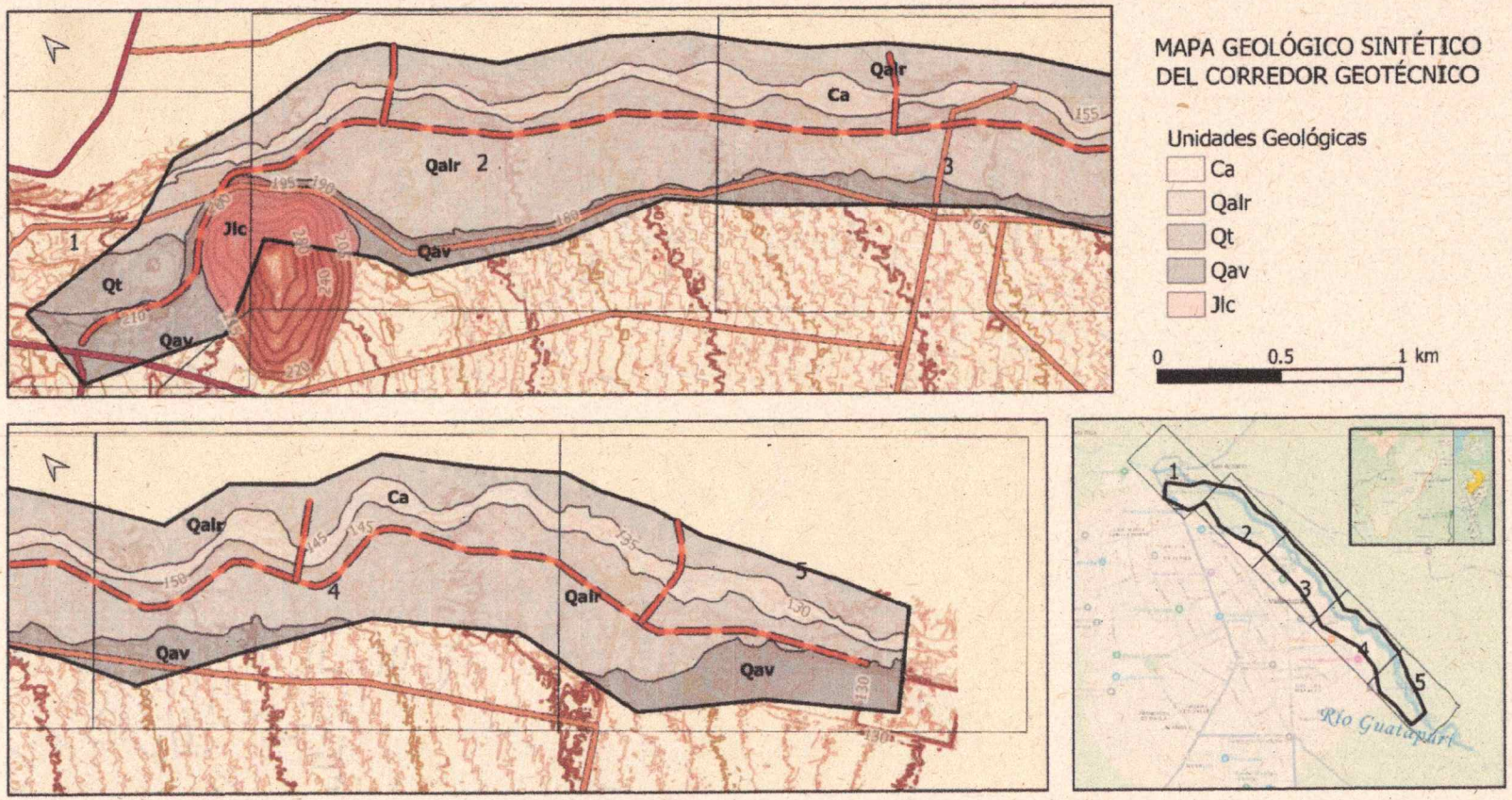


Ilustración 9: Mapa Geológico Sintético del Corredor Geotécnico
Elaboración propia

6.1.1 IGMIMBRITA DE LOS CLAVOS (Jlc)

Conforma los cerros y colinas al NW del corredor, entre los cuales resaltan el cerro Cicolac, en la margen derecha del río Guatapurí (ilustración 7) y el cerro del monumento del Santo Ecceomo en la margen izquierda. Litológicamente está constituida por rocas vulcanoclásticas (tobas e ignimbritas) de composición félsica a intermedia (traquítica a andesítica), de color gris, maciza y competente, con pátinas de meteorización marrón a ocre.

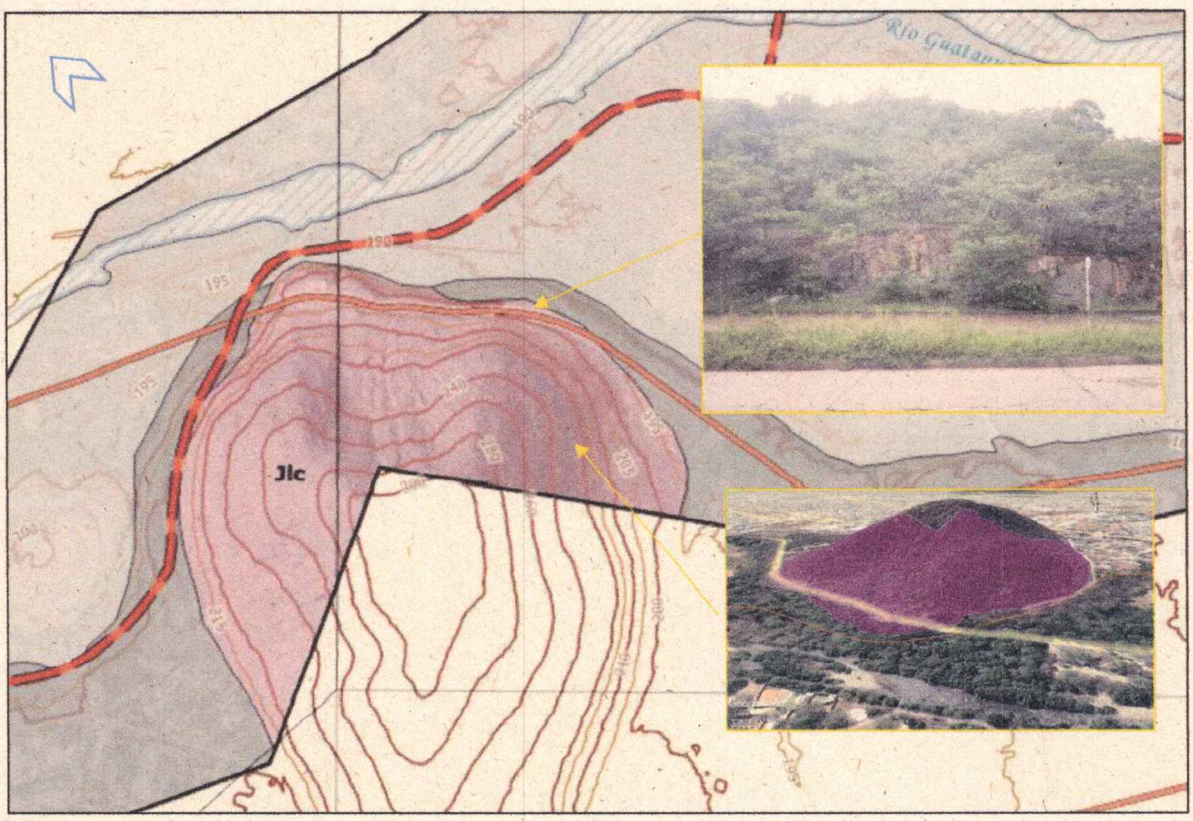


Ilustración 10: Cerro Cicolac, Unidad Igmimbrita de los Clavos (Jlc).
Elaboración propia.

Los cortes de la avenida carrera cuarta en el cerro Cicolac en proximidades al balneario Hurtado expone la roca fresca color gris oscuro, en capas gruesas (ilustración 10) y texturas de tobas soldadas (ilustración 11). Existen también buenos afloramientos en el cauce del río Guatapurí, conformando el paisaje rocoso en ambas orillas del balneario, en el sector del puente Hurtado, donde es característico el color ocre de la pátina que recubre la roca fresca, así como en el puente colgante.



Ilustración 11: Afloramientos de la Igmimbrita de Los Clavos
Tobas soldadas y brechas con autolitos. Elaboración propia

6.1.2 ABANICO ALUVIAL DE VALLEDUPAR (Qav)

Corresponde a los depósitos de abanico aluvial subreciente sobre el que se asienta la ciudad de Valledupar, conformado por gravas muy gruesas de composición polimíctica de rocas ígneas, volcánicas y vulcanosedimentarias. Es una grava clastosoportada de bloques y cantos redondeados a subangulares, en matriz areno lodosa (ilustración 12), que cambia a arenas y limos en la parte distal, con espesores superiores a los 40 m, cubiertos por una delgada capa de suelo. Son comunes los grandes bloques de más de 1 m de diámetro.

Conforma una típica geometría de cono aluvial, aterrazado, con ápice al NW, en las estribaciones de la SNSM y que se extiende cerca de 10 km al S y SE, paralelo al río Guatapurí, con lóbulos finales en los límites de la ciudad en sentido al río Cesar. Se encuentra en un nivel más alto de la planicie actual de depositación del río Guatapurí, en la margen derecha del río, marcado por un escarpe de más de 8 m de altura (ilustración 13), paralelo a la carrera cuarta de Valledupar, que disminuye

en altura a medida que se aleja del ápice, casi hasta desaparecer los últimos lóbulos a unos tres o cuatro kilómetros del río Cesar.



Ilustración 12: Gravas con bloques y cantos del Abanico de Valledupar
Corte para construcción en el sector del Parque de la Leyenda.

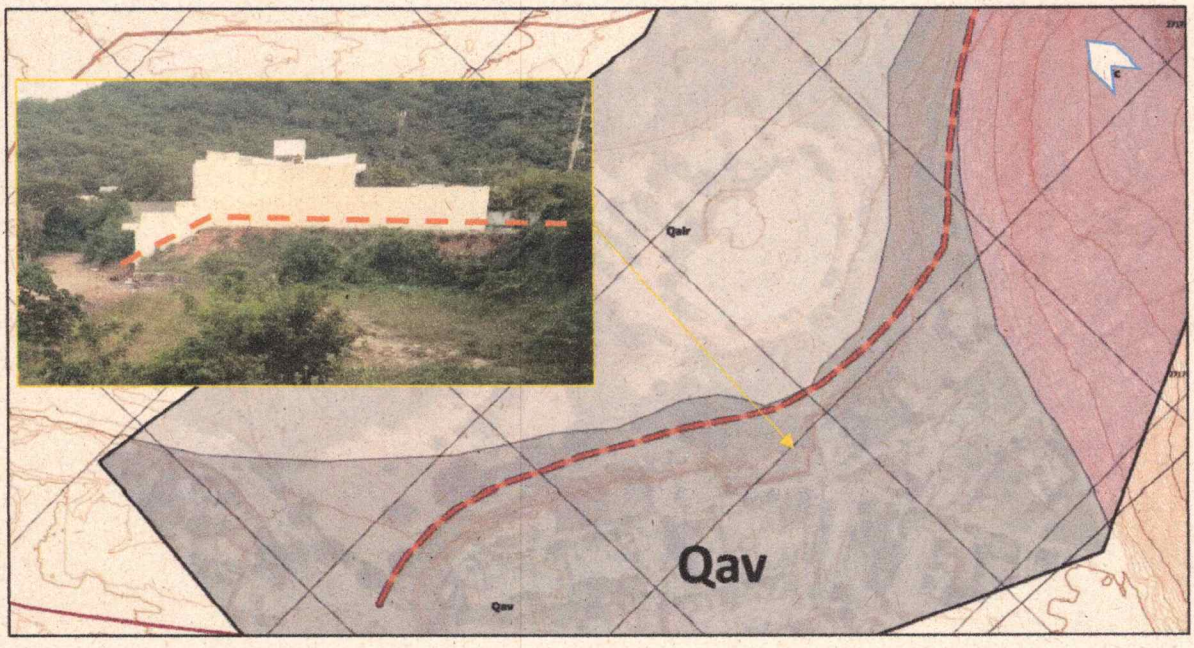


Ilustración 13: Detalle del mapa geológico Unidad Abanico Aluvial de Valledupar (Qav)
Foto de detalle de una excavación en el borde del talud del abanico. Note los materiales aluviales de gravas y la geoforma aterrazada. Elaboración propia.

6.1.3 ABANICO ALUVIAL RECIENTE (Qalr)

Comprende los depósitos aluviales recientes de gravas y arenas que se encuentran confinados entre los taludes del Abanico de Valledupar en el margen derecho, los taludes de las terrazas aluviales del margen izquierdo y el cauce activo del río Guatapurí.

Geomorfológicamente presenta la típica geometría de abanico con ápice en el balneario Hurtado y se extiende hacia el E y SE hasta desaparecer interdigitándose con la planicie de inundación del río Cesar (ilustración 15). Presenta gradación lateral desde gravas gruesas en su ápice a arenas y lodos en su pata, donde predominan geoformas de llanura de divagación de río trenzado con canales y brazos abandonados semimeándricos.

En la margen derecha del río, conforma un estrecho corredor cercano a los 300 m de ancho confinado en forma aterrazada entre el talud lateral del Abanico de Valledupar y la orilla del río (ilustración 15), sector por donde se ubicará la mayor parte de la obra.

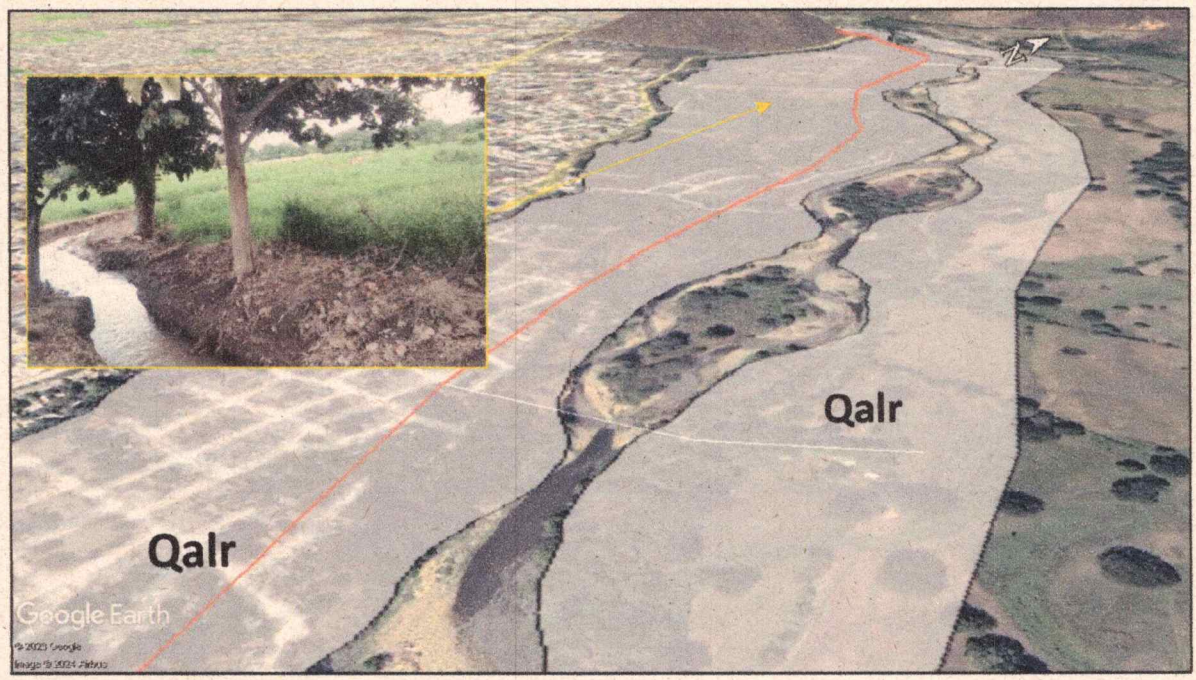


Ilustración 14: Abanico Aluvial Reciente (Qalr) en vista aérea
Imagen satelital Google Earth Pro (2024) con vista oblicua resaltando el Abanico Aluvial Reciente (Qal) mapeadas en color gris claro. La foto evidencia la morfología plana con materiales aluviales recientes.

6.1.4 CAUCE ACTIVO (Qca)

Corresponde a los depósitos de arenas y gravas aluviales actuales del cauce principal del río Guatapurí, que en este tramo se comporta de forma trenzada por la alta carga de sedimentos, con acumulaciones de islotes y barras principalmente transversales y laterales que son constantemente modificadas a medida que el curso principal y los canales entrecruzados divagan dentro de la llanura aluvial que conforma el abanico reciente.

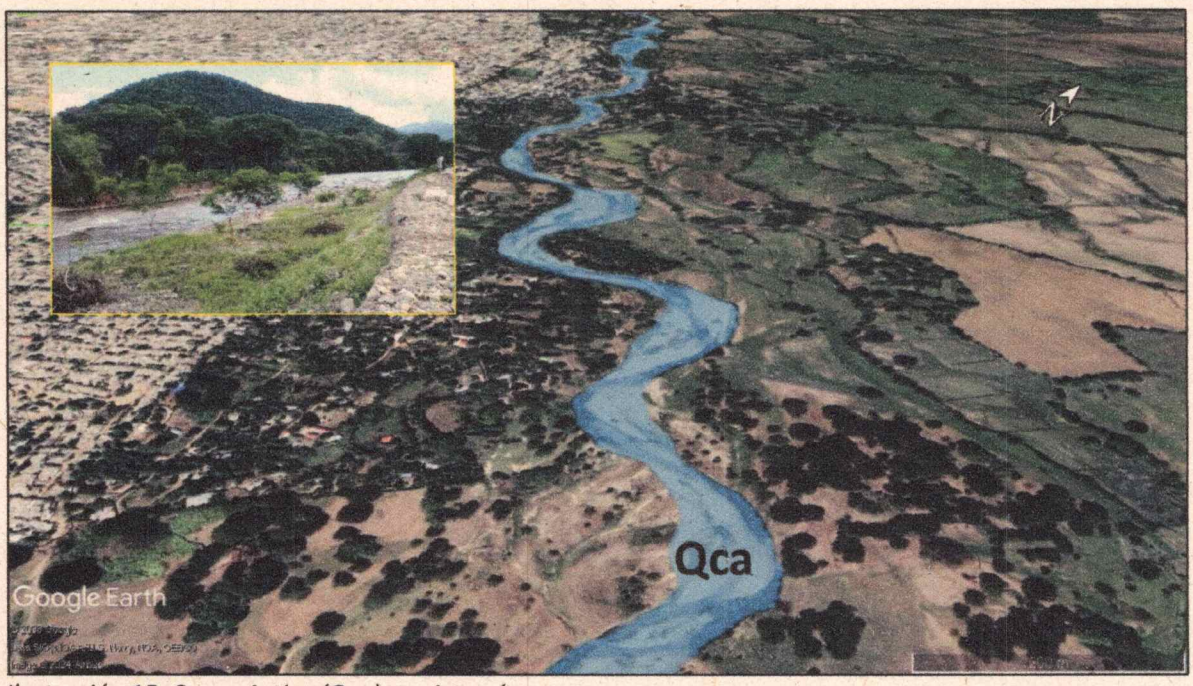


Ilustración 15: Cauce Activo (Qca) en vista aérea.
Imagen satelital Google Earth Pro (2024) con vista oblicua del canal trenzado, sinuoso del río Guatapurí.

6.2 UNIDADES GEOLÓGICAS SUPERFICIALES (UGS)

De acuerdo al Servicio Geológico Colombiano, la geología para ingeniería requiere de estudios que contengan información sobre la litología de los materiales presentes (rocas o suelos), su origen, disposición estructural, características físicas y mecánicas, hidrológicas, entre otras (SGC, 2017), basados en la geología previamente cartografiada.

En este sentido, la geología superficial se refiere al material expuesto en la superficie del terreno. Las Unidades Geológicas Superficiales (UGS) corresponden a un conjunto (homogéneo) de materiales geológicos que afloran en la superficie, el cual se clasifica en suelos o rocas desde el punto de vista ingenieril, que provienen del mismo origen y conservan en general las mismas características físicas y de comportamiento geomecánico (SGC, 2017).

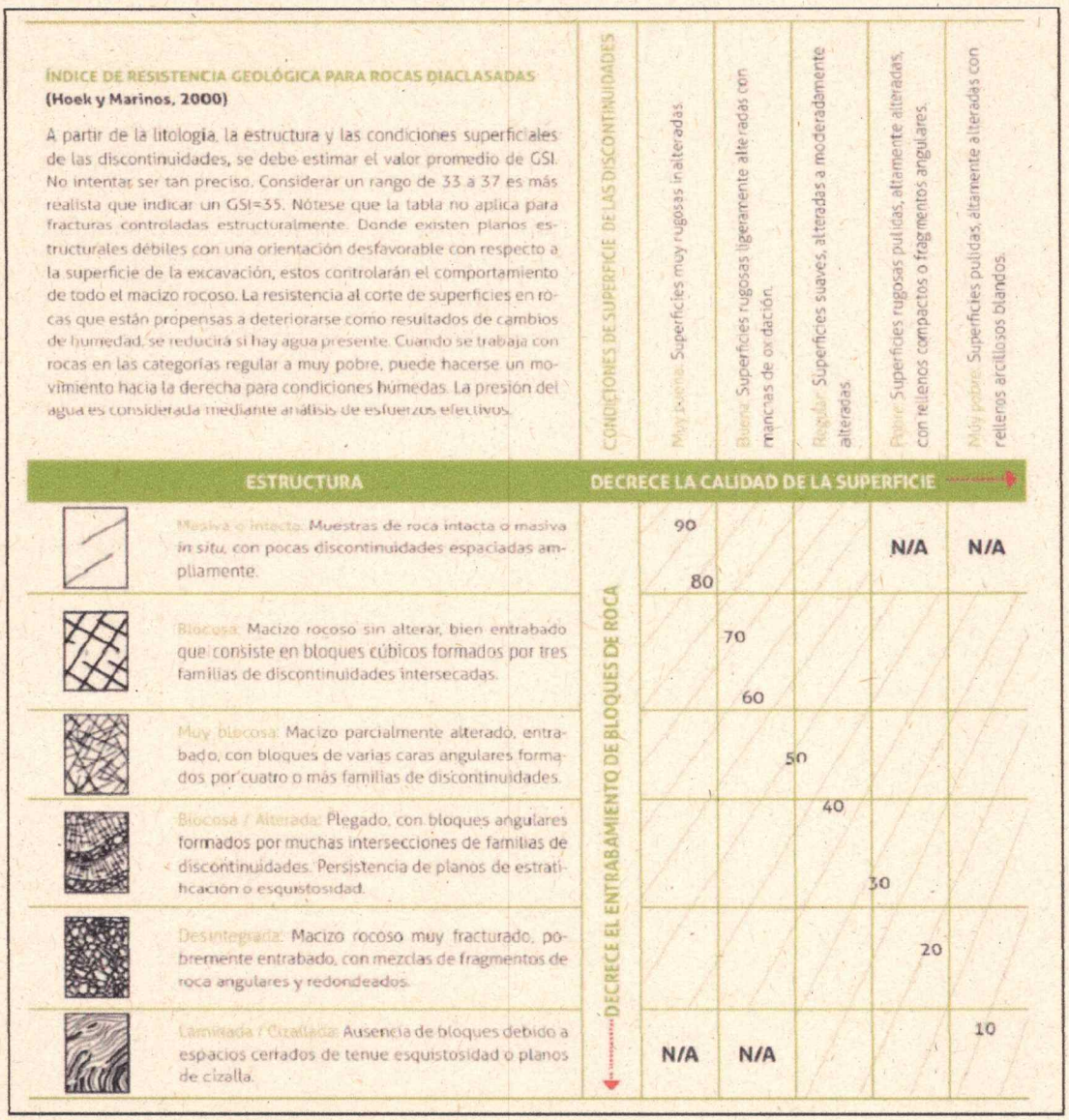
Cabe resaltar que en la clasificación de rocas se evalúa el índice de resistencia geológica (GSI), parámetro que no aplica para los suelos. Se emplea el sistema de clasificación cualitativa sugerida por el SGC (SGC, 2017), así como los rangos en los cuales se califica en macizo rocoso (ilustraciones 16 y 17).

» Tabla 8. Rangos de clasificación de macizo según el GSI

CALIDAD DE MACIZO	CLASE O TIPO DE MACIZO	RANGO GSI
Muy mala	VIII - IX	0 - 20
Mala	VI - VII	20 - 40
Regular	IV – V	40 - 60
Buena	II - III	60 - 80
Muy buena	I	80 - 100

Fuente: (Tomado de SGC, 2013).

Ilustración 16: Rangos de Clasificación de macizo según el GSI
Tomado de SGC, 2017



ÍNDICE DE RESISTENCIA GEOLÓGICA PARA ROCAS DIACLASADAS
(Hoek y Marinos, 2000)

A partir de la litología, la estructura y las condiciones superficiales de las discontinuidades, se debe estimar el valor promedio de GSI. No intentar ser tan preciso. Considerar un rango de 33 a 37 es más realista que indicar un GSI=35. Nótese que la tabla no aplica para fracturas controladas estructuralmente. Donde existen planos estructurales débiles con una orientación desfavorable con respecto a la superficie de la excavación, estos controlarán el comportamiento de todo el macizo rocoso. La resistencia al corte de superficies en rocas que están propensas a deteriorarse como resultados de cambios de humedad, se reducirá si hay agua presente. Cuando se trabaja con rocas en las categorías regular a muy pobre, puede hacerse un movimiento hacia la derecha para condiciones húmedas. La presión del agua es considerada mediante análisis de esfuerzos efectivos.

CONDICIONES DE SUPERFICIE DE LAS DISCONTINUIDADES

ESTRUCTURA	Muy buena: Superficies muy rugosas inalteradas.	Buena: Superficies rugosas ligeramente alteradas con mancha de oxidación.	Regular: Superficies suaves, alteradas a moderadamente alteradas.	Pobre: Superficies rugosas pulidas, altamente alteradas, con rellenos compactos o fragmentos angulares.	Muy pobre: Superficies pulidas, altamente alteradas con rellenos arcillosos blandos.
DECRECE LA CALIDAD DE LA SUPERFICIE →					
Masiva o intacta: Muestras de roca intacta o masiva *in situ*, con pocas discontinuidades espaciadas ampliamente.	90 – 80			N/A	N/A
Blocosa: Macizo rocoso sin alterar, bien entrabado que consiste en bloques cúbicos formados por tres familias de discontinuidades intersecadas.		70 – 60			
Muy blocosa: Macizo parcialmente alterado, entrabado, con bloques de varias caras angulares formados por cuatro o más familias de discontinuidades.			50 – 40		
Blocosa / Alterada: Plegado, con bloques angulares formados por muchas intersecciones de familias de discontinuidades. Persistencia de planos de estratificación o esquistosidad.				30 – 20	
Desintegrada: Macizo rocoso muy fracturado, pobremente entrabado, con mezclas de fragmentos de roca angulares y redondeados.					10
Laminada / Cizallada: Ausencia de bloques debido a espacios cerrados de tenue esquistosidad o planos de cizalla.	N/A	N/A			

↓ DECRECE EL ENTRABAMIENTO DE BLOQUES DE ROCA

Ilustración 17:Factor GSI para macizos rocosos homogéneos
Tomado de SGC, 2017

Las Unidades Geológicas Superficiales del corredor geotécnico se cartografiaron a escala 1:2000, generando 5 planchas incluidas en anexo 3. Esta cartografía se resume en el mapa sintético de UGS de la ilustración 18.

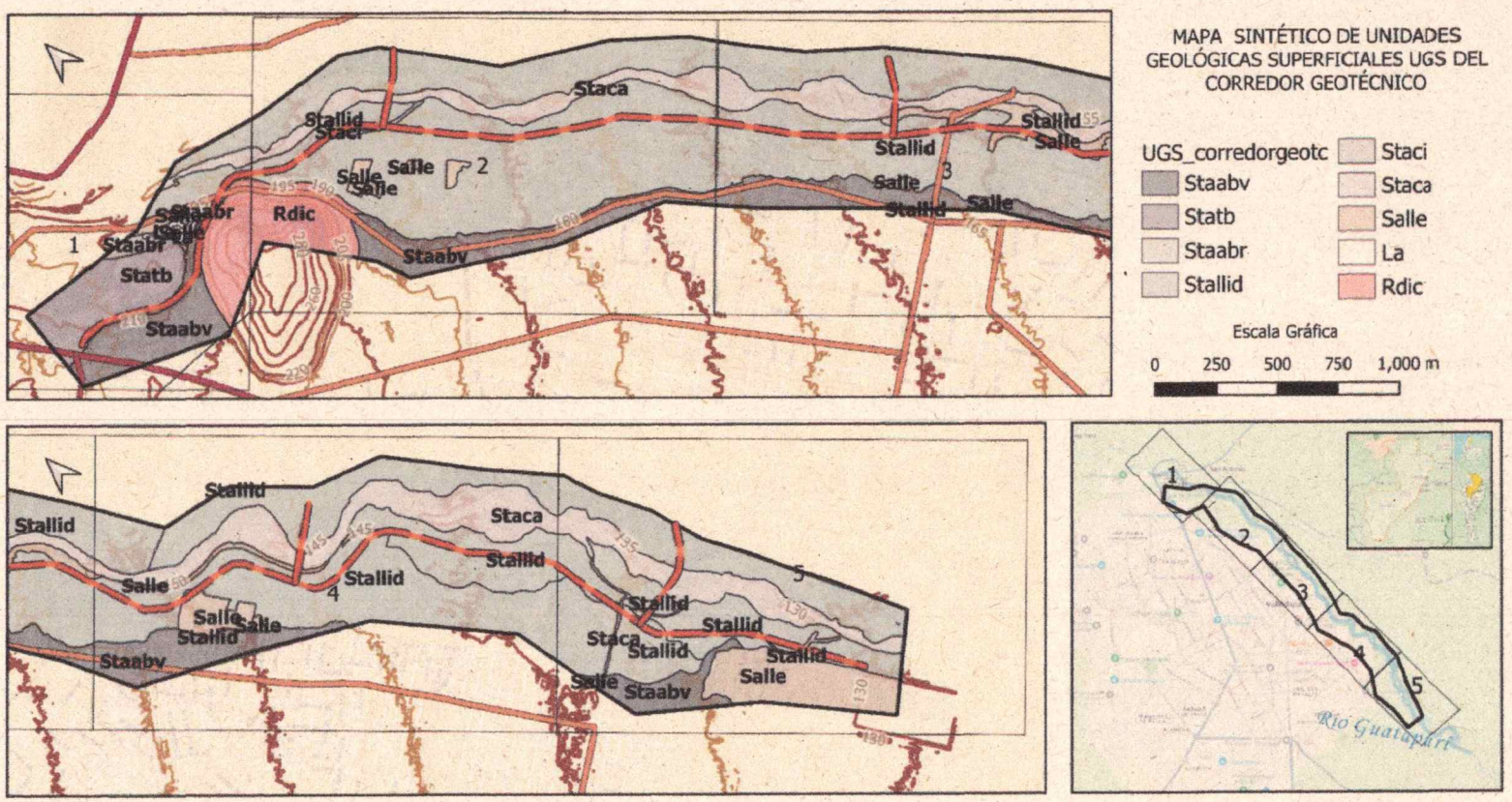


Ilustración 18: Mapa Sintético de Unidades Geológicas Superficiales
Elaboración propia

6.2.1 UNIDADES DE ROCA

6.2.1.1 Roca Dura de la Igmimbrita de los Clavos (Rdic)

Son las rocas macizas a blocosas, con superficies de las discontinuidades buenas, rugosas, ligeramente alteradas, con manchas de alteración, valores del índice geológico de resistencia GSI entre 70 y 80, dando una calidad del macizo buena, tipo II, clasificándose como Roca Dura. Litológicamente está constituida por rocas vulcanoclásticas (tobas e ignimbritas) de composición félsica a intermedia (traquítica a andesítica), de color gris, maciza y competente, de bajo fracturamiento (ver ilustración 11).

Estas rocas son de la Formación Ignimbrita de los Clavos que afloran en inmediaciones del cerro de Cicolac y en el cauce del río Guatapurí, baja a moderadamente diaclasada, decolorida, con un índice de resistencia a la compresión simple >250 MPa, clase R6, donde al golpe con el martillo sólo saltan esquirlas, roca extremadamente dura (ISRM, 1981 en SGC, 2017) . En cuanto a meteorización se encuentra débilmente meteorizada a fresca (grado I-II del perfil de Dearman, en SGC, 2017), con oxidación superficial variable. Estructuralmente presenta superficies de seudoestratificación en capas gruesas (ilustración 19).



Ilustración 19: Roca Dura de la Igmimbrita de Los Clavos
Corte de la avenida carrera 4, cerro Cicolac.

Por su litología vulcanoclástica soldada, se comporta como una roca de fábrica cristalina masiva, de humedad natural seca, de baja permeabilidad, grado de meteorización débil.

6.2.2 UNIDADES DE SUELO

Para la clasificación de las unidades de suelo se siguieron igulamente las guías del SGC. En total, se cartografiaron 7 unidades de suelo todas de origen transportado: una de origen antropogénico, 6 de origen aluvial, los cuales se describen a continuación:

6.2.2.1 Unidades de Suelo Transportado Antropogénico

6.2.2.1.1 Suelo Antrópico de Llenos (Salle)

Son depósitos artificiales de materiales heterogéneos y suelos, que comprende escombros contaminados con residuos sólidos, sobrantes de excavaciones de construcción, sobrantes o recebos de canteras, empleados generalmente para relleno, terraceo y explanaciones de construcción de viviendas y adecuación de terrenos para edificaciones y vías (ilustración 20). Estos depósitos, conformados por bloques, cantos y guijarros de escombros de construcción, recebo de rocas ígneas parcialmente meteorizadas, rocas ígneas félsicas, vulcanoclásticas y sedimentarias, mezclados con material más fino, de arena limosa media a gruesa, tienen espesores entre 0.5 y 3 m. En general, la matriz es seca, de plasticidad baja y resistencia media a alta.

6.2.2.2 Suelo Transportado Aluvial

6.2.2.2.1 Suelo Transportado Aluvial de Cauce Activo (Staca)

Son los materiales aluviales sueltos, transportados por la corriente de alta energía de piedemonte del río Guatapurí. El arrastre y depositación de materiales aluviales gruesos genera depósitos no consolidados, generalmente de estructura clasto-soportada, con clastos de composición heterogénea dependiendo de su origen, de formas equidimensionales a irregulares, redondeados a subredondeados con alta esfericidad, pobre a moderadamente seleccionados, con tamaños que varían entre gravas finas hasta bloques de más de 1 m de diámetro. La matriz por lo general es de color gris, no plástica, muy mojada a mojada con compacidad débil, densidad suelta y textura areno gravosa a areno limosa.

Como se menciona, estos depósitos corresponden a los materiales del cauce del río Guatapurí (ilustración 21). El tamaño de los clastos del cauce y de los abanicos es la evidencia de la capacidad de arrastre y erosión lateral de este drenaje, por lo que sus márgenes son susceptibles a procesos morfodinámicos tipo deslizamiento o desplome.



Ilustración 20: Suelo Antrópico de llenos (Rellenos de escombros y otros)
Imagen satelital Google Earth e imagen aérea de drone superpuestas del barrio Vila Castro, en la cual se evidencia la conformación de rellenos para construcción (suelo antrópico de llenos, Salle). Elaboración propia

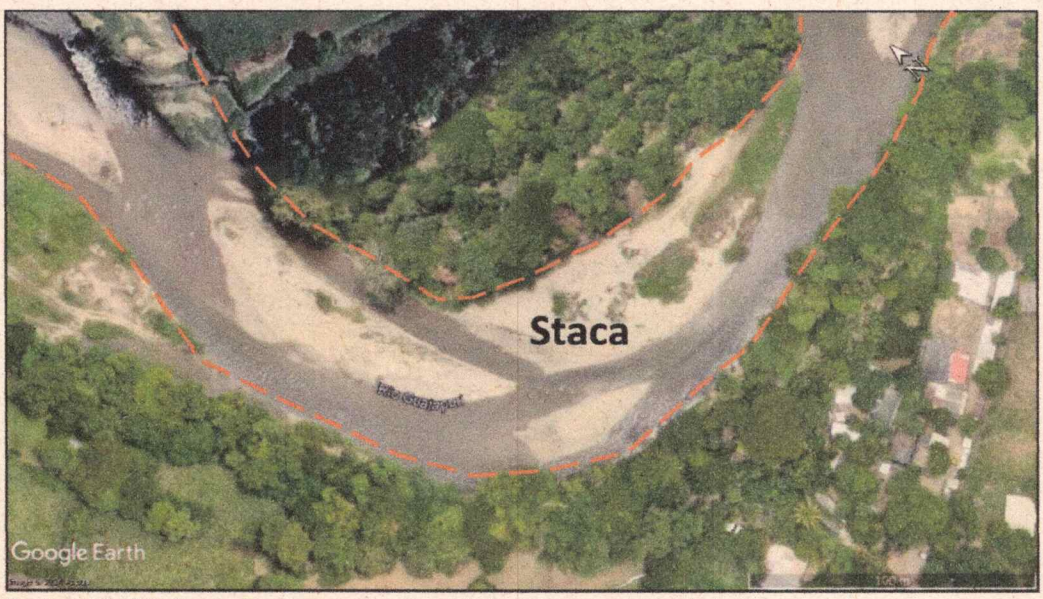


Ilustración 21: Suelo Transportado Aluvial de Cauce Activo del río Guatapurí
Imagen satelital Google Earth e imagen aérea de drone superpuestas del cauce del río Guatapurí con sus depósitos aluviales de barras (Staca). Elaboración propia

6.2.2.2.2 Suelo Transportado Aluvial de Cauce Inactivo (Staci)

Son los materiales aluviales sueltos, no consolidados, generalmente de estructura clasto-soportada, con clastos de composición heterogénea, de formas equidimensionales a irregulares, redondeados a subredondeados con alta esfericidad, pobre a moderadamente seleccionados, con tamaños que varían entre gravas finas hasta bloques de más de 1 m de diámetro. La matriz por lo general es de color gris, no plástica, seca a mojada con compacidad débil, densidad suelta y textura areno gravosa a areno limosa.

Estos depósitos corresponden a los materiales de canales o brazos del río recientemente abandonados (secos) o intermitentes (por ejemplo: de corrientes de crecida) del río Guatapurí (ilustración 22), por lo que este tipo de suelo es propenso a la inundación o a la reactivación de la corriente en los periodos de lluvia. El tamaño de los clastos del cauce es la evidencia de la capacidad de arrastre y erosión lateral de este drenaje, por lo que sus márgenes son susceptibles a procesos morfodinámicos tipo socavación o desplome.



Ilustración 22: Suelo Transportado Aluvial de Cauce Inactivo del río Guatapurí
Imagen satelital Google Earth e imagen aérea de drone superpuestas de un brazo abandonado del río Guatapurí con sus depósitos aluviales de canal (Staci). Elaboración propia.

6.2.2.2.3 Suelo Transportado Aluvial de Llanura de Inundación o Divagación (Stallid)

Son sedimentos de origen aluvial, en la llanura adyacente al cauce del río Guatapurí, de topografía plana a ligeramente ondulada, localmente aterrazada por pequeños escarpes de socavación. Esta llanura está confinada entre los taludes de la terraza baja, o del Abanico de Valledupar en la margen derecha, y por las terrazas de la margen izquierda del río.

En el corredor geotécnico, conforma la llanura adyacente al cauce del río, ligeramente inclinada hacia el SE que pueden ser inundable, pero que principalmente es destruida y reconformada por erosión lateral (socavación) y depositación de materiales aluviales, en la dinámica continua de divagación del río Guatapurí.

Estos procesos de erosión y sedimentación lateral en canales trenzados, se intensifican de forma periódica durante las temporadas de lluvias, en las crecientes o avenidas torrenciales del río Guatapurí, momento en el cual se incrementa el caudal y la capacidad erosiva de la corriente, que genera socavación, arrastre y depositación de materiales aluviales. En esta unidad, la superficie está delineada por formas heredadas de brazos antiguos o cauces abandonados de años o décadas pasadas, zonas bajas anegables que son aprovechadas para conformar canales de riego (ilustración 23), o son rellenadas para construcción.



Ilustración 23: Llanura de Inundación y Divagación
Zona baja de antiguo cauce dentro de la llanura de inundación aprovechado como canal

Se compone de sedimentos aluviales de tipo clasto-soportado, con matriz arena gruesa a gravosa de color gris y con menor proporción de materiales finos como limo y arcilla; presenta compacidad moderada y densidad suelta a densa. Comprende clastos de tamaños gravas, cantos

y bloques subredondeados a redondeados, de diferente composición, principalmente vulcanoclásticas de las unidades jurásicas de la SNSM, con grado de meteorización fresca a descolorida. En las zonas bajas anegables de cauces abandonados puede predominar arenas y limos marrones a gris oscuros.

La franja de terreno de la llanura en la margen derecha del río, confinada en forma aterrazada entre el talud lateral del Abanico de Valledupar y el cauce, es una zona donde se han expandido en algunos sectores un mosaico de barrios subnormales y construcciones rurales suburbanas hasta la propia orilla del río, deforestando el bosque de galería que protegía el borde de la llanura de la erosión, con lo cual, queda la ribera vulnerable a la socavación lateral durante el periodo lluvioso del año. En este sentido, producto de la divagación lateral del cauce sinuoso y de brazos trenzados del río Guatapurí, los tramos de la orilla derecha del río expuestos al lado exterior de las curvas, la corriente impacta la orilla (zona de socavación) causando socavación, desplome y arrastre de suelo de forma acelerada por la deforestación, generando un escarpe con avance en arco, destruyendo la llanura y las construcciones existentes, convirtiendo el sitio en cauce (Ilustración 24). De manera complementaria, en las zonas internas de las curvas, se produce sedimentación y conformación de barras, que incrementan el área de la planicie en ese sector, situación que es aprovechada para expandir localmente los terrenos privados.



Ilustración 24: Divagación del cauce por socavación lateral
Imágenes satelitales históricas Google Earth 2008 y 2024 de un tramo del río donde se evidencia el avance de divagación lateral del cauce por socavación de la llanura de inundación de la margen derecha, sector de invasiones. Elaboración propia

Cabe resaltar que a principios de la década del 2010 se conformó un dique de protección en un tramo cercano a los 3 km que ha mantenido la orilla derecha estable en términos generales, salvo algunos puntos donde la socavación lateral ha erosionado parte del dique y de llanura.

6.2.2.2.4 Suelo Transportado Aluvial de Abanico de Valledupar (Staabv)

Son depósitos subrecientes de origen aluvial, con materiales producto del arrastre de sedimentos heterogéneos desde la zona montañosa, que se depositan en el cambio de la pendiente al desembocar el río en la llanura del valle del Cesar, adquiriendo forma de abanico. Este depósito subreciente ha sido disectado por el río, dejando una superficie elevada con respecto a al nivel actual de sedimentación. Se conforma de material de litología variable, principalmente vulcanoclástica, de comportamiento lateral granodecreciente: en su ápice en el NW de la ciudad sector de las glorietas de la Pilonera Mayor, tiene materiales gruesos y en la zona distal, más baja al E y SE, en la zona del Canal de Panamá, materiales finos.

Es generalmente clasto-soportado de matriz areno lodosa, de coloraciones grises a pardas, de compacidad fuerte, densa a muy densa, humedad alta y permeabilidad media a alta. Los tamaños de clastos varían de gravas a bloques redondeados a subredondeados, esfericidad alta, llegando a encontrarse bloques de más de 1 m de diámetro, sin gradación, débilmente meteorizada (descolorida a fresca) (ilustración 25). Puede presentar horizontes de suelo superficial orgánico menor a 0,3 m, con matriz areno arcillosa pardo rojiza. Conforma la superficie aterrazada donde se ubica la ciudad de Valledupar.



Ilustración 25: Gravas del Abanico de Valledupar Staabv
Gravas clastosoportadas de bloques y cantos subredondeados, matriz arenosa.

6.2.2.2.5 Suelo Transportado Aluvial de Terraza (Stat)

Este tipo de suelo está relacionado con procesos de incisión, erosión, arrastre y acumulación de detritos, en ambas márgenes del rio Guatapuri, donde a lo largo de sus cursos se observa la acumulación de estos materiales. Es un suelo clastosoportado, con fragmentos de composición heterogénea, sin gradación, pobremente seleccionado, de forma esférica a irregular, subredondeados, redondeados y subangulares, con tamaños que van desde gravas finas a bloques de más de 1 m de diámetro. La matriz por lo general es de color pardo amarillenta, de textura gravo-arenosa a areno-limosa, seca, de compacidad moderada y densidad densa a muy densa.

En el corredor geotécnico se aprecia la terraza a una altura intermedia entre la superficie del abanico de Valledupar en la parte superior y la llanura de divagación en el sector del Parque de la Leyenda y el balneario Hurtado, que se acuña contra las rocas de la Igmimbrita en el cerro Cicolac.

Estos materiales han sido parcialmente excavados y transformados para la construcción del coliseo de eventos y la conformación de unas lagunas artificiales con fines turísticos.

6.3 GEOMORFOLOGÍA

Teniendo en cuenta la escala de trabajo (1:2000), se elaboró un mapa de Subunidades Geomorfológicas (SGMF), para lo cual se siguieron los criterios de la Guía Metodológica para la zonificación de Amenaza por Movimientos en Masa, escala 1:25000 del SGC (2017). Se cartografiaron a escala de detalle respetando la estructura de grandes unidades regionales definidas por el SGC y el IGAC, teniendo en cuenta la pendiente del terreno, la morfogénesis y rasgos geomorfológicos identificables a gran escala.

6.3.1 MAPA DE PENDIENTES

Con base en el DEM de Valledupar producido por el IGAC, se obtuvo en el software QGIS un mapa de pendientes empleando la herramienta de procesamiento ráster; se clasificaron en los rangos

sugeridos por el SGC (INGEOMINAS, 2001) como índice de inclinación de la pendiente (ilustración 20):

INCLINACION (Grados)	DESCRIPCION
< 5°	Plana a suavemente inclinada.
6° – 10°	Inclinada.
11° – 15°	Muy Inclinada.
16° – 20°	Abrupta.
21° – 30°	Muy abrupta.
31° - 45°	Escarpada.
> 45°	Muy Escarpada.

Ilustración 26: Intervalos de pendiente del terreno
Tomado de SGC (INGEOMINAS), 2001

En términos generales el área de estudio es mayoritariamente plana a inclinada, existiendo solamente como rasgo topográfico elevado el Cerro Cicolac con pendientes muy abruptas a escarpadas, así como el talud del escarpe de la terraza aluvial de Valledupar. Como se menciona en la metodologia, para resaltar los rasgos topográficos se obtuvo con el mapa de pendientes, un mapa de sombras con exageración vertical de 2. El mapa de pendientes se muestra a continuación en la ilustración 21 (ilustración 21).