (Macizo rocoso) (MPa)	2140.09	3133.07	5468.62
Coeficiente de Poisson	0.23	0.23	0.23

(Elaborado por GICA SAS)

Ahora bien, a partir de los ensayos de corte directo realizados a los depósitos, y con el objetivo de calibrar los parámetros geotécnicos de los mismos, se realizó un análisis de estabilidad inverso en el talud ubicado en la abscisa km 6+065, donde ocurrió un deslizamiento. Esta evaluación se presenta en el informe de estabilidad y estabilización de taludes con referencia "GICA-630-DAB.-CAMP.-VOL V-INF-001-Rev0". Partiendo del análisis y la calibración de parámetros se obtuvieron valores adoptados los cuales se presentan en la Tabla 19.

Tabla 19. Resumen de parámetros de suelo para el cálculo de cimentaciones de las obras hidráulicas

PARÁMETROS GEOTÉCNICOS	γ (kN/m ³)	C (kPa)	ϕ °
Depósitos	18.00	7	37.4

(Elaborado por GICA SAS)

6.2. TIPOLOGÍA DE CIMENTACIÓN

En razón a la naturaleza del terreno se opta por apoyar las obras hidráulicas sobre losa de concreto superficial, procurando que no se produzcan asentamientos diferenciales por encima de los límites exigidos en la normativa (CCP-14).

6.3. CÁLCULO CAPACIDAD DE CARGA ÚLTIMA

La capacidad portante se define como la que tiene el terreno para soportar las cargas aplicadas sobre él; en otras palabras, es la máxima presión media de contacto entre la cimentación y el terreno, tal que no se produzcan un fallo por cortante del suelo o un asentamiento diferencial excesivo. Para el presente proyecto, es necesario evaluar si las características del material existente tienen la capacidad de soportar las cargas impuestas encima de él, para este caso las diferentes estructuras tipo Box Culvert, definidas a lo largo del corredor.

Dado que el material de cimentación es roca, se utilizaron parámetros de los macizos rocosos relacionados en la Tabla 16. La capacidad de carga última de las cimentaciones poco profundas sobre macizos rocosos depende principalmente del ancho de la cimentación y las propiedades de la roca debajo de ella. Para una estimación

confiable de la capacidad portante de las cimentaciones a diseñar, se utilizó la Ecuación 1 propuesta por Carter and Kulhawy (1988), que se muestra a continuación:

$$q_{ult} = q_u(m + \sqrt{s}) \text{ Ecuación 1}$$

Donde:

- q_{ult} = Capacidad de carga última.
- q_u = Resistencia máxima de la roca.
- m y s = Constantes de material en el criterio de falla de Hoek y Brown.

Para calcular la capacidad admisible se utiliza la Ecuación 2. El factor de resistencia geotécnica de cimentaciones superficiales en roca para calcular la capacidad de carga es de ϕ_b 0.45 según el CCP (2014).

$$q_{adm} = \phi_b * q_{ult} \text{ Ecuación 2}$$

Donde:

- q_{adm} = Capacidad de carga admisible.
- q_{ult} = Capacidad de carga última.
- ϕ_b = Factor de resistencia (artículo 10.5.5.2.2 (CCP, 2014)).

En la Tabla 20 se relacionan los resultados obtenidos de la capacidad de carga última, y capacidad admisible para cada una de las obras hidráulicas. Las hojas de cálculo se presentan en el anexo 2.

Tabla 20. Capacidad de carga última, admisible y carga total aplicada del Box Culvert

OBRA	B (m)	H (m)	Q ÚLTIMA (MPa)	Q ADMISIBLE (MPa)	Q TOTAL DEL BOX (MPa)
1	1.00	1.00	239.63	107.84	0.16
2	1.00	1.00	239.63	107.84	0.16
3	1.00	1.00	239.63	107.84	0.16
4	1.00	1.00	239.63	107.84	0.16
5	1.00	1.00	239.63	107.84	0.16
6	1.00	1.00	239.63	107.84	0.16
7	1.00	1.00	239.63	107.84	0.16
8	1.00	1.00	239.63	107.84	0.16
9	1.00	1.00	239.63	107.84	0.16
10	1.00	1.00	239.63	107.84	0.16
11	1.00	1.00	239.63	107.84	0.16
12	2.00	1.50	239.63	107.84	0.16
13	1.00	1.00	239.63	107.84	0.16
14	1.00	1.00	239.63	107.84	0.16
15	1.50	1.00	46.05	20.72	0.13
16	1.50	1.00	46.05	20.72	0.13
17	2.00	1.00	46.05	20.72	0.13
18	1.00	1.00	46.05	20.72	0.16
19	1.00	1.00	46.05	20.72	0.16
20	1.00	1.00	46.05	20.72	0.16
21	1.50	1.00	46.05	20.72	0.13
22	1.00	1.00	46.05	20.72	0.16
23	1.50	1.00	46.05	20.72	0.13
24	1.00	1.00	46.05	20.72	0.16
25	3.00	2.50	239.63	107.84	0.15
26	2.00	1.00	239.63	107.84	0.13
27	2.00	2.50	239.63	107.84	0.15

OBRA	B (m)	H (m)	Q ÚLTIMA (MPa)	Q ADMISIBLE (MPa)	Q TOTAL DEL BOX (MPa)
28	1.00	1.00	239.63	107.84	0.16
29	1.00	1.00	239.63	107.84	0.16
30	1.00	1.00	239.63	107.84	0.16
31	1.00	1.00	46.05	20.72	0.16
32	2.00	1.50	46.05	20.72	0.16
33	1.00	1.00	46.05	20.72	0.16
34	1.00	1.00	46.05	20.72	0.16
35	3.00	2.50	46.05	20.72	0.15
36	1.00	1.00	46.05	20.72	0.16
37	1.00	1.00	46.05	20.72	0.16
38	1.00	1.00	46.05	20.72	0.16
39	1.00	1.00	46.05	20.72	0.16
40	1.00	1.00	46.05	20.72	0.16
41	1.50	1.00	46.05	20.72	0.13
42	2.00	1.00	46.05	20.72	0.13
43	1.00	1.00	46.05	20.72	0.16
44	1.00	1.00	46.05	20.72	0.16
45	1.00	1.00	46.05	20.72	0.16
46	1.00	1.00	46.05	20.72	0.16
47	1.00	1.00	46.05	20.72	0.16
48	1.00	1.00	46.05	20.72	0.16
49	1.00	1.00	46.05	20.72	0.16
50	1.00	1.00	46.05	20.72	0.16
51	1.00	1.00	46.05	20.72	0.16
52	1.00	1.00	46.05	20.72	0.16
53	1.00	1.00	46.05	20.72	0.16
54	1.00	1.00	46.05	20.72	0.16
55	1.00	1.00	46.05	20.72	0.16
56	1.00	1.00	46.05	20.72	0.16
57	1.00	1.00	46.05	20.72	0.16
58	2.00	1.00	46.05	20.72	0.13
59	1.00	1.00	239.63	107.84	0.16
60	1.00	1.00	239.63	107.84	0.16
61	2.00	1.50	239.63	107.84	0.13
62	1.00	1.50	66.50	29.92	0.16
63	2.00	1.50	46.05	20.72	0.16
64	2.00	1.00	46.05	20.72	0.13
65	1.00	1.00	46.05	20.72	0.16
66	1.00	1.00	46.05	20.72	0.16

(Elaborado por GICA SAS)

Según el CCP (2014), si el valor de la capacidad de carga excede la resistencia a la compresión inconfiada de la roca o la resistencia nominal del concreto, entonces, la capacidad de carga asumida debe tomarse como el menor valor entre la resistencia a compresión inconfiada de la roca y la resistencia nominal del concreto. La resistencia nominal del concreto se calcula con la siguiente expresión:

$$Resistencia\ nominal\ del\ concreto = 0.30 * f'c \quad \text{Ecuación 3}$$

Donde:

- $f'c$ = Resistencia a la compresión del concreto

La resistencia nominal del concreto obtenida con la ecuación es de 8.40 MPa, y la carga máxima aplicada a la cimentación del Box es de 0.09 MPa. Como resultado se tiene que la carga total aplicada es menor que resistencia nominal del concreto, con lo que se cumple con lo exigido por el CCP (2014).

6.4. CÁLCULO DE ASENTAMIENTOS

Para el cálculo de asentamiento en la zapata diseñada se utilizó la Ecuación 4, que aplica para los materiales evaluados. El asentamiento se estimó en función del ancho efectivo de la zapata y se tuvieron en cuenta los efectos de la geometría de la zapata. Se utilizó el método de semiespacio, que asume que la zapata es flexible y se apoya en un material homogéneo. El asentamiento elástico de zapatas se estimó utilizando la siguiente expresión:

$$S_e = \frac{[q_0(1-\nu^2)\sqrt{A'}]}{E_s\beta_z} \quad \text{Ecuación 4}$$

Donde:

- S_e = Asentamiento elástico
- q_0 = Esfuerzo vertical aplicado
- ν = Relación de poisson
- A' = Área efectiva de la zapata (mm^2)
- E_s = Módulo de elasticidad del material
- β_z = Factor de forma especificado en la Tabla 21.

Tabla 21. Factores de forma (elasticidad y rigidez),

L/B	β_z RIGIDEZ
Circular	1.13
1	1.08
2	1.10
3	1.15
4	1,19
5	1.24
6	1,26
10	1.41

(Tomado de EPRI (1983) (CCP, 2014)

En la Tabla 22 se relacionan los resultados de los asentamientos elásticos esperados en zapata de cada una de las cimentaciones.

Tabla 22. Asentamientos esperados en las cimentaciones de las obras hidráulicas

OBRA	B (m)	H (m)	ASENTAMIENTOS ELÁSTICOS (mm)
1	1.00	1.00	0.06
2	1.00	1.00	0.06
3	1.00	1.00	0.06
4	1.00	1.00	0.06
5	1.00	1.00	0.06
6	1.00	1.00	0.06
7	1.00	1.00	0.06
8	1.00	1.00	0.06
9	1.00	1.00	0.06

OBRA	B (m)	H (m)	ASENTAMIENTOS ELÁSTICOS (mm)
10	1.00	1.00	0.06
11	1.00	1.00	0.06
12	2.00	1.50	0.09
13	1.00	1.00	0.06
14	1.00	1.00	0.06
15	1.50	1.00	0.16
16	1.50	1.00	0.16
17	2.00	1.00	0.20
18	1.00	1.00	0.15
19	1.00	1.00	0.15
20	1.00	1.00	0.15
21	1.50	1.00	0.16
22	1.00	1.00	0.15
23	1.50	1.00	0.16
24	1.00	1.00	0.15
25	3.00	2.50	0.11
26	2.00	1.00	0.08
27	2.00	2.50	0.09
28	1.00	1.00	0.06
29	1.00	1.00	0.06
30	1.00	1.00	0.06
31	1.00	1.00	0.15
32	2.00	1.50	0.23
33	1.00	1.00	0.15
34	1.00	1.00	0.15
35	3.00	2.50	0.28
36	1.00	1.00	0.15
37	1.00	1.00	0.15
38	1.00	1.00	0.15
39	1.00	1.00	0.15
40	1.00	1.00	0.15
41	1.50	1.00	0.16
42	2.00	1.00	0.20
43	1.00	1.00	0.15
44	1.00	1.00	0.15
45	1.00	1.00	0.15
46	1.00	1.00	0.15
47	1.00	1.00	0.15
48	1.00	1.00	0.15
49	1.00	1.00	0.15
50	1.00	1.00	0.15
51	1.00	1.00	0.15
52	1.00	1.00	0.15
53	1.00	1.00	0.15
54	1.00	1.00	0.15
55	1.00	1.00	0.15
56	1.00	1.00	0.15

OBRA	B (m)	H (m)	ASENTAMIENTOS ELÁSTICOS (mm)
57	1.00	1.00	0.15
58	2.00	1.00	0.20
59	1.00	1.00	0.06
60	1.00	1.00	0.06
61	2.00	1.50	0.09
62	1.00	1.50	0.10
63	2.00	1.50	0.23
64	2.00	1.00	0.20
65	1.00	1.00	0.15
66	1.00	1.00	0.15

(Elaborado por GICA SAS)

6.1. CÁLCULO DE MÓDULO DE REACCIÓN

Para la fundación del Box Culvert se estimaron los valores de Módulo de reacción horizontal (k_h) y Módulo de reacción vertical (k_v), con las expresiones establecidas por Vesic (1961):

$$k_h = 0.65 \sqrt[12]{\frac{E_s H^4}{E_c I_D}} \frac{E_s}{(1 - \nu^2)} \quad ; \quad k_v = 0.65 \sqrt[12]{\frac{E_s B^4}{E_c I_B}} \frac{E_s}{(1 - \nu^2)}$$

Donde:

- E_s = Módulo de elasticidad del material de fundación
- E_c = Módulo de elasticidad del concreto
- I_D = Momento de Inercia de la sección transversal del Box Culvert; $I_D = \frac{1}{12} e^3 H$
- I_B = Momento de Inercia de la sección transversal del Box Culvert; $I_B = \frac{1}{12} e^3 B$
- H = Profundidad de desplante de la obra
- B= Ancho de la obra
- ν = Relación de Poisson del material de fundación

En la Tabla 23 se presentan los módulos de reacción horizontal y vertical calculado para cada Box Culvert contemplado en los diseños.

Tabla 23. Asentamientos esperados en las cimentaciones de las obras hidráulicas

OBRA	B (m)	H (m)	MÓDULO DE REACCIÓN HORIZONTAL (K_h) (MN/m³)	MÓDULO DE REACCIÓN VERTICAL (K_v) (MN/m³)
1	1.00	1.00	13.68	5488.68
2	1.00	1.00	13.68	5488.68
3	1.00	1.00	13.68	5488.68
4	1.00	1.00	13.68	5488.68
5	1.00	1.00	13.68	5488.68
6	1.00	1.00	13.68	5488.68
7	1.00	1.00	13.68	5488.68
8	1.00	1.00	13.68	5488.68
9	1.00	1.00	13.68	5488.68
10	1.00	1.00	13.68	5488.68
11	1.00	1.00	13.68	5488.68
12	2.00	1.50	14.79	6685.55
13	1.00	1.00	13.68	5488.68

OBRA	B (m)	H (m)	MÓDULO DE REACCIÓN HORIZONTAL (Kh) (MN/m³)	MÓDULO DE REACCIÓN VERTICAL (Kv) (MN/m³)
14	1.00	1.00	13.68	5488.68
15	1.50	1.00	13.23	2273.87
16	1.50	1.00	13.23	2273.87
17	2.00	1.00	12.92	2502.72
18	1.00	1.00	13.68	1986.41
19	1.00	1.00	13.68	1986.41
20	1.00	1.00	13.68	1986.41
21	1.50	1.00	13.23	2273.87
22	1.00	1.00	13.68	1986.41
23	1.50	1.00	13.23	2273.87
24	1.00	1.00	13.68	1986.41
25	3.00	2.50	16.95	7334.10
26	2.00	1.00	12.92	6915.31
27	2.00	2.50	17.53	6406.93
28	1.00	1.00	13.68	5488.68
29	1.00	1.00	13.68	5488.68
30	1.00	1.00	13.68	5488.68
31	1.00	1.00	13.68	1986.41
32	2.00	1.50	14.79	2419.57
33	1.00	1.00	13.68	1986.41
34	1.00	1.00	13.68	1986.41
35	3.00	2.50	16.95	2654.29
36	1.00	1.00	13.68	1986.41
37	1.00	1.00	13.68	1986.41
38	1.00	1.00	13.68	1986.41
39	1.00	1.00	13.68	1986.41
40	1.00	1.00	13.68	1986.41
41	1.50	1.00	13.23	2273.87
42	2.00	1.00	12.92	2502.72
43	1.00	1.00	13.68	1986.41
44	1.00	1.00	13.68	1986.41
45	1.00	1.00	13.68	1986.41
46	1.00	1.00	13.68	1986.41
47	1.00	1.00	13.68	1986.41
48	1.00	1.00	13.68	1986.41
49	1.00	1.00	13.68	1986.41
50	1.00	1.00	13.68	1986.41
51	1.00	1.00	13.68	1986.41
52	1.00	1.00	13.68	1986.41
53	1.00	1.00	13.68	1986.41
54	1.00	1.00	13.68	1986.41
55	1.00	1.00	13.68	1986.41
56	1.00	1.00	13.68	1986.41
57	1.00	1.00	13.68	1986.41
58	2.00	1.00	12.92	2502.72
59	1.00	1.00	13.68	5488.68

OBRA	B (m)	H (m)	MÓDULO DE REACCIÓN HORIZONTAL (Kh) (MN/m³)	MÓDULO DE REACCIÓN VERTICAL (Kv) (MN/m³)
60	1.00	1.00	13.68	5488.68
61	2.00	1.50	14.79	6685.55
62	1.00	1.50	13.68	3001.93
63	2.00	1.50	14.79	2419.57
64	2.00	1.00	12.92	2502.72
65	1.00	1.00	13.68	1986.41
	1.00	1.00	13.68	1986.41

(Elaborado por GICA SAS)

7. CONCLUSIONES

Terminado el estudio, se concluye lo siguiente, aclarando que este informe se limita al estudio geotécnico de cimentaciones para las obras de drenaje, teniendo en cuenta que en el sector no se incluyen puentes ni estructuras de contención.

- De acuerdo con la exploración geotécnica ejecutada en el marco del presente proyecto, se observó que la zona de estudio corresponde a materiales de la Formación geológica Penderisco representada en el sector por calizas, chert y basaltos. Estos presentan diferente comportamiento respecto a las condiciones de ambiente, y a pesar de ser muy resistentes a la meteorización, tienden a ser muy fracturados, generando desconfinamiento en algunas ocasiones.
- En la zona de estudio se encontraron también capas de suelo correspondiente a depósitos de vertiente y depósitos aluviales, los cuales se encuentran poco consolidados y con bloques de roca embebidos en matriz. Este material tiene un espesor promedio de 0.80 m desde la superficie de la vía, lo que indica que este ejercerá esfuerzos horizontales a las obras hidráulicas proyectadas. Esta condición se contempló en los diseños estructurales de las obras.
- En los análisis de capacidad de carga de las cimentaciones de los box culverts, se pudo observar que el material de fundación que corresponde a roca, soporta la aplicación de las cargas impuestas por estas obras hidráulicas.
- Considerando la calidad de la roca y tomando de referencia los cálculos realizados de capacidad portante, la capacidad admisible para estos materiales es mucho mayor que la carga total aplicada por el box. Según el CCP-14, si el valor de la capacidad de carga excede la resistencia a la compresión inconfiada de la roca o a la resistencia normal del concreto, entonces debe tomarse el menor valor, que para el caso de estudio es la resistencia nominal del concreto. Por lo tanto, la carga admisible es de 8.40 MPa, la cual sigue siendo superior a la carga aplicada del box.
- El máximo asentamiento esperado para las cargas aplicadas es de 0.23 mm, lo cual se considera admisible para este tipo de estructuras, debido a su magnitud y a que no genera un cambio representativo en la pendiente del box o de la estructura, con lo cual se garantiza el adecuado funcionamiento.

8. RECOMENDACIONES

A continuación, GICA presenta una serie de recomendaciones, en procura de un mejor proceso constructivo:

- El acero de refuerzo y los materiales para este sistema de cimentación deberán ser definidos por el área estructural.
- En el caso de realizar rellenos deberá emplearse un material que cumpla con lo establecido en el artículo 610-13 del INVIAS.
- Si se detecta flujo de agua durante las excavaciones, éstas se deberán mantener secas durante el proceso constructivo. Por ello se debe implementar un sistema de bombeo capaz de mantener la excavación en condiciones secas, a las profundidades recomendadas. Por estabilidad de las excavaciones que se programen, éstas no deberán permanecer abiertas durante periodos superiores a 24 horas, para lo cual se

recomienda no iniciar con el procedimiento mientras no se tenga en obra todo el material necesario para la construcción de la cimentación.

- Las cotas y tipos de materiales sobre los cuales se deben cimentar las estructuras, deben ser aprobados por el ingeniero responsable asignado a la obra, el cual deberá mantener suficiente claridad sobre los elementos de diseño y exploraciones presentadas en este informe.
- El constructor de la cimentación debe comprender perfectamente las características de los perfiles de suelos a atravesar, la existencia de mantos permeables o granulares, la existencia de clastos de roca, etc.; y debe prever los sistemas y equipos necesarios para alcanzar la cota de cimentación recomendada.
- La losa de cimentación de los Box Culverts, se deberá apoyar directamente sobre un solado de concreto de 0.10 m de espesor, con resistencia a la compresión mínima ($f'c$) de 14 MPa, la profundidad dependerá de la obra hidráulica diseñada para este sitio.
- Se recomienda tener una copia del presente informe en obra, y consignar las visitas y las recomendaciones realizadas por el ingeniero de suelos o las del interventor.

9. LISTA DE ANEXOS

- ANEXO 1** Memorias de cálculo, diseño de las cimentaciones para los Box Culverts
- ANEXO 2** Ensayos de laboratorio
- ANEXO 3** Planos de localización obras hidráulica. GICA-630-DAB.-CAMP.-VOL VII-HH-PL-001-Rev0

10. REFERENCIAS

BOWLES, J. E. "Foundation Analysis and Design". 4ta edición. McGraw – Hill International. Civil Engineering Series.

CCP. (2014). Norma Colombiana de Diseño de Puentes. Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica.

DAS, B.M. (1999). "Principios de Ingeniería de Cimentaciones". 4ta edición. California State University, Sacramento.

GONZÁLEZ DE VALLEJO, L. I. (2004). Ingeniería Geológica. PEARSON EDUCACIÓN S.A.


MURTHY, V. N. S. (2002). Geotechnical engineering: principles and practices of soil mechanics and foundation engineering. CRC press.

TERZAGHI, K., PECK, R. B., & MESRI, G. (1996). Soil mechanics in engineering practice. John Wiley & Sons.

INVIAS (2012). Manual de diseño de cimentaciones superficiales y profundas para carreteras.




ANEXO 1. MEMORIAS DE CÁLCULO, DISEÑO DE LAS CIMENTACIONES PARA LOS BOX CULVERTS


	VOLUMEN IV: ESTUDIO DE DISEÑO DE FUNDACIONES PARA OBRAS HIDRÁULICAS	
	INFORME	
	Documento: GICA-630-DAB.-CAMP.-VOL IV-INF-001-Rev0	
	Medellín, Antioquia, 05 de noviembre de 2021	ANEXOS



ANEXO 2. ENSAYOS DE LABORATORIO

	VOLUMEN IV: ESTUDIO DE DISEÑO DE FUNDACIONES PARA OBRAS HIDRÁULICAS	
	INFORME	
	Documento: GICA-630-DAB.-CAMP.-VOL IV-INF-001-Rev0	
	Medellín, Antioquia, 05 de noviembre de 2021	ANEXOS

ANEXO 3. PLANOS DE LOCALIZACIÓN OBRAS HIDRÁULICA. GICA-630-DAB.-CAMP.-VOL VII-HH-PL-001-REV0

	VOLUMEN IV: ESTUDIO DE DISEÑO DE FUNDACIONES PARA OBRAS HIDRÁULICAS	
	INFORME	
	Documento: GICA-630-DAB.-CAMP.-VOL IV-INF-001-Rev0	
	Medellín, Antioquia, 05 de noviembre de 2021	ANEXOS



**MEJORAMIENTO DE LA VÍA DABEIBA - CAMPARRUSIA
EN LA SUBREGIÓN OCCIDENTE DEL DEPARTAMENTO
DE ANTIOQUIA
km 2+950 – km 11+090**

**VOLUMEN V.
ESTUDIO DE ESTABILIDAD Y ESTABILIZACIÓN
DE TALUDES**

INFORME TÉCNICO

DOCUMENTO
GICA-630-DAB.-CAMP.-VOL V-INF-001-Rev0



Medellín, 05 de noviembre de 2021

LISTA DE DISTRIBUCIÓN


Copias de este documento han sido entregadas a dependencias de la GOBERNACIÓN DE ANTIOQUIA según se indica a continuación. Las observaciones que resulten de su revisión y aplicación deben ser informadas a esta oficina para proceder a realizar sus modificaciones:

DEPENDENCIA	Nº de Copias
ARGOS	1
BANCOLOMBIA	1
GICA S.A.S.	1

ARGOS Y BANCOLOMBIA son responsables de administrar las copias correspondientes a este documento dentro de sus grupos de trabajo.



Calle 42 A No. 63C-38 Conquistadores
Teléfono y FAX (574) 2351092
E-mail: proyectosgica@gicasas.com.co
MEDELLÍN. COLOMBIA – SUDAMÉRICA

	VOLUMEN V: INFORME DE ESTUDIO DE ESTABILIDAD Y ESTABILIZACIÓN DE TALUDES	
	INFORME	
	Documento: GICA-630-DAB.-CAMP.-VOL V-INF-001-Rev0	
	Medellín, Antioquia, 05 de noviembre de 2021	Página ii

ÍNDICE DE MODIFICACIONES

REVISIÓN	CAPÍTULO MODIFICADO	FECHA DE MODIFICACIÓN	OBSERVACIONES
0	N/A	05/11/2021	Versión Original

ESTADO DE REVISIÓN Y APROBACIÓN

TIPO DE DOCUMENTO	INFORME TÉCNICO			
NOMBRE DEL DOCUMENTO	VOLUMEN V: ESTUDIO DE ESTABILIDAD Y ESTABILIZACIÓN DE TALUDES			
DOCUMENTO	GICA-630-DAB.-CAMP.-VOL V-INF-001-Rev0			
REVISIÓN N°	PROFESIONAL	0	1	2

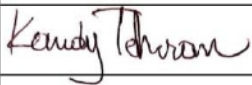

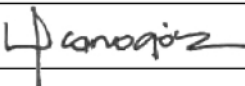
ELABORÓ	Nombre	Kandy Manuela Teheran Ochoa	X		
	Cédula de ciudadanía	1.118.858.262			
	Matrícula Profesional	20223-354229 CES			
	Firma				
	Fecha	05/11/2021			
	Nombre				
	Cédula de ciudadanía				
	Matrícula Profesional				
	Firma				
	Fecha				
	Nombre				
	Cédula de ciudadanía				
	Matrícula Profesional				
	Firma				
	Fecha				
REVISÓ	Nombre	Oscar Miguel Zapata Rendón	X		
	Cédula de ciudadanía	1.128.397.023			
	Matrícula Profesional	05202250349 ANT			
	Firma				
	Fecha	08/11/2021			
APROBÓ Y PRESENTÓ GICA	Nombre	Luis Fernando Cano Gómez	X		
	Cédula de ciudadanía	7.525.194			
	Matrícula Profesional	1920201726 CAU			
	Firma				
	Fecha	08/11/2021			
APROBÓ CLIENTE	Nombre		X		
	Cédula de ciudadanía				
	Matrícula Profesional				
	Firma				
	Fecha				

TABLA DE CONTENIDO

1.	GENERALIDADES	1
1.1.	INTRODUCCIÓN	1
1.2.	OBJETIVOS	1
1.2.1	OBJETIVO GENERAL	1
1.2.2	ALCANCES	2
1.3.	LOCALIZACIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO	2
1.4.	METODOLOGÍA GENERAL	3
2.	DIAGNÓSTICO GEOTÉCNICO	3
2.1.1	SITIOS DE ATENCIÓN – CATEGORÍA BAJA	4
2.1.2	SITIOS DE ATENCIÓN – CATEGORÍA MEDIA	11
2.1.3	SITIOS DE ATENCIÓN – CATEGORÍA ALTA	13
3.	PLAN DE EXPLORACIÓN DEL SUBSUELO Y ENSAYOS	24
3.1.	EXPLORACIÓN DIRECTA	24
3.2.	ENSAYOS DE LABORATORIO Y PARÁMETROS GEOTÉCNICOS	27
3.2.1	RESULTADOS ENSAYOS DE CLASIFICACIÓN	27
3.2.2	RESULTADOS ENSAYOS DE CARACTERIZACIÓN MECÁNICA EN SUELOS	27
3.2.3	RESULTADOS ENSAYOS DE CARACTERIZACIÓN MECÁNICA EN ROCAS	27
3.2.4	CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA DE LOS MACIZOS ROCOSOS	28
3.2.5	MÓDULO DE ELASTICIDAD	30
4.	CATEGORIZACIÓN SITIOS DE ATENCIÓN CATEGORÍA ALTA	31
4.1.	TALUDES SUSCEPTIBLES A DESLIZAMIENTOS	31
4.1.1	ACTIVIDADES A REALIZAR	31
4.2.	EROSIÓN DE LA BANCA DE LA VÍA	32
4.3.	DESPRENDIMIENTO DE BLOQUES DE ROCA	32
5.	CONCLUSIONES	33
6.	RECOMENDACIONES	33
6.1.1	RECOMENDACIONES GENERALES	33
6.1.2	RECOMENDACIONES PARA INSTALACIÓN DE VETIVER E HIDROSIEMBRA	33
7.	LISTA DE ANEXOS	34
8.	REFERENCIAS	34

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación general del proyecto y del tramo en estudio	3
---	---

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Tramos e intervenciones a realizar entre el km 2+950 – km 11+090	2
Tabla 2. Resumen de los sitios de atención encontrados en la vía Dabeiba Camparrusia	4
Tabla 3. Inventario de sitios de atención clasificados como categoría baja	4
Tabla 4. Inventario de sitios de atención clasificados como categoría media	11
Tabla 5. Coordenadas y abscisados de lo sitios de categoría alta	13
Tabla 6. Información localización toma de muestras	25
Tabla 7. Resultados de ensayos de clasificación depósitos	27
Tabla 8. Resultados de ensayos de corte directo depósitos	27
Tabla 9. Resultados de ensayos de carga puntual	28
Tabla 10. Parámetros de roca adoptados para los análisis geotécnicos	28
Tabla 11. Parámetros y valoración para los macizos conformados por calizas	28
Tabla 12. Parámetros y valoración para los macizos conformados por cherts	29
Tabla 13. Parámetros y valoración para los macizos conformados por basaltos	29
Tabla 14. Clasificación geomecánica según Hoek-Brown para las calizas	29
Tabla 15. Clasificación geomecánica según Hoek-Brown para los cherts	29
Tabla 16. Clasificación geomecánica según Hoek-Brown para los basaltos	30
Tabla 17. Clasificación geomecánica según Barton-Bandis para las rocas del sitio	30
Tabla 18. Resumen de los módulos de elasticidad para la roca intacta (Modificado de CCP, 2014)	30
Tabla 19. Resumen de parámetros utilizados para el cálculo para el análisis geotécnico	30
Tabla 20. Sitios de atención de categoría alta – riesgo de deslizamiento	31
Tabla 21. Sitios de atención categoría alta - riesgo de erosión en la banca de la vía	32
Tabla 22. Sitios de atención de categoría alta - riesgo caída de bloques	32

LISTA DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1. Sitio 1 – Categoría alta - km 3+021	14
Fotografía 2. Sitio 2 – Categoría alta - km 3+149	14
Fotografía 3. Sitio 3 – Categoría alta - km 3+303	14
Fotografía 4. Sitio 4 – Categoría alta - km 3+333	15
Fotografía 5. Sitio 5 – Categoría alta - km 4+358	15
Fotografía 6. Sitio 6 – Categoría alta - km 4+515	16
Fotografía 7. Sitio 7 – Categoría alta - km 4+515	16
Fotografía 8. Sitio 8 – Categoría alta - km 4+680	16
Fotografía 9. Sitio 9 – Categoría alta - km 5+253	17
Fotografía 10. Sitio 10 – Categoría alta - km 5+850	17
Fotografía 11. Sitio 11 – Categoría alta - km 6+065	18
Fotografía 12. Sitio 12 – Categoría alta - km 6+153	18
Fotografía 13. Sitio 13 – Categoría alta - km 6+811	18
Fotografía 14. Sitio 14 – Categoría alta - km 7+083	19
Fotografía 15. Sitio 15 – Categoría alta - km 7+376	19

Fotografía 16. Sitio 16 – Categoría alta - km 7+565	20
Fotografía 17. Sitio 17 – Categoría alta - km 7+655	20
Fotografía 18. Sitio 18 – Categoría alta - km 7+942	21
Fotografía 19. Sitio 19 – Categoría alta - km 8+382	21
Fotografía 20. Sitio 20 – Categoría alta - km 8+440	21
Fotografía 21. Sitio 21 – Categoría alta - km 8+477	22
Fotografía 22. Sitio 22 – Categoría alta - km 8+882	22
Fotografía 23. Sitio 23 – categoría alta - km 9+303	23
Fotografía 24. Sitio 24 – Categoría alta - km 9+392	23
Fotografía 25. Sitio 25 – Categoría alta - km 9+443	23
Fotografía 26. Sitio 26 – Categoría alta - km 9+983	24
Fotografía 27. Sitio 27 – Categoría alta - km 10+784	24
Fotografía 28. Muestras de calizas extraídas de los macizos rocosos	25
Fotografía 29. Muestra de cherts extraída del macizos rocoso	26
Fotografía 30. Muestras de basaltos extraídos de los macizos rocosos.....	26
Fotografía 31. Muestras de depósitos	26

“MEJORAMIENTO DE LA VÍA DABEIBA - CAMPARRUSIA EN LA SUBREGIÓN OCCIDENTE DEL DEPARTAMENTO DE ANTIOQUIA” ABSCISADO km 2+950 – km 11+090

VOLUMEN V: ESTUDIO DE ESTABILIDAD Y ESTABILIZACIÓN DE TALUDES

INFORME TÉCNICO

DOCUMENTO: GICA-630-DAB.-CAMP.-VOL V-INF-001-Rev0

1. GENERALIDADES

1.1. INTRODUCCIÓN

GICA SAS está desarrollando para ARGOS SA y BANCOLOMBIA actividades como asesor técnico en los estudios y diseños para el mejoramiento de la vía Dabeiba – Camparrusia, en el departamento de Antioquia, la cual tiene una longitud total de 44.40 km aproximadamente. Se realizará el estudio en detalle por parte de esta consultoría, del tramo de la vía comprendido entre el km 2+950 y el km 11+090, abarcando 8.14 kilómetros del proyecto.

Sin embargo, del km 5+900 al km 6+000 se considera un sector especial, en donde la problemática de la vía está asociada a la socavación lateral del río, el estudio relacionado con el análisis de éste y el planteamiento de la solución no están incluidos en el alcance de este estudio, y deberá estar sujeto a evaluaciones y análisis futuros. Por lo anterior, este tramo no fue objeto de estudios geotécnicos, estudios de pavimentación y solo se contempló el diseño de obras hidráulicas.


El proyecto tiene como objetivo fundamental mejorar la infraestructura vial para incrementar la competitividad, promover el crecimiento económico, disminuir significativamente los costos de operación vehicular, con el consecuente mejoramiento de la calidad de vida de los habitantes y de los usuarios de la vía objeto de revisión, aprovechando la sección transversal disponible. Puesto que el alcance principal de este proyecto es en esencia la pavimentación, no se contemplan ampliaciones, ni recuperaciones de banca, y tampoco intervenciones para la estabilización de taludes. Partiendo de estas consideraciones mencionadas, fueron desarrollados todos los estudios y diseños por parte de GICA SAS.

Por lo anterior, en el presente informe se hace la identificación y descripción de los sitios de atención, clasificados por categorías de acuerdo al nivel de riesgo que representan en la vía. Así mismo, se describen de manera detallada los sitios considerados de categoría alta, dado que pueden tener afectaciones sobre el corredor vial en caso de una posible ocurrencia de falla, en los cuales se incluye la caracterización geomecánica de los materiales presentes. No se presentaron evaluaciones de estabilidad, ni propuestas de diseños de los sitios de atención de categoría alta dado que no está contemplado en el alcance, sin embargo, se anuncian y se establecen como sitios en observación.

1.2. OBJETIVOS

1.2.1 OBJETIVO GENERAL

El objetivo principal es identificar sitios donde la movilidad esté restringida de forma parcial o total por derrumbes, pérdidas de banca, pérdida de estructura u otro fenómeno que genere dicha afectación. Además de reconocer sitios de atención donde haya posibilidad de ocurrencia de deprendimiento.

	VOLUMEN V: INFORME DE ESTUDIO DE ESTABILIDAD Y ESTABILIZACIÓN DE TALUDES	
	INFORME	
	Documento: GICA-630-DAB.-CAMP.-VOL V-INF-001-Rev0	
	Medellín, Antioquia, 05 de noviembre de 2021	Página 1

1.2.2 ALCANCES

- Identificar los sitios críticos de la vía donde se evidencie afectación y restricción de la movilidad de forma parcial o total por eventos de desprendimientos o erosión de banca.
- Identificar sitios con probabilidad ocurrencia de falla que pueda afectar la vía durante o después de la construcción de la misma.
- Describir la problemática de cada uno de los sitios encontrados.

1.3. LOCALIZACIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

El municipio de Dabeiba está localizado en la subregión occidente del departamento de Antioquia, limita por el Norte con los municipios de Mutatá e Ituango, por el Este con los municipios de Ituango, Peque y Uramita, por el Sur con los municipios de Uramita y Frontino y por el Oeste con los municipios de Murindó y Mutatá. Su cabecera dista 183.00 km de la ciudad de Medellín, capital del departamento de Antioquia.

El proyecto se ubica en el municipio de Dabeiba y comprende la vía que va desde el casco urbano al corregimiento de Camparrusia, en cuyo recorrido la vía pasa por el corregimiento de Cruces, San José de Urama y se tiene la desviación al corregimiento de la Balsita, localidades que se encuentran localizados en la subregión de nororiental del municipio.

Los estudios y diseños para construcción se desarrollan con el objetivo de lograr la aprobación por parte de la Agencia para la Renovación del Territorio ART, previo visto bueno del Departamento Nacional de Planeación (DNP), para la inclusión en el banco de proyectos, del mejoramiento de la vía que comunica el corregimiento de Camparrusia con la cabecera de Dabeiba (Antioquia), municipio ubicado en una de las zonas más afectadas por el conflicto armado – ZOMAC.

El proyecto consta en la intervención de aproximadamente 8.14 kilómetros de vía, sin incluir los puentes, ampliaciones, recuperaciones de banca ni intervenciones para la estabilización de taludes. En la Tabla 1 se presentan los tramos y las intervenciones asociadas a cada uno teniendo en cuenta el alcance del proyecto.

Tabla 1. Tramos e intervenciones a realizar entre el km 2+950 – km 11+090

TRAMO	SUBTRAMO	ABSCISADO	LONGITUD (m)	INTERVENCIÓN
1	1.1	Km 2+950 – km 5+900	2950	Rehabilitación y mantenimiento: Obras hidráulicas, pavimentación
	-	Km 5+900 – km 6+000	100	Solo obras hidráulicas
	1.2	Km 6+000- km 7+000	1000	Rehabilitación y mantenimiento: Obras hidráulicas, pavimentación
2	-	Km 7+000 – km 11+090	4090	Rehabilitación y mantenimiento: Obras hidráulicas, pavimentación

(Elaborado por GICA SAS)

En la Figura 1 se presenta la localización general del proyecto y el tramo en estudio entre el km 2+950 al km 11+090.

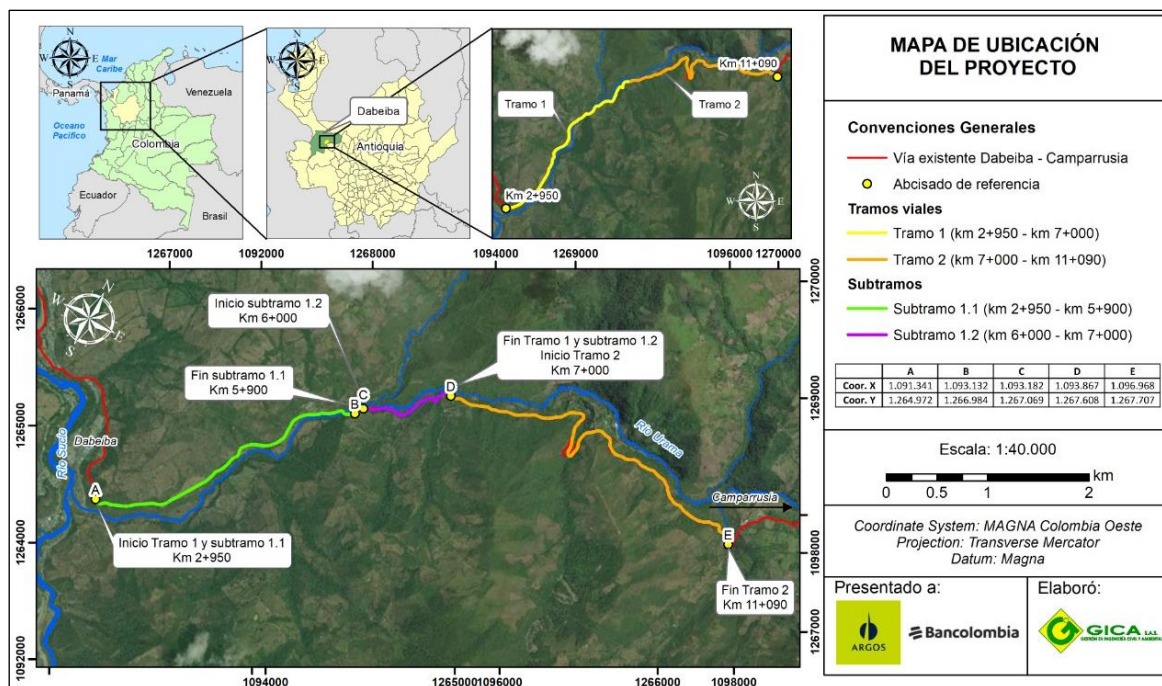


Figura 1. Ubicación general del proyecto y del tramo en estudio
(Elaborado por GICA S.A.S.)

1.4. METODOLOGÍA GENERAL

El desarrollo general del presente trabajo contemplo las siguientes etapas metodológicas:

- **Revisión información:** Consolidación de información obtenida del levantamiento realizado en visita de campo para los tramos objeto de estudio. Revisión de mapas topográficos con delimitación del área de interés para el proyecto, características geológicas, geomorfológicas, geotécnicas, de sismicidad, hidrografía, consulta de las estaciones hidrometeorológicas y revisión de las condiciones ambientales adyacentes al área de estudio.
- **Exploración geotécnica:** Se realizó la ejecución de diferentes apiques y toma de muestras, las cuales tienen como objetivo explorar los materiales que se encuentran en el subsuelo, además de tomar las muestras necesarias para la realización de los ensayos de laboratorio pertinentes.
- **Trabajo de laboratorio:** Las muestras obtenidas de campo, fueron sometidas a ensayos de laboratorio para determinar las propiedades índices y geomecánicas de los materiales presentes.
- **Trabajo de oficina:** En esta etapa se realizó el compendio general de la información, donde se desarrolla el diagnóstico geológico - geotécnico de lo identificado en campo.
- **Elaboración de informe:** Finalmente se recopiló toda la información obtenida con los resultados de laboratorio para hacer un análisis geotécnico y poder construir el informe final con las respectivas conclusiones y recomendaciones para el proyecto.
- **Elaboración de planos.** Se generaron planos de localización de los sitios de atención de categoría alta.

2. DIAGNÓSTICO GEOTÉCNICO

En el recorrido del tramo que corresponde al proyecto no se encontraron tramos de vía donde la movilidad esté restringida parcial o totalmente por un derrumbe, por una pérdida de banca, pérdida de estructura u otro fenómeno que haya generado afectación. Dado esto no se tienen sitios críticos materializados. Sin embargo, existen sitios de atención que pueden generar posibles afectaciones a la vía en cuestión.

De manera general, durante el recorrido de los 8.14 kilómetros, se evidenciaron taludes compuestos por basaltos, rocas calcáreas, lodolitas, y algunos de ellos presentan alto grado de fracturamiento, originando desprendimientos de bloques que caen al costado de la vía. Se encuentran también taludes de depósitos aluviales y depósitos de vertiente, y algunos presentan deslizamientos que generan escarpes. Estos sitios se consideran de atención, ya que pueden afectar la vía e impedir el flujo vehicular en caso de una eventualidad, además de que generan un limitante importante en cuanto al ancho de banca disponible para el trabajo de mejoramiento.

Además, se presenta erosión de banquetas en algunos sectores, producto de las corrientes fluviales del río Urama y de erosión aluvial que generan aguas de escorrentía provenientes de los taludes superiores. Un punto importante, que se analizará en detalle por el área de hidráulica, corresponde al box culvert ubicado en la abscisa del km 6+811, ya que presenta la banca y la vía con alto grado de erosión, por la cantidad y el constante flujo de agua con arrastre de material que trae consigo la quebrada que se ubica en este sector.

Se encontraron un total de sesenta y siete (67) sitios de atención, los cuales se clasifican basados en las condiciones geológicas y de estabilidad (ver Tabla 2).

Tabla 2. Resumen de los sitios de atención encontrados en la vía Dabeiba Camparrusia

TRAMO	CATEGORÍA	CANTIDAD DE SITIOS
km 2+950 – km 11+090	Baja	32
	Media	8
	Alta	27
Total sitios		67

(Elaborado por GICA SAS)






A continuación, se presenta una descripción geotécnica general de cada uno de los sitios de atención encontrados, al igual que los aspectos más relevantes.






2.1.1 SITIOS DE ATENCIÓN – CATEGORÍA BAJA






En este se describen sectores donde se presentan principalmente procesos de erosión a nivel superficial de los materiales expuestos, que pueden provocar flujos de suelos o detritos, generando un grado de afectación bajo sobre la vía por acumulación de material al costado de la misma. En general, estos sitios tienen alturas de máximo 10.00 m, cubiertos por vegetación, lo que favorece la estabilidad. En la Tabla 3 se muestran los sitios de atención considerados en esta categoría.






Tabla 3. Inventario de sitios de atención clasificados como categoría baja






SITIO	ABSCISA	REGISTRO FOTOGRÁFICO	DESCRIPCIÓN (CATEGORÍA BAJA)
1	km 3+042		Muro de contención en concreto, tiene 21.00 metros de longitud, se ubica en la banca de la vía. No se observaron desportillamientos ni desviaciones en su alineamiento.
2	km 3+161		Talud compuesto por depósito de vertiente, tiene altura aproximada de 4.00 metros y 6.00 metros de longitud. Presenta pequeños escarpes, y el material es susceptible a erosión y deslizamientos.






SITIO	ABSCISA	REGISTRO FOTOGRÁFICO	DESCRIPCIÓN (CATEGORÍA BAJA)
3	km 3+487		Talud compuesto por depósito de vertiente, tiene 4.00 metros de altura y 8.00 metros de longitud aproximadamente. El talud se encuentra a 10.00 metros de la vía, lo cual disminuye la afectación a la vía ante un posible desprendimiento.
4	km 3+528		Talud compuesto por depósito de vertiente, tiene altura aproximada de 2.00 metros y 5.00 metros de longitud. No se observaron bloques caídos y presenta vegetación.
5	km 3+593		Talud compuesto principalmente por basaltos, tiene 5.00 metros de altura y 6.00 metros de longitud aproximadamente. Presenta depósitos de vertiente en la parte inferior del talud.
6	km 4+438		Talud compuesto por depósito de vertiente, tiene altura aproximada de 5.00 metros y 8.00 metros de longitud. Presenta abundante vegetación.
7	km 4+654		Talud compuesto por depósito de vertiente, tiene 5.00 metros de altura y 4.00 metros de ancho aproximadamente. Se observó un pequeño escarpe producto de un antiguo desprendimiento.

SITIO	ABSCISA	REGISTRO FOTOGRÁFICO	DESCRIPCIÓN (CATEGORÍA BAJA)
8	km 5+185		Talud compuesto por depósito de vertiente, tiene 4.00 metros de altura aproximada y 6.00 metros de longitud. El depósito aluvial suprayace la roca, tiene aproximadamente 3.00 metros de separación de la vía.
9	km 5+243		Talud compuesto por depósito de vertiente, tiene altura aproximada de 8.00 metros y 10.00 metros de longitud. Presenta abundante vegetación y raíces, lo que puede contribuir a la estabilidad.
10	km 5+535		Talud conformado por depósito aluvial, tiene altura aproximada de 10.00 metros y 20.00 metros de longitud. Presenta abundante vegetación. Se encuentra a 5.00 metros de la vía actual, lo que indica que puede generar menor afectación a la misma.
11	km 5+328		Talud compuesto por depósito aluvial, tiene altura aproximada de 20.00 metros y 15.00 metros de longitud. Presenta un escarpe producto de un deslizamiento antiguo, el material movilizado se encuentra en la pata del talud. No genera afectación directa a la vía.
12	km 5+400		Talud compuesto por depósito aluvial, tiene altura aproximada de 4.00 metros y 10.00 metros de longitud. Presenta abundante vegetación.

SITIO	ABSCISA	REGISTRO FOTOGRÁFICO	DESCRIPCIÓN (CATEGORÍA BAJA)
13	km 5+586		Talud de depósito de vertiente, tiene altura aproximada de 5.00 metros y 10.00 metros de longitud. Presenta abundante vegetación.
14	km 6+050		Talud compuesto por depósito de vertiente, tiene altura aproximada de 4.00 metros y 6.00 metros de longitud. El material es susceptible a erosión y a pequeños deslizamientos.
15	km 6+244		Talud conformado por depósito de vertiente, tiene altura aproximada de 5.00 metros y 10.00 metros de longitud. Se observaron bloques caídos en el costado de la vía.
16	km 6+294		Talud compuesto por depósitos aluviales, con una altura aproximada de 15.00 metros y 10.00 metros de longitud. Los depósitos no están consolidados, sin embargo, el talud se encuentra lejos de la vía, y genera una menor afectación a la misma.
17	K6+754		Talud conformado por rocas calcáreas. La altura es de 6.00 metros y longitud de 9.00 metros aproximadamente. El macizo rocoso se encuentra plegado y tiene bajo grado de fracturamiento y de meteorización.

SITIO	ABSCISA	REGISTRO FOTOGRÁFICO	DESCRIPCIÓN (CATEGORÍA BAJA)
18	km 6+852		Talud compuesto por roca calcárea, esta se encuentra plegada y tiene bajo grado de fracturamiento y de meteorización. La altura aproximada es de 10.00 metros y 7.00 metros de longitud.
19	km 6+892		Talud de depósitos de vertiente, tiene altura aproximada de 10.00 metros y 7.00 metros de longitud. Se observan bloques caídos en el costado de la vía.
20	km 7+025		Talud compuesto principalmente por depósito aluvial, con una altura aproximada de 4.00 metros y 8.00 metros de longitud. El material es fácilmente erodable.
21	km 7+083		Muro de contención en concreto, que se ubica en la banca de la vía, no presenta grietas visibles.
22	km 7+924		Talud compuesto principalmente por depósito de vertiente, tiene 2.00 metros de altura y 4.00 metros de longitud aproximada. Presenta desprendimientos y caída de rocas.

SITIO	ABSCISA	REGISTRO FOTOGRÁFICO	DESCRIPCIÓN (CATEGORÍA BAJA)
23	km 8+358		Muro de contención que se ubica en la banca de la vía, no presenta grietas visibles.
24	km 8+430		Muro de contención de 30.00 metros de longitud que se ubica en la banca de la vía, no presenta grietas visibles.
25	km 9+240		Talud compuesto por depósito de vertiente, de 6.00 metros de altura y 8.00 metros de longitud aproximadamente y es susceptible a erosión.
26	km 9+763		Talud compuesto por depósitos de vertiente, tiene una altura y longitud de 5.00 m. Es susceptible a erosión y movimientos.
27	km 10+467		Talud compuesto por depósitos de flujos, tiene 4.00 metros de altura y 10.00 metros de longitud aproximadamente. Tiene alta pendiente y es susceptible a erosión y a movimientos.

SITIO	ABSCISA	REGISTRO FOTOGRÁFICO	DESCRIPCIÓN (CATEGORÍA BAJA)
28	km 10+544		Talud compuesto por depósito de flujos, tiene aproximadamente 4.00 metros de altura y 8.00 metros de longitud. Presenta una pendiente subvertical. Existe riesgo deslizamiento por ser zona de flujo, sin embargo, si se moviliza material tendría una obstrucción mínima en la vía.
29	km 10+752		Talud compuesto por roca con altura de 2.00 metros y longitud de 4.00 metros aproximadamente. En caso de un posible desprendimiento no afectaría directamente la vía.
30	km 10+850		Talud compuesto por depósito de vertiente, susceptible a erosión y movimientos. Su altura aproximada es de 4.00 metros y longitud de 10.00 metros.
31	km 10+900		Talud compuesto por depósito de vertiente, tiene una altura aproximada de 5.00 metros y 8.00 metros de longitud. Es susceptible a erosión y movimientos.
32	km 10+994		Talud de depósito de vertiente, 10.00 metros de altura y 8.00 metros de longitud aproximada. Presenta gran cantidad de vegetación, susceptible a erosión y a movimientos.

(Elaborado por GICA SAS)

2.1.1.1 Actividades generales recomendadas

Los sitios mencionados representan un riesgo bajo para la vía, tanto en el momento de la construcción como a largo plazo, y la intervención que se requiere es mínima. Éstas se describen a continuación:

- Limpiar la zona donde se encuentren bloques caídos al pie de los taludes.
- Hacer mantenimiento y limpieza de forma periódica al talud y a la vegetación que sobresale a la vía.

2.1.2 SITIOS DE ATENCIÓN – CATEGORÍA MEDIA

En este apartado se relacionan los sitios donde se presentan principalmente procesos de erosión que generan flujos de materiales (suelos o detritos), generando un grado de afectación mayor al tráfico vehicular como consecuencia de la acumulación importante de material sobre la vía y/o debido a la posibilidad de caída de bloques. En la Tabla 4 se presentan los sitios de atención considerados como de categoría media.

Tabla 4. Inventario de sitios de atención clasificados como categoría media

SITIO	ABSCISA	FOTOGRAFÍA	DESCRIPCIÓN (CATEGORÍA MEDIA)
1	km 5+697		Talud conformado por basaltos que subyacen depósitos de vertiente, tiene una altura aproximada de 10.00 metros y 8.00 metros de longitud. Presenta grado de fracturamiento moderado y tiene abundante vegetación. Existe posibilidad de movimientos por el depósito de vertiente.
2	km 5+776		Talud compuesto principalmente por basalto que subyace un depósito de vertiente, tiene una altura aproximada de 25.00 metros y 20.00 metros de longitud, presenta alto fracturamiento y desprendimientos.
3	km 6+194		Talud compuesto por depósito de vertiente, tiene altura aproximada de 10.00 metros y 4.00 de longitud. Presenta una pendiente aproximada de 45°, se observan bloques caídos.
4	km 8+120		Talud compuesto por roca, con una altura de 6.00 metros y 7.00 metros de longitud. Presenta abundante vegetación, puede haber desprendimientos de bloques de roca.

SITIO	ABSCISA	FOTOGRAFÍA	DESCRIPCIÓN (CATEGORÍA MEDIA)
5	km 9+254		Talud conformado por rocas calcáreas, tiene una altura de 10.00 metros y 12.00 metros aproximadamente. El buzamiento de los estratos es contrario al talud lo que favorece la estabilidad. Sin embargo, se observan bloques desprendidos y planos de discontinuidades que pueden generar más desprendimientos de bloques.
6	km 9+835		Talud compuesto por basaltos con alto fracturamiento y por depósitos de vertiente que lo suprayacen. Tiene una altura aproximada de 6.00 metros y 8.00 metros de longitud. El talud es susceptible a erosión y movimientos.
7	km 10+259		Talud con 15.00 metros de altura y 12.00 metros de longitud, con pendiente muy pronunciada. Está conformado por basaltos altamente fracturados. Dado los planos de discontinuidades presentes, existe la posibilidad de desprendimientos de bloques.
8	km 10+949		Talud compuesto por depósito de vertiente, 20.00 metros de altura y 15.00 metros de longitud aproximadamente. Tiene alta inclinación, y es susceptible a erosión y movimientos.

(Elaborado por GICA SAS)

2.1.2.1 Actividades generales recomendadas

Para estos sitios de atención de categoría media se tienen las siguientes recomendaciones:

- Para los taludes compuestos por material rocoso, se recomienda limpiarlos, removiendo los bloques desprendidos.
- Para los taludes de depósitos de vertiente, se recomienda remover los bloques caídos y el material fino correspondiente a la matriz que se encuentra suelta.

2.1.3 SITIOS DE ATENCIÓN – CATEGORÍA ALTA

En este apartado se contemplaron sectores donde existen deslizamientos tipo rotacional, traslacional y/o erosivo. Además, se presentan caída de bloques, por el material rocoso altamente fracturado y sin confinamiento, los cuales pueden generar obstrucciones totales o parciales de la vía, poniendo en riesgo al tráfico vehicular. En la Tabla 5 se presenta las abscisas y coordenadas de los sitios considerados en esta categoría.

Tabla 5. Coordenadas y abscisados de lo sitios de categoría alta

SITIO DE ATENCIÓN CATEGORÍA ALTA	ABSCISA PRINCIPAL	COORDENADAS	
		NORTE	ESTE
1	km 3+021	1264951.452	1091412.187
2	km 3+149	1265004.768	1091518.897
3	km 3+303	1265070.048	1091662.062
4	km 3+333	1265089.902	1091680.815
5	km 4+358	1265871.343	1092290.087
6	km 4+515	1266029.537	1092341.509
7	km 4+515	1266029.537	1092341.509
8	km 4+680	1266167.708	1092383.718
9	km 5+253	1266605.531	1092652.690
10	km 5+850	1266947.138	1093103.612
11	km 6+045	1267098.064	1093226.564
12	km 6+153	1267133.755	1093319.966
13	km 6+811	1267484.522	1093775.924
14	km 7+083	1267616.634	1093954.806
15	km 7+376	1267693.076	1094232.212
16	km 7+565	1267737.202	1094407.222
17	km 7+655	1267751.344	1094498.103
18	km 7+942	1267861.287	1094760.520
19	km 8+382	1268083.877	1095112.867
20	km 8+440	1268034.654	1095108.988
21	km 8+477	1267992.150	1095102.974
22	km 8+882	1267741.082	1095202.706
23	km 9+303	1268036.455	1095371.850
24	km 9+392	1268003.521	1095449.410
25	km 9+443	1267966.443	1095474.859
26	km 9+983	1267955.907	1095984.249
27	km 10+784	1267795.156	1096714.598

(Elaborado por GICAS SAS)

2.1.3.1 Sitio 1. km 3+021

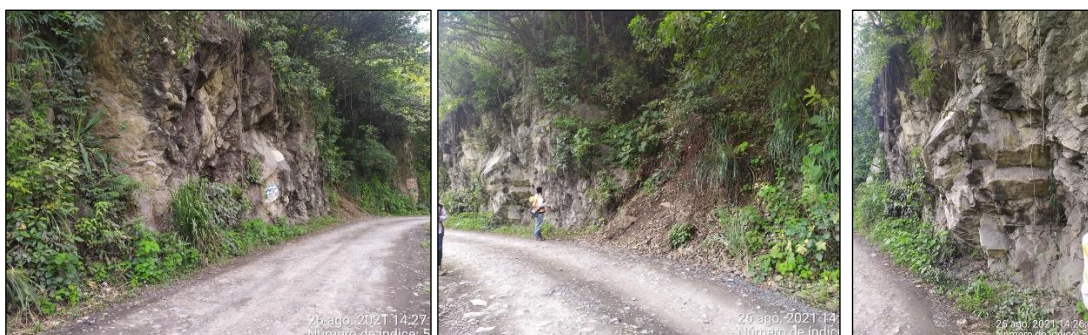
En este sitio se presenta erosión en la parte lateral e inferior de la vía, como se observa en la Fotografía 1. En este sector predominan materiales de depósito de vertiente que suprayacen la roca. Este fenómeno se presenta en una longitud de 13.00 metros aproximadamente. El agua de escorrentía favorece la remoción y transporte de material que conforma la banca.



Fotografía 1. Sitio 1 – Categoría alta - km 3+021
(Registro tomado por GICA SAS en 2021)

2.1.3.2 Sitio 2. km 3+149

El talud está compuesto principalmente por basaltos, tiene una altura aproximada de 25.00 metros y 30.00 metros de longitud, presenta discontinuidades con las siguientes direcciones: NS/65E, EW/90, N15E/40NW, rumbo y buzamiento respectivamente. Por el plegamiento y alto fracturamiento que presenta el macizo rocoso, se pueden generar desprendimientos de bloques, favorecidos por los sistemas de discontinuidades presentes. Además, el centro del talud presenta una zona fallada, y el material se encuentra triturado. Debido a sus características, el talud puede causar una afectación a la vía, si se producen desprendimientos o deslizamientos.



Fotografía 2. Sitio 2 – Categoría alta - km 3+149
(Registro tomado por GICA SAS en 2021)

2.1.3.3 Sitio 3. km 3+303

Este sitio corresponde a un talud conformado principalmente por material de depósito de vertiente, que se encuentra suprayaciendo la roca. La altura del talud es de 20.00 metros y 25.00 metros de longitud, aproximadamente. En la parte superior, se observó un escarpe producto de un antiguo deslizamiento. El material movilizado se depositó en la parte inferior del talud.



Fotografía 3. Sitio 3 – Categoría alta - km 3+303
(Registro tomado por GICA SAS en 2021)

2.1.3.4 Sitio 4. km 3+333

El talud que se muestra en la Fotografía 4, se compone principalmente por depósito de vertiente. La altura aproximada de este talud es de 15.00 metros y 10.00 metros de ancho. Se observó un deslizamiento del material, que provocó un escarpe de falla en la parte superior del talud. Los abundantes procesos erosivos acompañado con la composición geológica, favorecieron el fenómeno presentado en esta sección.



Fotografía 4. Sitio 4 – Categoría alta - km 3+333
(Registro tomado por GICA SAS en 2021)

2.1.3.5 Sitio 5. km 4+358

Este sitio corresponde a un talud compuesto por depósitos de vertiente. La altura y ancho aproximado es de 20.00 metros, en la Fotografía 8 se muestra el sitio de atención descrito. En la parte superior se observó un escarpe de falla y bloques pequeños producto de un antiguo deslizamiento. El material es susceptible a futuros eventos de remoción en masa.



Fotografía 5. Sitio 5 – Categoría alta - km 4+358
(Registro tomado por GICA SAS en 2021)

2.1.3.6 Sitio 6. km 4+515

En este sitio se presenta erosión de la banca de la vía, la cual está compuesta principalmente por depósito de vertiente, como se observa en la Fotografía 6. La longitud de este proceso es de aproximadamente 28.00 metros. Dado que el material se encuentra expuesto, sin cobertura vegetal, es susceptible a más procesos de erosión por lo que puede generar socavación y pérdida de la banca de la vía.



Fotografía 6. Sitio 6 – Categoría alta - km 4+515
(Registro tomado por GICA SAS en 2021)

2.1.3.7 Sitio 7. km 4+515

Este talud se conforma por material de depósitos de vertiente que suprayace basaltos. Tiene 10.00 metros de alto y 15.00 metros de longitud, aproximadamente. Presenta deslizamiento del material del depósito, el cual se encuentra en la parte inferior del talud.




Fotografía 7. Sitio 7 – Categoría alta - km 4+515
(Registro tomado por GICA SAS en 2021)

2.1.3.8 Sitio 8. km 4+680

En la abscisa del km 4+680 se localiza un talud conformado por depósito de vertiente, como se observa en la Fotografía 8. La altura aproximada es de 12.00 metros y de longitud tiene alrededor de 20.00 metros. El talud presenta una pendiente alta, llegando a ser mayor a 80°. La combinación de estos factores puede dar lugar a derrumbes o deslizamientos, situación que se ha presentado en algunos sitios conformado por el mismo material.



Fotografía 8. Sitio 8 – Categoría alta - km 4+680
(Registro tomado por GICA SAS en 2021)

	VOLUMEN V: INFORME DE ESTUDIO DE ESTABILIDAD Y ESTABILIZACIÓN DE TALUDES		
	INFORME		
	Documento: GICA-630-DAB.-CAMP.-VOL V-INF-001-Rev0		
	Medellín, Antioquia, 05 de noviembre de 2021		Página 16

2.1.3.9 Sitio 9. km 5+253

Es talud tiene una altura y longitud aproximada de 15.00 metros, y está conformado por depósitos de vertiente. Se presentan bloques grandes embebidos en matriz poco consolidada, y existen algunos bloques desprendidos, observados en la parte inferior del talud, lo que puede afectar la vía.



Fotografía 9. Sitio 9 – Categoría alta - km 5+253
(Registro tomado por GICA SAS en 2021)

2.1.3.10 Sitio 10. km 5+850

El talud ubicado en la abscisa km 5+850 se compone principalmente por material de depósito aluvial. La altura aproximada es de 15.00 metros y 10.00 metros de longitud. Existen bloques embebidos en matriz y otros que se han desprendido, ya sea por lavado de la matriz alrededor de los bloques o por la baja consolidación que tiene este material. Los bloques caídos están dispuestos al costado de la vía.

**Movimiento
de material
aluvial**



Fotografía 10. Sitio 10 – Categoría alta - km 5+850
(Registro tomado por GICA SAS en 2021)

2.1.3.11 Sitio 11. km 6+065

El talud ubicado en el km 6+065 lo compone en su mayoría material un depósito aluvial. Cuenta con una altura aproximada de 20.00 metros y 15.00 metros de longitud. Se observa un deslizamiento de bloques con material finos, y vegetación movilizada, que se acumuló en la parte inferior del talud. Dado que el material se encuentra poco consolidado, es susceptible a posibles movimientos de material.



Fotografía 11. Sitio 11 – Categoría alta - km 6+065
(Registro tomado por GICA SAS en 2021)

2.1.3.12 Sitio 12. km 6+153

En la Fotografía 12 se observa la erosión en la banca de la vía, este fenómeno se presenta en una longitud de 46.00 metros aproximadamente y el material que lo compone es principalmente depósito aluvial. Por otra parte, las aguas de escorrentía erosionan el material, disminuyendo su ancho y generando afectaciones a la vía, dado que se podría reducir el carril de tránsito vehicular.

**Erosión de
material de
la banca**



Fotografía 12. Sitio 12 – Categoría alta - km 6+153
(Registro tomado por GICA SAS en 2021)

2.1.3.13 Sitio 13. km 6+811

Los aportes de la quebrada Caliche son captados por un box culvert, el cual se encuentra obstruido por sedimentos. El material de aporte va desde sedimentos finos hasta bloques de 2.00 metros de diámetro en promedio. Esto ha impedido y obstaculizado el paso de agua por la obra. También se observaron erosionados los laterales de la obra en la parte inferior.

Depósito aluvial

**Bloques de
roca, aportes
de la quebrada.**



Fotografía 13. Sitio 13 – Categoría alta - km 6+811
(Registro tomado por GICA SAS en 2021)

2.1.3.14 Sitio 14. km 7+083

El talud ubicado en la abscisa km 7+083 se compone principalmente de un depósito aluvial colgado. La altura y longitud aproximada es de 20.00 metros. El depósito presenta bloques grandes de 1.00 metro de diámetro, embebidos en matriz y bloques más pequeños, que se encuentran expuestos en algunos sectores.



Fotografía 14. Sitio 14 – Categoría alta - km 7+083
(Registro tomado por GICA SAS en 2021)

2.1.3.15 Sitio 15. km 7+376

En la abscisa km 7+376 se localiza un talud conformado por calizas. Su altura aproximada es de 30.00 metros y 20.00 metros de longitud. Los estratos se encuentran plegados, evidenciando el fuerte tectonismo que sufrió esta zona. Debido a estos movimientos y plegamientos, la roca presenta un alto grado de fracturamiento, evidenciado en los planos de discontinuidades que buzcan en diferentes direcciones. Los sistemas presentes favorecen la inestabilidad del talud, dado que pueden generar posibles fallas tipo planar o en cuña.



Fotografía 15. Sitio 15 – Categoría alta - km 7+376
(Registro tomado por GICA SAS en 2021)

2.1.3.16 Sitio 16. km 7+565

En el sitio 18 localizado en la abscisa km 7+565, se observan dos condiciones. La primera es el talud localizado al costado de la vía, compuesto por cherts con pendiente casi vertical. En este sector, la roca presenta un bajo grado de meteorización, sin embargo, se presentan algunos bloques y registros de desprendimientos de bloques. La roca está dispuesta en estratos, cuyo rumbo y buzamiento es de N5W/90 respectivamente.

La segunda condición es el estado en el que se encuentra el muro localizado en la margen izquierda de la vía. Este tiene una longitud aproximada de 20.00 metros. El muro se encuentra empotrado y construido, sin embargo, no se ha colocado el lleno estructural, como se observa en la Fotografía 16.



Fotografía 16. Sitio 16 – Categoría alta - km 7+565
(Registro tomado por GICA SAS en 2021)

2.1.3.17 Sitio 17. km 7+655

En la abscisa km 7+655, se localiza un talud rocoso conformado por calizas. Su altura aproximada es de 15.00 metros y tiene una longitud de 20.00 metros. La calidad del macizo se ve afectada por sistemas de discontinuidades, que lo categorizan como altamente fracturado. Además, los estratos de los cherts se encuentran plegados, lo que es característico de zona de fallas. Los principales sistemas de discontinuidades que gobiernan la cinemática del talud son N60E/90 N30W/15SW, que corresponden a rumbos y buzamientos respectivamente.



Fotografía 17. Sitio 17 – Categoría alta - km 7+655
(Registro tomado por GICA SAS en 2021)

2.1.3.18 Sitio 18. km 7+942

El talud ubicado en la abscisa km 7+942 está compuesto principalmente por calizas, con una altura aproximada de 15.00 metros y 20.00 metros de longitud. Los estratos que conforman el macizo tienen un rumbo y buzamiento de N20W/65SW, se encuentran plegados y fracturados, producto de la actividad tectónica de la zona. En la Fotografía 18 se logran evidenciar varios sistemas de discontinuidades, que pueden generar posibles fallas de tipo planar, cuña. Esta condición es favorecida por las características intrínsecas de las discontinuidades, como el relleno arenoso que se encuentra entre las juntas, generando una superficie débil que favorece el desprendimiento.



**Desprendimiento
de bloques**

Fotografía 18. Sitio 18 – Categoría alta - km 7+942
(Registro tomado por GICA SAS en 2021)

2.1.3.19 Sitio 19. km 8+382

El sitio 21 corresponde a un talud rocoso compuesto por caliza, la cual se encuentra plegada y altamente fracturada. La altura y la longitud aproximada es de 15.00 metros. En la parte superior presenta bloques sin base, los cuales forman un negativo y pueden generar desprendimientos, favorecidos por los planos de discontinuidades. El rumbo y buzamiento del sistema de discontinuidad predominante es de N10E/30NW, respectivamente.

**Bloques de roca sin
base, susceptible a
desprendimiento.**



Fotografía 19. Sitio 19 – Categoría alta - km 8+382
(Registro tomado por GICA SAS en 2021)


2.1.3.20 Sitio 20. km 8+440

El sitio 22 se consideró como un sitio de atención de categoría alta dado que se evidencia una reducción significativa del ancho de la vía, como se muestra en la Fotografía 20. La longitud de este proceso es de 13.00 metros aproximadamente y el material que conforma el talud es principalmente calizas.

**Ancho reducido
de la banca**



Fotografía 20. Sitio 20 – Categoría alta - km 8+440
(Registro tomado por GICA SAS en 2021)

	VOLUMEN V: INFORME DE ESTUDIO DE ESTABILIDAD Y ESTABILIZACIÓN DE TALUDES		
	INFORME		
	Documento: GICA-630-DAB.-CAMP.-VOL V-INF-001-Rev0		
	Medellín, Antioquia, 05 de noviembre de 2021		Página 21

2.1.3.21 Sitio 21. km 8+477

El talud que se muestra en la Fotografía 21, presenta condiciones similares a los taludes rocosos descritos anteriormente, está compuesto de roca caliza, y por estar en una zona fallada se encuentra plegada y con alto grado de fracturamiento. La altura del talud es de 22.00 metros y longitud de 30.00 metros aproximadamente. En la zona inferior, el material presenta vegetación y depósitos de vertiente producto de antiguos desprendimientos. Debido a las discontinuidades presentes, existe la posibilidad de generarse falla tipo planar o en cuña.



Fotografía 21. Sitio 21 – Categoría alta - km 8+477
(Registro tomado por GICA SAS en 2021)

2.1.3.22 SITIO 22. km 8+882

Este sitio es considerado como el de mayor atención dentro de los que presentan erosión de la banca. Se encuentra ubicado cerca al río Urama y presenta erosión por corrientes fluviales y aguas de escorrentía, que lavan el material que conforma la base del afirmado, como se observa en la Fotografía 22. La longitud de la sección erosionada es de 28.00 metros aproximadamente, y el material que lo compone es principalmente depósito de vertiente.



Fotografía 22. Sitio 22 – Categoría alta - km 8+882
(Registro tomado por GICA SAS en 2021)

2.1.3.23 Sitio 23. km 9+303

En la abscisa km 9+303 se localiza un talud rocoso compuesto por caliza. La estratificación tiene la siguiente dirección: N10E/90 de rumbo y buzamiento respectivamente. La altura aproximada es de 20.00 metros y 25.00 metros de longitud. El macizo se encuentra plegado y altamente fracturado, los planos de discontinuidades presentes en el talud favorecen la presencia de posibles fallas planares y en cuña.



Fotografía 23. Sitio 23 – categoría alta - km 9+303
(Registro tomado por GICA SAS en 2021)

2.1.3.24 Sitio 24. km 9+392

Este talud está conformado principalmente por material de depósitos de vertiente, que suprayacen calizas. La altura y longitud aproximada es de 15.00 metros. En la parte superior del talud se presenta un escarpe producto de un deslizamiento antiguo, el material movilizado se encuentra en la pata del talud, como se observa en la Fotografía 24.



Fotografía 24. Sitio 24 – Categoría alta - km 9+392
(Registro tomado por GICA SAS en 2021)

2.1.3.25 Sitio 25. km 9+443

El talud que se muestra en la Fotografía 25, está conformado por roca calcárea, con una altura aproximada de 20.00 metros y una longitud 100.00 metros. El material se encuentra altamente fracturado, evidenciado en las discontinuidades presentes, lo que favorece la ocurrencia de fallas planares o en cuña. Los sistemas de discontinuidades que predominan en el talud tienen las siguientes direcciones: N80W/35SW, N80W/58NE y N20E/63NW que corresponden a rumbos y buzamientos respectivamente.



Fotografía 25. Sitio 25 – Categoría alta - km 9+443
(Registro tomado por GICA SAS en 2021)

2.1.3.26 Sitio 26. km 9+983

Este talud está conformado por depósitos de vertiente suprayaciendo calizas. Tiene una altura aproximada de 10.00 metros y 8.00 metros de ancho. Éste presenta un deslizamiento del depósito, cuyo material movilizado se encuentra en la parte inferior del talud. En la parte superior se tiene un negativo que es susceptible a deslizamientos.



Fotografía 26. Sitio 26 – Categoría alta - km 9+983
(Registro tomado por GICA SAS en 2021)

2.1.3.27 Sitio 27. km 10+784

El talud ubicado en la abscisa km 10+784 se compone principalmente de depósito de vertiente. La altura aproximada es de 10.00 metros y 5.00 metros de longitud. Presenta un deslizamiento rotacional y el material movilizado se encuentra en la pata del talud, como se observa en la Fotografía 27.




Fotografía 27. Sitio 27 – Categoría alta - km 10+784
(Registro tomado por GICA SAS en 2021)

3. PLAN DE EXPLORACIÓN DEL SUBSUELO Y ENSAYOS

Para el estudio geotécnico se desarrolló un programa de exploración de campo, compuesto por sondeos directos, así como por recorridos detallados por el sitio de estudio. Durante los sondeos directos se recuperaron muestras inalteradas de suelo, las cuales fueron descritas geológicamente para definir el tipo de material presente. Para la caracterización de la roca, se tomaron muestras de los diferentes materiales encontrados durante la visita. Sobre aquellas que se definieron como representativas se ejecutó un programa de ensayos de laboratorio, para su caracterización física y mecánica.

3.1. EXPLORACIÓN DIRECTA

Se ejecutaron cuatro (4) calicatas en todo el tramo de intervención, con el propósito de conocer los materiales que componen el subsuelo y caracterizarlos física y mecánicamente. Las calicatas alcanzaron una profundidad máxima de 1.00 m y de cada una se obtuvo una muestra cilíndrica. Las muestras de la roca fueron extraídas en siete (7) puntos con ayuda del martillo geológico.

	VOLUMEN V: INFORME DE ESTUDIO DE ESTABILIDAD Y ESTABILIZACIÓN DE TALUDES		
	INFORME		
	Documento: GICA-630-DAB.-CAMP.-VOL V-INF-001-Rev0		
	Medellín, Antioquia, 05 de noviembre de 2021		Página 24

En la Tabla 6 se presentan las abscisas y coordenadas de localización de los sondeos realizados en suelo y roca. Se puede observar que, la información se discretizó por tipo de material según la clasificación preliminar. En la Figura 1 se muestra su localización en planta.

Tabla 6. Información localización toma de muestras

MUESTRA	MATERIAL	ABSCISA	COORDENADAS	
			ESTE	NORTE
M1	Calizas	km 8+480	763563.8436	1268444.0394
M2		km 7+930	763213.0181	1268318.1051
M5		km 9+460	763950.2578	1268407.2250
M7		km 2+760	759669.4249	1265596.6142
M3	Cherts	km 7+560	762866.9352	1268200.5521
M4	Basaltos	km 10+280	764698.8843	1268275.7242
M6		km 2+910	759766.8979	1265479.5732
C1	Depósito de Vertiente	km 3+327	760120.9179	1265567.5008
C2	Depósito de Vertiente	km 11+095	765438.1395	1268141.9615
C3	Depósito Aluvial	km 5+330	761134.9128	1267148.7875
C4	Depósito Aluvial	Km 6+050	761692.8259	1267562.7738

(Elaborado por GICA SAS)

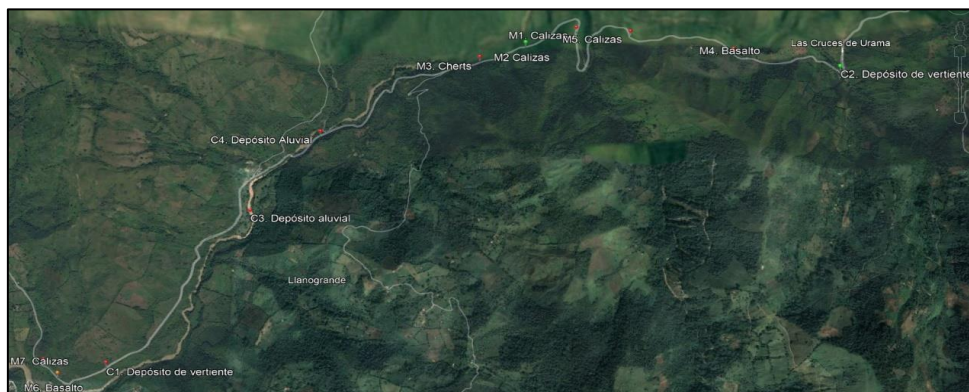


Figura 1. Localización de los apiques y toma de muestras
(Tomado de Google Earth – Modificado por GICA)

En la Fotografía 28, se muestran varias imágenes de los tipos de calizas existentes en la zona, estas tienen en general una tonalidad clara asociada a la presencia de carbonatos de calcio (CaCO_3) y oscura con contenido de materia orgánica. Estas rocas tienden a ser de grano medio a fino con textura masiva, en algunos casos puede observarse laminación de los minerales, caracterizando la textura sedimentaria de la roca.



Fotografía 28. Muestras de calizas extraídas de los macizos rocosos
(Registro tomado por GICA SAS en 2021)

En la Fotografía 29, se puede observar una muestra de chert, la cual tiende a ser oscura de acuerdo a su contenido de materia orgánica, el mineral principal que contiene esta roca, es cuarzo, siendo una roca rica en sílice y la cual

muestra una textura masiva fragmentada, que se asocia al fuerte fracturamiento que generalmente llegan a presentar. Tiende a ser una roca muy dura debido a la cantidad de sílice que presenta.



Fotografía 29. Muestra de cherts extraída del macizos rocoso
(Registro tomado por GICA SAS en 2021)

La Fotografía 30 muestra basaltos como la roca del sector, se exhibe como una roca de tonalidad verdosa que en algunos sitios se pueden observar levemente los minerales máficos, tiende a ser finogranular y el color verdoso es debido a la alteración de minerales ferromagnesianos a clorita. Esta roca tiene textura masiva y generalmente se encuentra como un cuerpo masivo en medio de rocas estratificadas.



Fotografía 30. Muestras de basaltos extraídos de los macizos rocosos
(Registro tomado por GICA SAS en 2021)

Los depósitos de vertiente están relacionados a aquellos eventos en los cuales la pendiente de la zona tiende a ser muy alta y favorece a la generación de deslizamientos, permitiendo que estos materiales reposen en un punto, en este caso la vía para los cuales muestra mezclas de suelo y gravas, siendo matriz soportados, con fragmentos de roca componentes de la zona, con formas angulosas.



Fotografía 31. Muestras de depósitos
(Registro tomado por GICA SAS en 2021)

En el caso de los aluviales que se encuentran en la zona, tienden a ser matriz soportados con aparición de fragmentos redondeados asociados al transporte del afluente, estos están compuestos por materiales variables que incluyen tanto materiales de la zona como rocas de zonas externas.

3.2. ENSAYOS DE LABORATORIO Y PARÁMETROS GEOTÉCNICOS

Luego de observar, describir y analizar las muestras extraídas de los sondeos, se seleccionaron las más representativas y las que mostraron cambios significativos en el tipo de material, con el fin de determinar sus propiedades físicas y mecánicas. En tal sentido, se realizaron ensayos de granulometría, límites de Atterberg (límite líquido y plástico) y corte directo. Con el propósito de caracterizar física y mecánicamente el material rocoso, se ejecutaron catorce (14) ensayos de carga puntual. En el ANEXO 1 se puede consultar el reporte completo de los resultados.

3.2.1 RESULTADOS ENSAYOS DE CLASIFICACIÓN

Se tomaron los resultados de los ensayos de granulometría y de límites de consistencia para proceder a clasificar las muestras con base en el Sistema de Clasificación Unificada de Suelos (USCS). El resumen de los resultados se muestra en la Tabla 7.

Tabla 7. Resultados de ensayos de clasificación depósitos

MATERIAL	ABSCISA	GRAVAS (%)	ARENAS (%)	FINOS (%)	LL (%)	LP (%)	IP (%)	SUCS
Depósito de vertiente	km 11+095	46	44.80	9.20	NP	NP	0	GP-GM
Depósito de vertiente	km 3+327	60	32.90	7.10	NL	NP	0	GP-GM
Depósito aluvial	km 5+330	52	37.40	10.60	NP	NP	0	GW-GM
Depósito aluvial	km 6+050	13	77.80	9.20	NP	NP	0	SP-SM

(Elaborado por GICA SAS)

Los resultados muestran que los materiales de depósitos de vertiente y aluviales no presentan índice de plasticidad. Esta característica se relaciona directamente con el bajo porcentaje de material fino de las muestras, menor al 12%. Además, hay predominancia de los materiales grueso granulares, lo que favorece el comportamiento friccionante.

3.2.2 RESULTADOS ENSAYOS DE CARACTERIZACIÓN MECÁNICA EN SUELOS

Se ejecutaron dos (2) ensayos de corte directo consolidado drenado (CD), para determinar los parámetros de resistencia del suelo en condiciones efectivas. En la Tabla 8, se muestra el resumen de los resultados de los ensayos realizados a los depósitos localizados en el sitio de estudio.

Tabla 8. Resultados de ensayos de corte directo depósitos

MATERIAL	Φ (°)	C (kPa)
km 5+330	35.3	0.079
Km 6+050	37.4	1.79

(Elaborado por GICA SAS)

3.2.3 RESULTADOS ENSAYOS DE CARACTERIZACIÓN MECÁNICA EN ROCAS

Para la caracterización mecánica del estrato rocoso se realizaron ensayos de carga puntual (ASTM D 5731). Con este ensayo se determinó el índice de resistencia a carga puntual I_s , con el cual se calculó la resistencia a compresión simple en distintos tipos de roca con la siguiente correlación¹:

$$\sigma_c = 24I_{s(50)}$$

Donde:

- σ_c = Resistencia a la compresión simple
- $I_{s(50)}$ = Índice de resistencia de carga puntual corregido

Las muestras corresponden a rocas calizas, cherts y balsatos y los resultados se muestran en la Tabla 9. Los parámetros finales se detallan en la Tabla 10 y corresponden al promedio del peso unitario y resistencia a la compresión, discretizados por tipo de material.

¹ Ingeniería Geológica. Luis Gonzáles de Vallejo. Ensayo de carga puntual, Pág 348

Tabla 9. Resultados de ensayos de carga puntual

MUESTRA		γ (kN/m ³)	I_s (MPa)	I_s (50) (MPa)	σ_c (MPa)
Calizas	M1-1	27.70	1.79	2.31	55,44
	M1-2		2.34	2.93	70,32
	M2-1	28.40	0.52	0.65	15,60
	M2-2		0.13	0.17	4,08
	M5-1	27.30	1.32	1.59	38,16
	M5-2		2.79	2.99	71,76
	M7-1	27.70	1.89	2.03	48,72
	M7-2		1.43	1.94	46,56
Cherts	M3-1	28.40	0.52	0.60	14,40
	M3-2		3.06	4.00	96,00
Basaltos	M4-1	28.30	4.31	4.79	114,96
	M4-2		2.34	2.90	69,60
	M6-1	27.90	2.35	3.36	80,64
	M6-2		0.59	0.82	19,68

(Elaborado por GICA SAS)

Tabla 10. Parámetros de roca adoptados para los análisis geotécnicos

MATERIAL	γ (kN/m ³)	I_s (MPa)	σ_c (MPa)
Calizas	27.70	1.91	45,80
Cherts	28.40	2.30	55.20
Basalto	28.10	3.13	75.12

(Elaborado por GICA SAS)

3.2.4 CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA DE LOS MACIZOS ROCOSOS

La clasificación geomecánica de los materiales encontrados en los macizos rocosos se presentan en las Tabla 11,

Tabla 12 y Tabla 13. Para la evaluación de la calidad del macizo se utiliza el índice GSI (Índice de resistencia geológica), el cual indica la condición del macizo y de los planos de discontinuidad que en él se presentan y el RQD (Índice de designación de la calidad de la roca), el cual da un indicativo del porcentaje de bloques mayores a 0.10 m. A continuación, se hace un análisis de la condición del macizo, los valores de RQD fueron obtenidos de los levantamientos en campo.

Tabla 11. Parámetros y valoración para los macizos conformados por calizas

PARÁMETRO (VALORACIÓN)	VALORACIÓN MÁXIMA	VALORACIÓN MÍNIMA	VALORACIÓN PROMEDIO	RMR PROMEDIO	GSI_{LEV}/GSI_{Perf}
Resistencia a la roca intacta, RCS	7	7	7	80 - 61	30-35
Índice de calidad del macizo rocoso, RQD	13	13	13		
Espaciado de las discontinuidades	10	8	9		
Continuidad	6	2	4		
Abertura	5	3	4		
Rugosidad	5	3	4		
Relleno	6	4	5		
Meteorización	6	3	4		
Agua de agua en las discontinuidades	15	10	12		
RMR, Índice del macizo rocoso			62		

(Elaborado por GICA SAS)

Tabla 12. Parámetros y valoración para los macizos conformados por cherts

PARÁMETRO (VALORACIÓN)	VALORACIÓN MÁXIMA	VALORACIÓN MÍNIMA	VALORACIÓN PROMEDIO	RMR PROMEDIO	GSI_{LEV}/GSI_{perf}
Resistencia a la roca intacta, RCS	7	4	5	60-41	35-40
Índice de calidad del macizo rocoso, RQD	13	13	13		
Espaciado de las discontinuidades	10	8	9		
Continuidad	6	2	4		
Abertura	5	3	4		
Rugosidad	3	0	1		
Relleno	6	4	5		
Meteorización	6	5	5		
Agua de agua en las discontinuidades	15	10	12		
RMR, Índice del macizo rocoso			58		

(Elaborado por GICA SAS)

Tabla 13. Parámetros y valoración para los macizos conformados por basaltos

PARÁMETRO (VALORACIÓN)	VALORACIÓN MÁXIMA	VALORACIÓN MÍNIMA	VALORACIÓN PROMEDIO	RMR PROMEDIO	GSI_{LEV}/GSI_{perf}
Resistencia a la roca intacta, RCS	7	7	7	60-41	42-45
Índice de calidad del macizo rocoso, RQD	13	13	13		
Espaciado de las discontinuidades	10	8	9		
Continuidad	6	4	5		
Abertura	5	3	4		
Rugosidad	5	3	4		
Relleno	4	2	3		
Meteorización	5	3	4		
Agua de agua en las discontinuidades	10	7	8		
RMR, Índice del macizo rocoso			57		

(Elaborado por GICA SAS)

De acuerdo a los resultados obtenidos en la valoración de RMR de Blenaswki, los Basaltos y los Cherts se clasificaron como roca REGULAR (III), y las calizas se clasificaron como Buena (II). Se espera que el macizo rocoso presente mecanismos de falla tipo caída de bloques dada su baja persistencia y espaciamiento de las discontinuidades. De la Tabla 14 a la Tabla 17 se muestran la clasificación geomecánica según Hoek-Brown para el macizo y los valores de JRC (Join Rugosity Coefficient) de Barton-Bandis para las discontinuidades respectivamente.

Tabla 14. Clasificación geomecánica según Hoek-Brown para las calizas

Clasificación según Hoek-Brown	SÍMBOLO	UNIDAD	GSI=35	GSI=40
	σ_{ci}	MPa	37	
	GSI	adim	35	40
	Mi	adim	12	12
	D	adim	0	0

(Elaborado por GICA SAS)

Tabla 15. Clasificación geomecánica según Hoek-Brown para los cherts

Clasificación según Hoek-Brown	SÍMBOLO	UNIDAD	GSI=30	GSI=35
	σ_{cl}	MPa	43	
	GSI	adim	30	35
	Mi	adim	12	12
	D	adim	0.70	0.70

(Elaborado por GICA SAS)

Tabla 16. Clasificación geomecánica según Hoek-Brown para los basaltos

Clasificación según Hoek-Brown	SÍMBOLO	UNIDAD	GSI=42	GSI=45
	σ_{cl}	MPa	56	
	GSI	adim	42	45
	Mi	adim	25	25
	D	adim	0.70	0.70

(Elaborado por GICA SAS)

Tabla 17. Clasificación geomecánica según Barton-Bandis para las rocas del sitio

JRC (JOIN RUGOSITY COEFFICIENT)	VALORES MÍNIMOS	VALORES MÁXIMOS	VALORES ADOPTADOS
Calizas	4	6	5
Cherts	0	2	1
Basalto	8	10	9

(Elaborado por GICA SAS)

3.2.5 MÓDULO DE ELASTICIDAD

El módulo de elasticidad se adoptó a partir de los valores propuestos por Kulhaway (1978) para roca intacta referenciados en el CCP, 2014. En la Tabla 18 se muestra la tabla de referencia donde se obtuvieron estos valores típicos.

Tabla 18. Resumen de los módulos de elasticidad para la roca intacta (Modificado de CCP, 2014)

TIPO DE ROCA	Módulo de elasticidad, E_i (MPa x 10^3)			DESVIACIÓN ESTÁNDAR (MPa x 10^3)
	VALORES MÍNIMOS	VALORES MÁXIMOS	PROMEDIO	
Calizas	89.6	4.5	39.30	25.7
Cherts	89.6	4.5	39.30	25.7
Basalto	84.1	29	56.10	17.9

(Elaborado por GICA SAS)

A continuación, se relacionan los parámetros adoptados para realizar la evaluación de estabilidad de los taludes relacionados en el apartado 2.

Tabla 19. Resumen de parámetros utilizados para el cálculo para el análisis geotécnico

PARÁMETROS GEOTÉCNICOS	CALIZA	CHERT	BASALTO
Peso unitario γ (kN/m ³)	27.70	28.40	28.10
Compresión inconfiada (MPa)	45.80	55.20	74.12
Clasificación GSI	30.00	35.00	42.00
Constante mi	12.00	12.00	25.00
Factor de alteración D	0.00	0.00	0.00
Constante m	0.99	1.18	3.15
Constante s	4.19E-04	7.30E-04	1.59E-03
Módulo de elasticidad (Roca) (MPa)	39.30	39.30	56.10
Módulo de elasticidad (Macizo rocoso) (MPa)	1928.47	2761.07	4734.70
Coeficiente de Poisson	0.23	0.23	0.23

(Elaborado por GICA SAS)

4. CATEGORIZACIÓN SITIOS DE ATENCIÓN CATEGORÍA ALTA

Una vez descrito las condiciones generales de cada talud, detallados en el capítulo 2, los sitios de atención de categoría alta se subclasificaron de acuerdo al tipo de material, y la problemática observada en cada punto descrito. Estos se presentan en los apartados siguientes.

4.1. TALUDES SUSCEPTIBLES A DESLIZAMIENTOS

Los taludes conformados por depósitos de vertientes o depósitos aluviales se muestran en la Tabla 20. Se observó la ocurrencia de deslizamientos y deprendimientos de material.

Tabla 20. Sitios de atención de categoría alta – riesgo de deslizamiento

SITIO	ABSCISA PRINCIPAL (km)	ALTURA (m)	LONGITUD (m)
3	km 3+303	20.00	25.00
4	km 3+333	15.00	10.00
5	km 4+358	20.00	20.00
7	km 4+515	10.00	15.00
8	km 4+680	12.00	20.00
9	km 5+253	15.00	15.00
10	km 5+850	15.00	10.00
11	km 6+045	20.00	15.00
13	km 6+811	5.00	8.00
14	km 7+083	20.00	20.00
24	km 9+392	15.00	15.00
26	km 9+983	10.00	8.00
27	km 10+784	10.00	5.00

(Elaborado por GICA SAS)

Estos taludes se ubican principalmente en pendientes morfológicas denominadas laderas erosivas, donde es común encontrar deslizamientos a lo largo de ellas. En términos generales, tanto los depósitos de vertiente como los depósitos aluviales descritos para la zona de interés, corresponden a acumulaciones de material en su mayoría matriz soportados, conformados por una matriz de sedimentos de tamaño grava y arena, de poca consistencia, humedad moderada y que presenta poca a nula compacidad; en la cual se encuentran embebidos bloques de roca de distintos tamaños y de diversa composición.

Una característica predominante de estos sitios es que el material de depósito se encuentra suprayaciendo un material rocoso, según lo observado en campo en algunos sectores. Esta condición hace posible que se genere una superficie de falla entre los dos materiales, lo que, combinado con aumento en la presión de poros por eventos de precipitación, puede ser detonante de movimientos de material.

Considerando los resultados obtenidos en la caracterización mecánica, se evidenció que los parámetros de los materiales son característicos de suelo poco consolidado, lo que es congruente con la información levantada en campo. Esta condición es un factor detonante en estos taludes, generando posibles condiciones de inestabilidad.

Dichas características, que son reiterativas en los diferentes depósitos a lo largo del corredor vial, representan una problemática debido a las deficientes propiedades geotécnicas de los depósitos, lo cual sumado al grado de fracturamiento y el cambio de pendientes abrupto relacionados con una tectónica de bloques, conlleva a fenómenos como las desestabilización de las laderas y a la remoción de material.

4.1.1 ACTIVIDADES A REALIZAR

Para estos sitios de atención donde se presenta la condición descrita se propone realizar las siguientes actividades:

- Para los taludes donde se encuentre material desprendido, o poco consolidado producto de antiguos deslizamientos, se recomienda remover el material correspondiente a matriz suelta, bloques caídos y árboles con raíces desprendidas.
- Actividades revegetalización de los taludes que se encuentran denudados utilizando la técnica de hidrosiembra y tipo Vetiver.

4.2. EROSIÓN DE LA BANCA DE LA VÍA

Durante el recorrido se identificaron algunos sitios donde se ha presentado erosión en la banca de la vía, y se observa disminución en el ancho de la calzada. En la Tabla 21 se resumen los sitios donde se presenta esta condición.

Tabla 21. Sitios de atención categoría alta - riesgo de erosión en la banca de la vía

SITIO	ABSCISA PRINCIPAL	LONGITUD DE LA EROSIÓN (m)
1	km 3+021	13.00
6	km 4+514	28.00
12	km 6+153	46.00
20	km 8+440	13.00
22	km 8+882	28.00

(Elaborado por GICA SAS)

La problemática principal de estos sitios es la erosión de los materiales presentes en la banca en la vía, correspondiente a depósitos de vertiente o depósitos aluviales. La pérdida de material en estos sitios es principalmente por erosión fluvial, provocadas por las corrientes del río Urama y por las aguas de escorrentía provocando erosión aluvial. Al igual que en la desestabilización de las laderas, esta problemática se encuentra relacionada con aglomeraciones de material producto de la erosión de las unidades geológicas del área de interés.

Como se mencionó previamente, los depósitos generados presentan pobres propiedades geotécnicas, y se encuentran completamente expuestos a procesos de intemperie, lo cual produce que los depósitos sean susceptibles a la pérdida de material ocasionado por la erosión fluvial de sedimentos, conllevando a la disminución de la extensión de los depósitos y por ende del material en el cual se encuentra apoyado el corredor vial.

Los sitios descritos que presentan esta condición se establecen como sitios en observación, y ante alguna eventualidad o desprendimiento de material durante o después de la ejecución del proyecto, se deberá realizar un respectivo análisis de estabilidad.

4.3. DESPRENDIMIENTO DE BLOQUES DE ROCA

En este apartado se agruparon los taludes compuestos por material rocoso, que evidencian indicios de inestabilidad. Los sitios con estas características se presentan en la Tabla 22.

Tabla 22. Sitios de atención de categoría alta - riesgo caída de bloques

SITIO	ABSCISA	ALTURA (m)	LONGITUD (m)
2	km 3+149	25.00	30.00
15	km 7+376	30.00	20.00
16	km 7+565	25.00	27.00
17	km 7+655	15.00	20.00
18	km 7+942	15.00	20.00
19	km 8+382	15.00	15.00
21	km 8+477	22.00	30.00
23	km 9+303	20.00	25.00
25	km 9+443	20.00	100.00

(Elaborado por GICA SAS)

El desprendimiento de bloques de roca en el corredor vial se relaciona a groso modo con el marco estructural del área, que es de una tectónica compresiva, generando una densidad de fracturamiento alta en la unidades geológicas de la zona de estudio. La acomodación de la deformación de la dinámica regional, conllevó al desarrollo

de estructuras de deformación frágil, como múltiples sistemas de fallas y familias de diaclasas en las rocas que componen la zona de interés.

Por este motivo, en los sitios que presentan cortes para el trazado vial es posible observar rocas con un grado de fracturamiento alto, las cuales son susceptibles a desprendimientos y caídas de bloques de roca. Particularmente, se evidencia intercepción de discontinuidades que han dado lugar a desprendimiento en forma de cuña.

Los sitios descritos en este apartado se establecerán como sitios en observación, y ante alguna eventualidad o desprendimiento de rocas que obstaculice la movilidad en la vía, se requerirá un análisis de estabilidad.

5. CONCLUSIONES

Una vez identificados y descritos los sitios de interés geotécnico en el tramo de estudio, se puede concluir lo siguiente:

- Se concluye que en el tramo que corresponde al proyecto, a la fecha no existen sitios considerados como críticos, que restrinjan la movilidad total o parcial causado por un derrumbe, pérdida de banca, pérdida de estructura u otro fenómeno que genere afectación. Sin embargo, dada las condiciones de los materiales y el relieve escarpado en algunos sectores, existen sitios de atención que pueden generar inestabilidad y posibles afectaciones a la vía en cuestión.
- En general, los deslizamientos ocurridos en los macizo rocosos y de los compuestos por depósitos obedecen principalmente al alto grado de fracturamiento de los materiales y los cambios en las condiciones de presión de poros debido a las constantes lluvias, así como las altas pendientes de los taludes y la gran altura que implicaron los cortes.
- Se presenta la caracterización de los materiales, obteniendo parámetros a partir de ensayos de carga puntual para las muestras de roca, y ensayos de corte directo para las muestras de suelo. Estos valores servirán de base para futuros alcances del proyecto.
- Los sitios de atención de categoría alta establecidos como sitios en observación incluyen taludes compuestos por depósitos que presentan deslizamientos, fenómenos de erosión en la parte lateral de la banca de la vía y desprendimiento de bloques de roca. Estos se describieron y agruparon según la problemática identificada, sin embargo, no se presentan la evaluación de estabilidad ni propuestas de diseño, puesto que no está dentro del alcance de este proyecto.

6. RECOMENDACIONES


6.1.1 RECOMENDACIONES GENERALES

- Una vez iniciada la etapa de ejecución del proyecto, los materiales se deben disponer de una manera adecuada y en zonas donde no se favorezca el arrastre del material. Por tal motivo no es recomendable la acumulación de material sobre la margen de la vía o en sus cercanías. Además, ante la ocurrencia de precipitaciones, las zonas de depósitos deben ser cubiertas para evitar que la lluvia los lave y arrastre.
- Se debe concientizar a las personas aledañas al sector de realizar limpieza periódica de las obras, ya que de esto depende el correcto funcionamiento de las mismas.
- Se recomienda tener una copia del presente informe en obra, y consignar las visitas y las recomendaciones realizadas por el ingeniero de suelos o las del interventor.
- Se recomienda en la medida que sea posible realizar las actividades de construcción en épocas de verano. De no ser posible de debe realizar un manejo adecuado de las aguas de escorrentía.
- Cualquier cambio encontrado durante la ejecución de los trabajos deberá ser informado a GICA para tomar las medidas pertinentes.

6.1.2 RECOMENDACIONES PARA INSTALACIÓN DE VETIVER E HIDROSIEMBRA

6.1.2.1 Instalación de Vetiver

- La forma de establecimiento del Sistema Vetiver es plantar hileras de Vetiver repetidamente perpendiculares a la pendiente de tal forma que atrape los sedimentos que se transportan pendiente abajo.

	VOLUMEN V: INFORME DE ESTUDIO DE ESTABILIDAD Y ESTABILIZACIÓN DE TALUDES		
	INFORME		
	Documento: GICA-630-DAB.-CAMP.-VOL V-INF-001-Rev0		
	Medellín, Antioquia, 05 de noviembre de 2021		Página 33

- Para protección de taludes y laderas en riesgo de derrumbe se utiliza una regla general. Plantar a 1.00 m. entre hileras y 0.15 m, entre plantas.

6.1.2.2 Hidrosiembra

- La hidrosiembra se debe efectuar lo antes posible tras la finalización de las obras en esos sectores. Deberán ser de especies de probada capacidad colonizadora y con cierta capacidad de germinación en hidrosiembra o siembra directa según los casos.
- Forma de aplicación: La hidrosiembra se realizará en dos fases. La primera aplicación contendrá todos los componentes principales: semillas, parte del acolchado, parte del fijador y el agua. La segunda aplicación tiene como objetivo cubrir las semillas para favorecer su germinación, utilizando una mezcla con el resto de acolchado, fijador y agua.
- En el caso que la zona a tratar presente actividad de herbívoros importante, se puede incorporar algún producto repelente para disminuir la predación

7. LISTA DE ANEXOS


- ANEXO 1** Ensayos de laboratorio
 Densidad de muestras de roca Argos Dabeiba
 Ensayo de carga puntual Argos Dabeiba
 Granulometría y límites muestras de taludes
- ANEXO 2** Plano
 GICA-630-DAB.-CAMP.-VOL V-LG-GT-PL-Rev0
- ANEXO 3** Informe de chequeo
 GICA-630-DAB.-CAMP.-VOL V-INF-CH-001-Rev0

8. REFERENCIAS

- Deere y Patton. (1971). Estabilidad de taludes en suelos residuales. *IV congreso panamericano de San Juan Puerto Rico*.
- Terzaghi, K. (1996). Soil Mechanics in engineering practice. John Wiley & Sons.
- Claver Parías, I., Díaz Martín, M., and Martín, M. D., (1993), «Proyecto de restauración de los taludes y zonas anejas a una autovía», Inf. la Construcción, vol. 45, no. 425-426, pp. 123-134




ANEXO 1. ENSAYO DE LABORATORIO

	VOLUMEN V: INFORME DE ESTUDIO DE ESTABILIDAD Y ESTABILIZACIÓN DE TALUDES	
	INFORME	
	Documento: GICA-630-DAB.-CAMP.-VOL V-INF-001-Rev0	
	Medellín, Antioquia, 05 de noviembre de 2021	ANEXOS




ANEXO 2. PLANO

	VOLUMEN V: INFORME DE ESTUDIO DE ESTABILIDAD Y ESTABILIZACIÓN DE TALUDES	
	INFORME	
	Documento: GICA-630-DAB.-CAMP.-VOL V-INF-001-Rev0	
	Medellín, Antioquia, 05 de noviembre de 2021	ANEXOS



ANEXO 3. INFORME DE CHEQUEO

	VOLUMEN V: INFORME DE ESTUDIO DE ESTABILIDAD Y ESTABILIZACIÓN DE TALUDES	
	INFORME	
	Documento: GICA-630-DAB.-CAMP.-VOL V-INF-001-Rev0	
	Medellín, Antioquia, 05 de noviembre de 2021	ANEXOS