

# Caracterización geotécnica y vulnerabilidad por movimientos en masas entre la vereda de Puente Quemao y el corregimiento de San Francisco de Asís, en El Copey, Cesar

## Geotechnical characterization and vulnerability by masses movements between Puente Quemao village and San Francisco de Asis county, at El Copey, Cesar

<https://doi.org/10.18041/1909-2458/ingeniare.22.1341>

**Danyela Rocío Gámez Estrada<sup>1</sup>**  
**Belmer Adrián Pertuz Méndez<sup>2</sup>,**  
**Juan Fernando Daza Carrascal<sup>3</sup>**  
**Luis Carlos Tapia Vela<sup>4</sup>**  
**Elías Ernesto Rojas Martínez<sup>5</sup>**

*Fundación Universitaria del Área Andina, Colombia*

### RESUMEN

La presente investigación se realizó en el área que corresponde a la vereda de Puente Quemao y el corregimiento de San Francisco de Asís, pertenecientes al municipio de El Copey en el departamento del Cesar. El estudio se compone de una serie de fases en las que se realizaron varias actividades preparatorias para la recopilación, análisis e interpretación de la información; además, fue de vital importancia la identificación de la vulnerabilidad presente en el lugar con respecto a movimientos en masas.

Teniendo en cuenta lo anterior, fue factible la identificación de los perfiles de meteorización, el reconocimiento macroscópico de las litologías y la interpretación del tipo de movimiento en masa, para poder plantear posibles soluciones al riesgo inminente, el cual puede proporcionar una alternativa para la prevención de desastres. Además, este estudio es de vital importancia para el conocimiento de la geología regional y la participación investigativa.

**Palabras clave:** Movimientos en masas, Vulnerabilidad, Riesgos, Prevención.

### ABSTRACT

The current investigation was carried out in the Puente Quemao and the San Francisco de Asís villages area, belonging to the municipality of El Copey in the department of Cesar (Atlántico). The study consists of a series of phases in which several preparatory activities were conducted for the collection, analysis and interpretation of the information. In addition, the identification of the vulnerability occurring in the place with respect to mass movements was of vital importance. Given the above, it was feasible to identify weathering profiles, macroscopic recognition of the lithologies and the interpretation of mass movement type, so it could be possible to propose conceivable solutions to the imminent risk, which can provide an alternative for the prevention of disasters. In addition, this study is of vital importance for knowing of regional geology and research participation.

**Keywords:** Masses movements, Vulnerability, Risks, Prevention.

1. Ingeniera Geóloga, Fundación Universitaria del Área Andina. Semillero de investigación SIGEM. [dgamez3@estudiantes.areandina.edu.co](mailto:dgamez3@estudiantes.areandina.edu.co) – [dangelag\\_@hotmail.com](mailto:dangelag_@hotmail.com)
2. Ingeniería Geológica, Fundación Universitaria del Área Andina. [bpertuz@estudiantes.areandina.edu.co](mailto:bpertuz@estudiantes.areandina.edu.co)
3. Ingeniería Geológica, Fundación Universitaria del Área Andina. [jdaza3@estudiantes.areandina.edu.co](mailto:jdaza3@estudiantes.areandina.edu.co)
4. Geólogo, Especialista en Gestión Ambiental, Fundación Universitaria del Área Andina. [Ltapia2@areandina.edu.co](mailto:Ltapia2@areandina.edu.co)
5. Geólogo, Especialista en Minería a Cielo Abierto, Fundación Universitaria del Área Andina. Semillero de investigación SIGEM. [erojas@areandina.edu.co](mailto:erojas@areandina.edu.co)

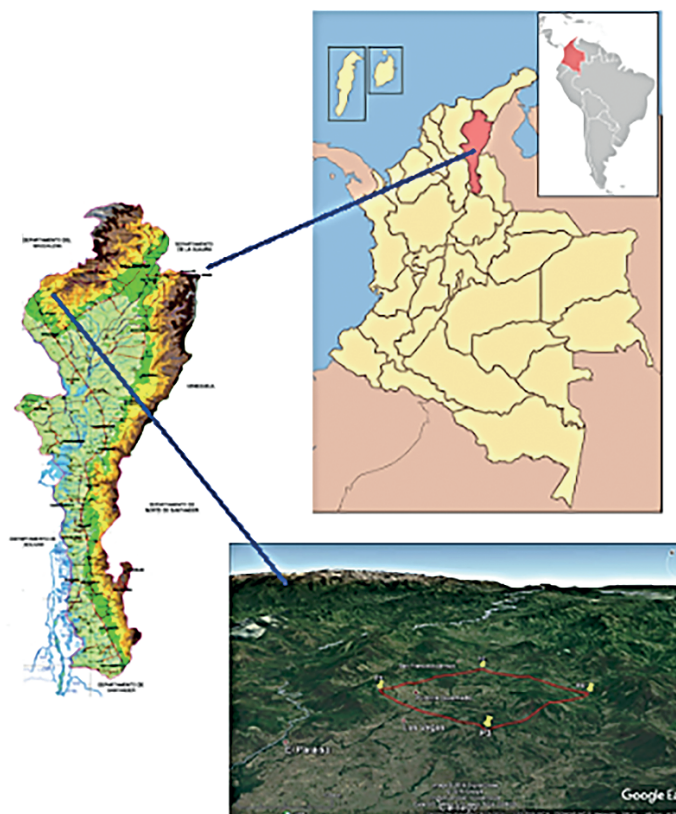
Fecha de recepción: 4 de mayo de 2017 • Fecha de aceptación: 1 de junio de 2017

INGENIARE, Universidad Libre-Barranquilla, Año 13, No. 22, pp. 37-57 • ISSN: 1909-2458

## 1. INTRODUCCIÓN

Los procesos geológicos son cualquier fenómeno natural que produzca cambios en los materiales de la corteza terrestre o en las formas que estos adoptan. Los cambios pueden ser desde modificaciones físicoquímicas hasta movilizaciones y transporte de los materiales [1]. Los fenómenos naturales han estado presentes en toda la historia de la evolución de nuestro planeta y hoy en día causan muchos daños en cuanto a pérdidas de vidas humanas, económicas y alteraciones en el ambiente. En el 2016 el fenómeno conocido como el huracán Matthew, se caracterizó por fuertes lluvias, lo que generó movimientos en masa producto de la mala gestión de la tierra, prácticas agrícolas inadecuadas, pastoreo excesivo y la deforestación que fueron las causas fundamentales de la devastación, dejando claramente evidenciada la vulnerabilidad de la zona a este tipo de fenómenos naturales.

El estudio dio a conocer las principales amenazas (naturales y antrópicas) que afectan la cuenca del Río Ariguancito en El Copey, Cesar. Lográndose definir las áreas críticas o de mayor riesgo a la ocurrencia de un evento de desastre. Para tal fin, se implementaron Sistemas de Información Geográfica (SIG) como herramientas para la elaboración de mapas tanto de vulnerabilidad como de amenazas y de esta manera, se obtuvo una idea que orienta la gestión de riesgo en la zona.



**Figura 1. Localización de las coordenadas del área de estudio**  
Fuente: Google Earth

## 2. LOCALIZACIÓN

El área de estudio se encuentra en las estribaciones de la Sierra Nevada de Santa Marta entre las veredas de Puente Quemao y el corregimiento de San Francisco de Asís pertenecientes al municipio de El Copey, Cesar. El clima presente es variado, la temperatura promedio es de 28 °C, oscilando entre 29 °C en la época seca y 23 °C en la época lluviosa [2] y la precipitación anual se encuentra entre 1000 y 2000 mm.

El estudio se realizó en un área de 25.000 km<sup>2</sup> de la plancha 33 – I – D del IGAC, abarcándose taludes y los deslizamientos que representan un riesgo para la población (Figura 1).

## 3. REVISIÓN DE ESTADO DEL ARTE

Los movimientos en masas, se definen como el deslizamiento de una parte del

material superficial (suelos, agregados, rocas) de una ladera, por la acción directa de la fuerza de la gravedad, hasta encontrar un nuevo punto de reposo en el que el material alcanza un estado de equilibrio [3]. Este proceso está regido por las condiciones geomorfológicas y el tipo de material rocoso que está expuesto a agentes de erosión y meteorización.

El territorio colombiano posee una diversidad de condiciones topográficas y climáticas, que conforman el paisaje que conocemos hoy en día. No obstante, cabe destacar que Colombia se encuentra en la zona de convergencia intertropical, la cual se caracteriza por sus altas temperaturas durante todo el año y dos marcadas temporadas lluviosas. Las fuertes precipitaciones y un alto porcentaje de procesos geomorfológicos exógenos debidos al clima tropical húmedo han evitado el desarrollo de una topografía muy abrupta (pendientes pronunciadas estarían en desequilibrio) [4]. Entre los rasgos geográficos principales que se encuentran cercanos a la zona está la Sierra Nevada de Santa Marta, que es un sistema montañoso muy particular, de forma piramidal, ubicado en el noreste de Colombia, entre los departamentos de La Guajira, Magdalena y Cesar. Tschanz describe la Sierra Nevada de Santa Marta como un relieve abrupto y escarpado que tuvo origen bajo la subducción de dos placas litosféricas [5], pudiéndose identificar en esta tres biomas de mayor extensión que son Selva Ecuatorial, Selva Subandina y Páramos [6].

Actualmente, se están presentando remociones en masas, las cuales son ocasionadas por la temporada invernal, donde debido a las fuertes lluvias, mala gestación del suelo y condiciones geomorfológicas, se desencadenan eventos geológicos que representan un riesgo para la comunidad. En octubre de 2016, el huracán Matthew se hizo sentir en la región Caribe colombiana, con una categoría 4, que en su momento, según informes del IDEAM, tenía una presión mínima central que se mantiene en 947 milibares y se mueve al noroccidente a 6 km/h con vientos máximos sostenidos que han disminuido a 240 km/h y ráfagas un poco mayores [7].

#### **4. METODOLOGÍA**

Para la ejecución del proyecto se desarrollaron varias etapas, iniciando con la revisión bibliográfica en la cual se recopila toda la información de interés referente a temas relacionados con tipo de movimientos en masas, caracterización de laderas, técnicas adecuadas de mitigación y prevención de riesgos, así como toda la información geológica y geotécnica disponible.

Posteriormente, se obtuvo la plancha topográfica IGAC 33 – I – D a escala 1:25.000, la cual comprende la zona de estudio y es de vital importancia para la georreferenciación de los datos obtenidos y el reconocimiento de campo, realizándose la exploración e identificación de problemas geotécnicos, lo que permitió el reconocimiento de las unidades geológicas aflorantes en el área, así mismo el conocimiento de las laderas y los taludes que representan un riesgo para la comunidad.

En la etapa de campo, se tomaron ocho muestras de roca por talud para ensayos de laboratorio, tales

como, análisis petrográfico macroscópico y microscópico de la litología aflorante, ensayos de carga puntual, implementando los métodos establecidos por el servicio geológico colombiano para toma de muestras. Además, se obtuvieron cinco muestras representativas del suelo con un peso de 5 kg cada una, para la identificación de granulometría, estas fueron adquiridas en la realización de los perfiles de meteorización elaborados en cada uno de los movimientos en masas y clasificadas de acuerdo a lo establecido por la USCS.

Por último, se elaboró un mapa de amenazas a escala 1:25.000 con los datos de los estudios petrográficos y geotécnicos, en el cual se exponen los lugares que representan un riesgo para la población.

## 5. GEOLOGÍA

Las unidades geológicas que conforman el área de estudio, se encuentran al NW de la Sierra Nevada de Santa Marta. Este territorio está constituido por rocas ígneas, metamórficas y depósitos cuaternarios que abarcan desde el Proterozoico, las más antiguas hasta el Cenozoico, las más jóvenes. Estas unidades litoestratigráficas son:

### 5.1. Granulita de los magos (PEm)

Su nombre fue determinado por Tschanz en 1969, quien lo utiliza para denominar una secuencia metamórfica de alto grado que muestra una muy buena exposición en el río Los Mangos, al noroeste de la ciudad de Valledupar (departamento del Cesar) [8]. Esta unidad rocosa presenta un alto grado de metamorfismo y consta composicionalmente de neis bandeados claros y oscuros metamorfoseados hasta la facie granulita. Bandas graníticas alternando con anfibolitas piroxénicas y algunos mármoles y neis ultramaficos [9] (Figura 2).

### 5.2. Batolito de Pueblo Bello y Patillal; Facies cuarzo monzonitas (Jpbp – cm)

Su nombre fue determinado por Tschanz en 1969 para describir a dos cuerpos intrusivos (Batolito de Pueblo Bello y Batolito de Patillal) de similar composición que conforman un cinturón con orientación SW-NE, en el sector oriental de la Sierra Nevada de Santa Marta [8]. Esta facie posee una edad jurásico inferior y es una de las tres divisiones (Cuarzo monzonita (Jcm), Facies Granito (Jg) y Facies Granito Granofirico (Jgr)) que caracteriza estos cuerpos intrusivos y se encuentra constituida por rocas ígneas intrusivas, de textura holocristalina, hipidiomórfica, grano medio a grueso, color gris claro, generalmente rosado [10] (Figura 2).

### 5.3. Ignimbrita de los clavos (Jlc)

Su nombre fue determinado por Tschanz en 1969 para describir una secuencia vulcano-sedimentaria de edad jurásico medio. Esta secuencia de rocas, litológicamente comprende una secuencia vulcanoclástica (tobas e ignimbritas) lítica a cristalina de composición intermedia (andesítica a riódacítica), estratificada, con textura porfiroclástica meso a fino granular, con matriz (20 % a 50 %) afanítica vítrea de color gris, gris verdoso y verde y contiene fragmentos líticos [11] (Figura 2).

#### 5.4. Aluviales recientes (Qal)

Composicionalmente los aluviales recientes están caracterizados como depósitos de topografía suave y baja no consolidados, de arenas, gravas y guijarros en matriz lodosa, amarillo ocre, mal seleccionados, con cantos ígneos con plagioclasas, mica, cuarzo y fragmentos de rocas del batolito central. Estos generalmente contienen depósitos de rocas ígneas metamórficas y en menor proporción de sedimentarias, producidas por la erosión de las unidades de rocas que conforman la SNSM [7] (Figura 2).

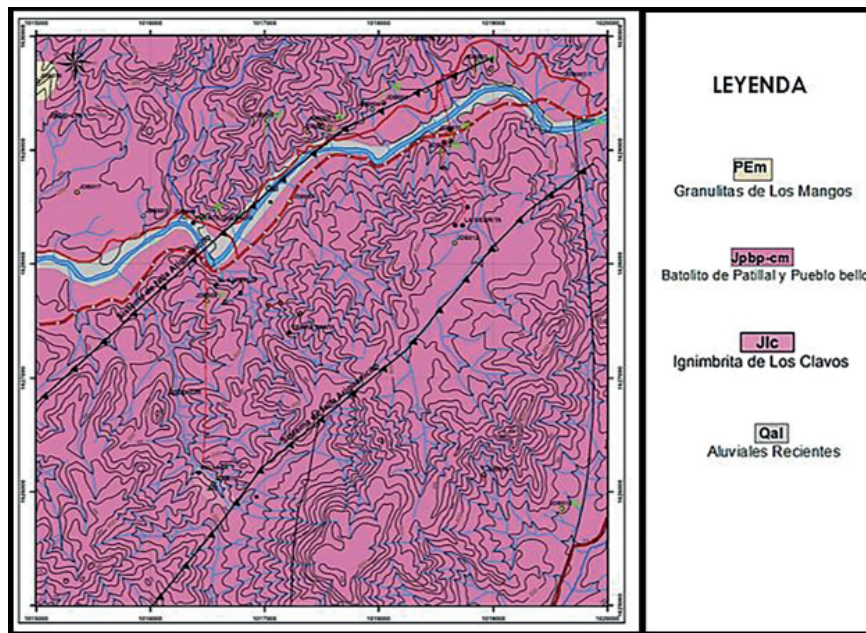


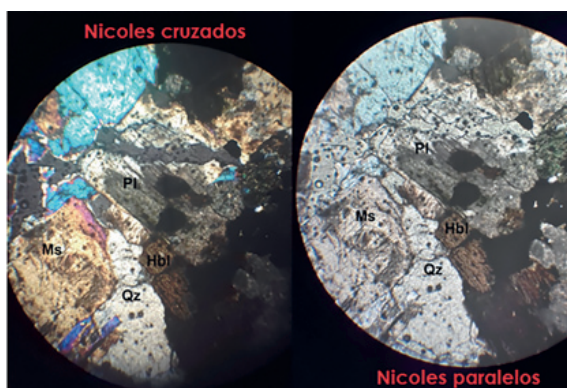
Figura 2. Mapa geológico del área de estudio. Digitalizado en Arcgis

Fuente: Elaboración de los autores.

#### 6. ANÁLISIS PETROGRÁFICO

Los estudios petrográficos de las litologías presentes en los taludes y laderas que muestran inestabilidad y riesgos por movimientos en masas, se pudieron identificar que estas están constituidas por roca ígnea intrusiva perteneciente al Batolito de Pueblo Bello y Patillal en la facie de cuarzomonzonitas. Esta roca corresponde a un monzogranito, el cual mineralógicamente está conformado por un índice de color de >25 % constituido por minerales como hornblenda, biotita y moscovita. Además, como minerales principales se identificaron plagioclasas de un 23 % a 30 % las cuales presentan maclado. En las rocas también se observa cuarzo de un 20 % a 25 %. Se percibe feldespato en cantidades que oscilan entre 30 %-35 %.

Las muestras poseen una textura fanerítica y presenta un grado de cristalinidad holocristalino, una distribución de cristales equigranular, con granos de tamaño medio (2-5mm) y algunos granos gruesos (4-30mm).



**Figura 3. Microfotografía donde se observan algunos minerales identificados en la sección delgada del monzogranito. PI: plagioclasa, Qz: cuarzo, Ms: moscovita, Hbl: hornblenda**  
Fuente: Elaboración de los autores

## 7. CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA DE LOS TALUDES

Se realizó una identificación de los taludes que pueden representar un riesgo para la comunidad. Se valoró su estado de acuerdo a los parámetros de RMR de Bieniawski en 1989, que constituye un sistema de clasificación de macizos rocosos que permite a su vez relacionar índices de calidad con parámetros geotécnicos del macizo y de excavación y sostenimiento en túneles [12]. Por otra parte, la calidad de roca RQD de Deere se pudo determinar a partir de trozos de rocas testigos mayores de 10 cm recuperados en sondeos a partir de juntas Jv que indican el número de juntas por m [13] y el criterio de rotura mediante la implementación del software RocLab. A continuación, se exponen los resultados.

### 7.1. El primer talud (JDB – 004)

Encontrado en la vía que comunica al corregimiento de Puente Quemao con San Francisco de Asís, fue factible clasificarlo geomecánicamente por tramos, ya que este posee características heterogéneas.

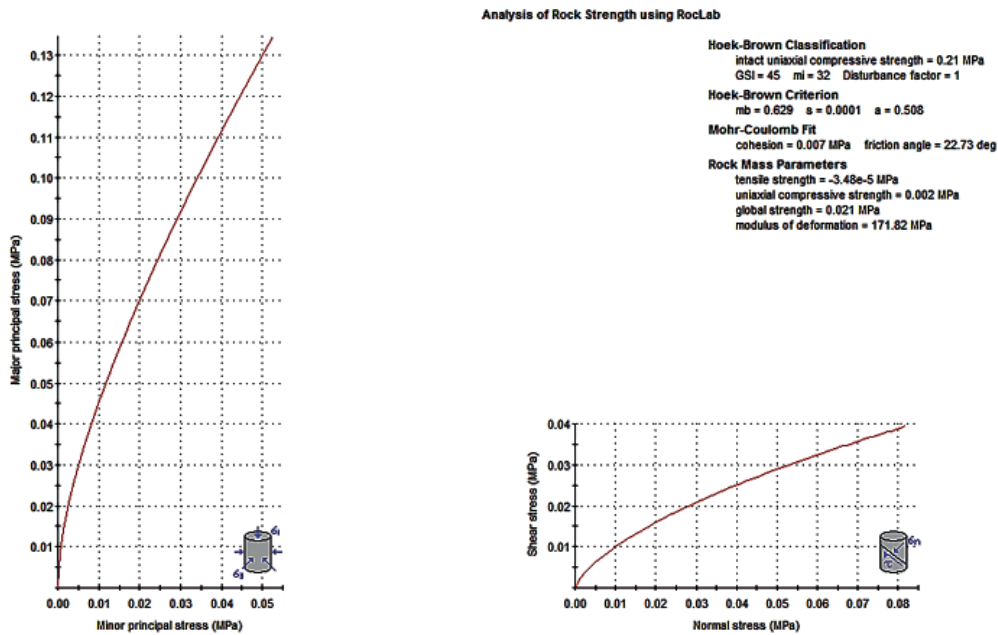
- *Tramo 1 (JDB – 004 – 1):* posee unas dimensiones de 30,7 metros de ancho por 7,75 metros de alto. El grado de fracturación medido mediante el índice de RQD nos proporciona un valor de 8, lo representa una muy mala calidad de la roca y la clasificación geomecánica de RMR también proporcionó un mal estado de las discontinuidades (Figura 4).



**Figura 4. Discontinuidades del afloramiento ubicado sobre la vía San Francisco de Asís - Puente Quemao**

Fuente: Elaboración de los autores

Al ingresar información en el software RocLab se pudo interpretar que los esfuerzos principales de la roca no superan los esfuerzos de resistencia, por lo cual se tiene una roca estable (Figura 5).



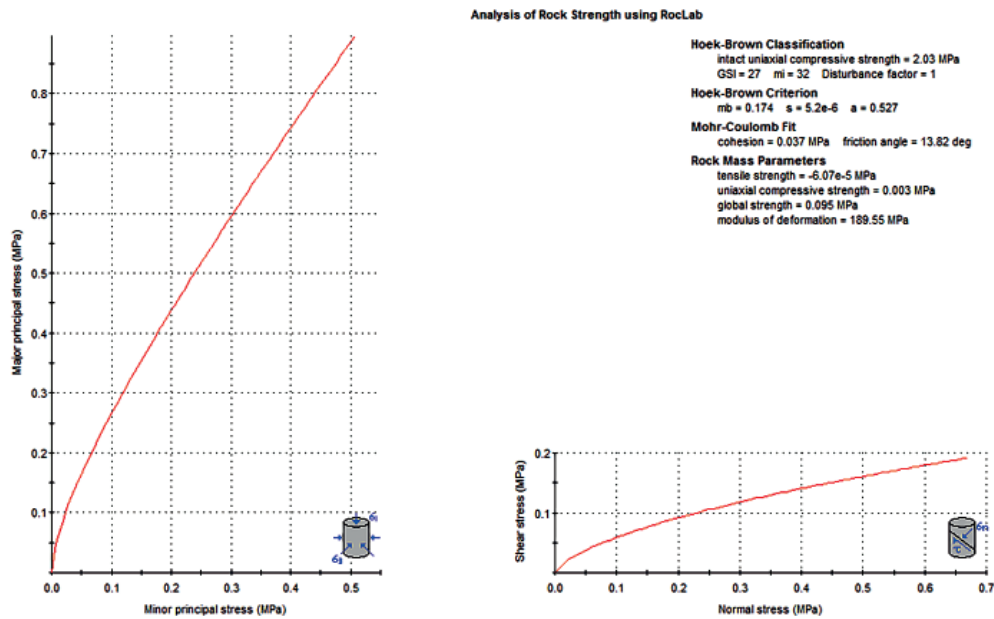
**Figura 5. Análisis de rotura, realizado en el software RocLab.**  
Se proporcionaron datos como: resistencia de la matriz rocosa 0,21Mpa;  
GSI 45; mi 32; D 1; peso específico 3,35g/cm<sup>3</sup>; altura 7,75 m  
Fuente: Elaboración de los autores

- *Tramo 2 (JDB – 004 – 2):* posee unas dimensiones de 30,7 metros de ancho por 9 metros de alto. Al igual que el tramo 1, posee un RQD muy malo con un valor de 7 y un mal estado de las discontinuidades (Ver Figura 6).



**Figura 6. Al margen izquierdo se muestra la roca con un grado de meteorización superior al margen izquierdo, Afloramiento ubicado sobre la vía San Francisco de Asís-Puente Quemao**  
Fuente: Elaboración de los autores

La interpretación del software RocLab nos da a conocer que el afloramiento se encuentra estable (Figura 7).



**Figura 7. Análisis de rotura, realizado en el software RocLab. Se proporcionaron datos como: resistencia de la matriz rocosa 2,03Mpa; GSI 27; mi 32; D 1; peso específico 2,9075 g/cm<sup>3</sup>; altura 9m**

Fuente: Elaboración de los autores

- *Tramo 3 (JDB – 004 – 3)*: posee unas dimensiones de 30,7 metros de ancho por 4,8 metros de alto. El RQD tiene un valor de 8, lo que corresponde a una roca de mala calidad y un estado medio de las discontinuidades (Figura 8).

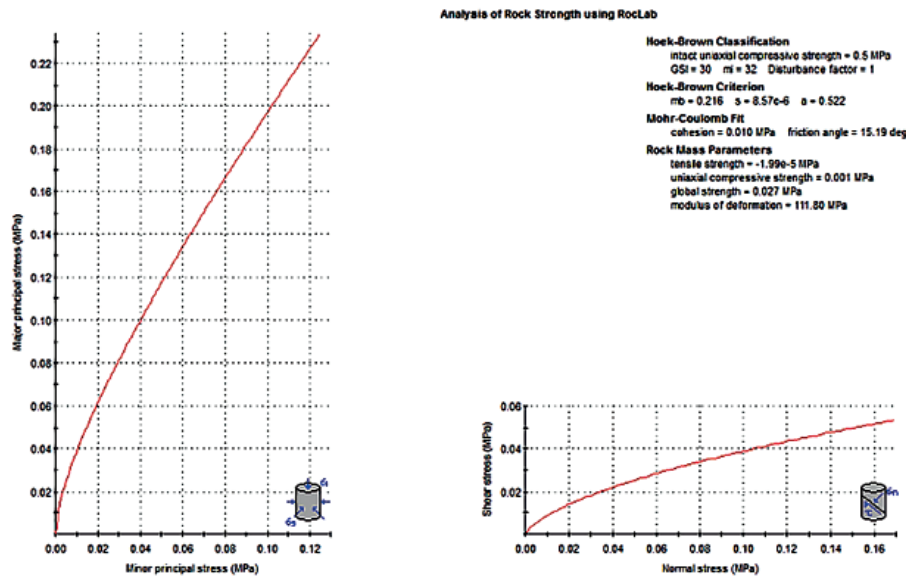


**Figura 8. Discontinuidades del afloramiento ubicado sobre la vía San Francisco de Asís-Puente Quemao**

Fuente: Elaboración de los autores

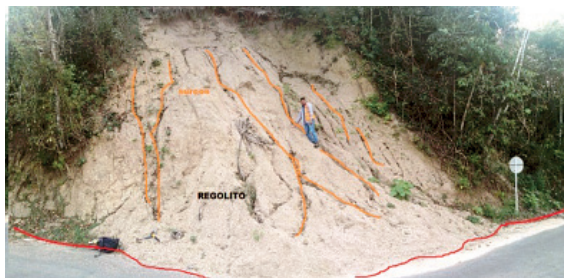


Mediante el análisis de RocLab se interpretó que el esfuerzo principal generado sobre la roca llega a casi un 50 % de los esfuerzos de la roca por lo que genera estabilidad a pesar de ser un valor alto, igual que con el esfuerzo de corte tampoco supera los esfuerzos normales lo que muestra que no existe riesgo de fracturamiento (Figura 9).



**Figura 9. Análisis de rotura, realizado en el software RocLab. Se proporcionaron datos como: resistencia de la matriz rocosa 0,5Mpa; GSI 30; mi 32; D 1; peso específico 3,685 g/cm<sup>3</sup>; altura 4,8m**  
Fuente: Elaboración de los autores

- *Tramo 4 (JDB – 004 – 4):* posee unas dimensiones de 20,4 metros de ancho por 10,9 metros de alto. Este último tramo del afloramiento se encuentra caracterizado por la presencia de un movimiento en masa, en el cual se pueden percibir surcos de 20-40 cm de profundidad, no se perciben discontinuidades ya que la litología aflorante constituye a un regolito, conformado por arenas limosas, mezclas de arena y limo. En cuanto al flujo de agua presente se encuentra relativamente secos, pero se percibe vegetación en algunos espacios, lo que nos indica que existe una humedad relativamente baja (Figura 10).



**Figura 10. Deslizamiento localizado sobre la vía San Francisco de Asís-Puente Quemao, litológicamente constituye a un saprolito. Además, presenta surcos**  
Fuente: Elaboración de los autores

**7.2. El segundo talud (JDW – 011)**

Encontrado sobre la vía que conduce a la vereda La Sierrita, fue factible clasificarlo geomecánicamente dividiéndolo en dos áreas que poseen características heterogéneas.

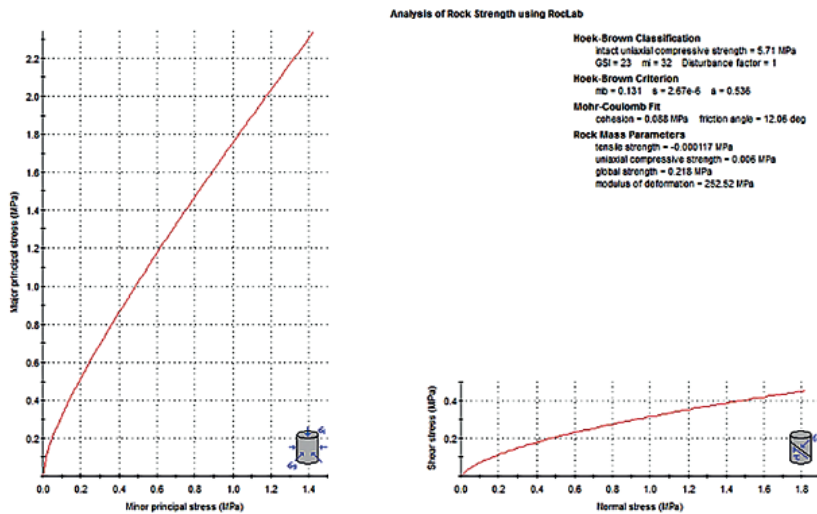
- *Talud 1 (JDB – 011 – 1)*: posee unas medidas de 30 metros de ancho por 4,3 metros de alto. Muestra un RQD con un valor de 10 lo que representa una mala calidad de la roca y un estado medio de las discontinuidades (Figura 11).



**Figura 11. Discontinuidades del primer afloramiento ubicado sobre la vía que conduce a la vereda La Sierrita**

Fuente: Elaboración de los autores

Mediante los parámetros de RocLab se determinó que la roca es estable en cuanto a los esfuerzos principales generados en ella, al igual que los esfuerzos de corte son muy mínimos en cuanto a los esfuerzos normales de la roca (Figura 12).



**Figura 12. Análisis de rotura, realizado en el software RocLab. Se proporcionaron datos como: resistencia de la matriz rocosa 5,71Mpa; GSI 23; mi 32; D 1; peso específico 3,21 g/cm³; altura 4,3m**

Fuente: Elaboración de los autores

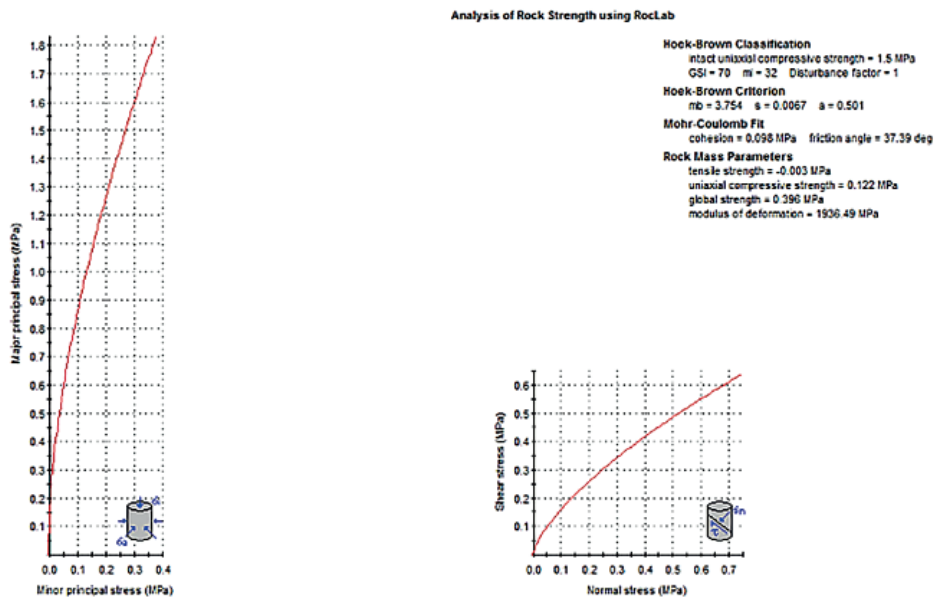
- *Talud 2 (JDB – 011 – 2)*: posee unas medidas de 59,8 metros de ancho por 9,2 metros de alto. Se observa una muy mala calidad de la roca con un valor de 9 para RQD y un mal estado de las discontinuidades (Figura 13).



**Figura 13. Discontinuidades del segundo afloramiento ubicado sobre la vía que conduce a la vereda La Sierrita**

Fuente: Elaboración de los autores

RocLab nos indica que es evidente el riesgo de fracturamiento de la roca por la superación de los esfuerzos principales a los de la roca en 0,2 Mpa, y los esfuerzos de corte se encuentran muy cercanos a los valores de esfuerzo normal, lo que puede llegar a generar un riesgo por fallas o fracturamiento de la roca (Figura 14).



**Figura 14. Análisis de rotura, realizado en el software RocLab. Se proporcionaron datos como: resistencia de la matriz rocosa 1,5Mpa; GSI 70; mi 32; D 1; peso específico 3,53 g/cm3; altura 9,2m**

Fuente: Elaboración de los autores

**7.3. El tercer talud (JDB – 005)**

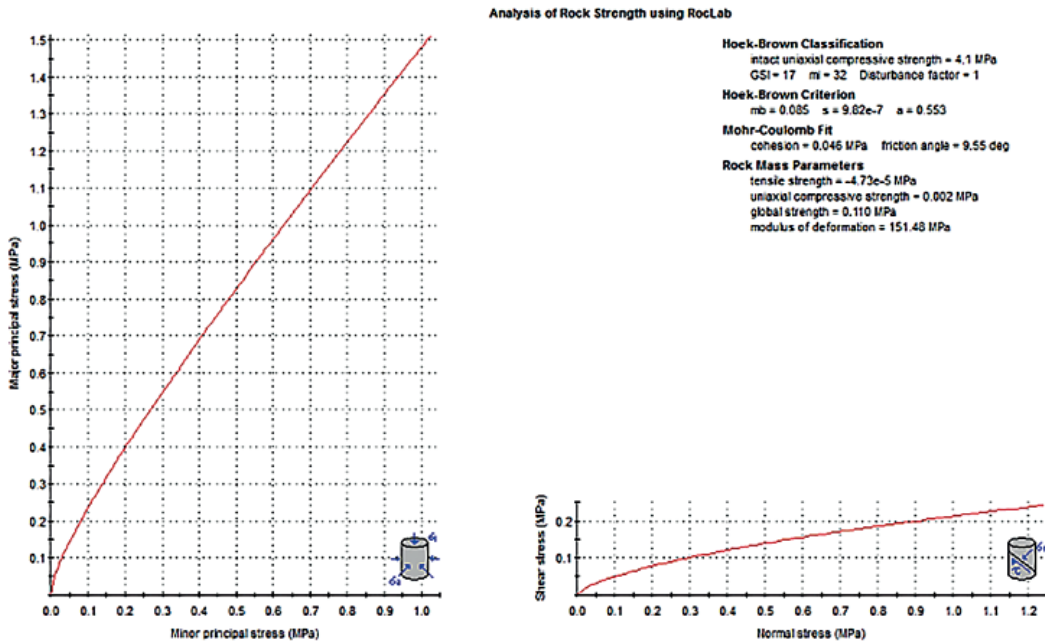
Encontrado sobre la vía que conduce a la vereda Puente Quemao con el corregimiento de San Francisco de Asís, fue factible clasificarlo geomecánicamente. Posee unas medidas de 83,7 metros de ancho por 8,6 metros de alto. Tiene una muy mala calidad de la roca con un valor de RQD de 8 y un mal estado de las discontinuidades (Figura 15).



**Figura 15. Discontinuidades del afloramiento ubicado sobre la vía San Francisco de Asís-Puente Quemao**

Fuente: autores.

Mediante el análisis de RocLab se determinó que los esfuerzos principales son pequeños respecto a los esfuerzos de la roca, al igual que el esfuerzo de corte es muy pequeño por lo que no hay riesgo de fracturamiento de la roca (Figura 16).



**Figura 16. Análisis de rotura, realizado en el software RocLab. Se proporcionaron datos como: resistencia de la matriz rocosa 4,1Mpa; GSI 17; mi 32; D 1; peso específico 3,35 g/cm3; altura 8,6m**  
Fuente: Elaboración de los autores

### 7.4. El cuarto talud (JDB – 006)

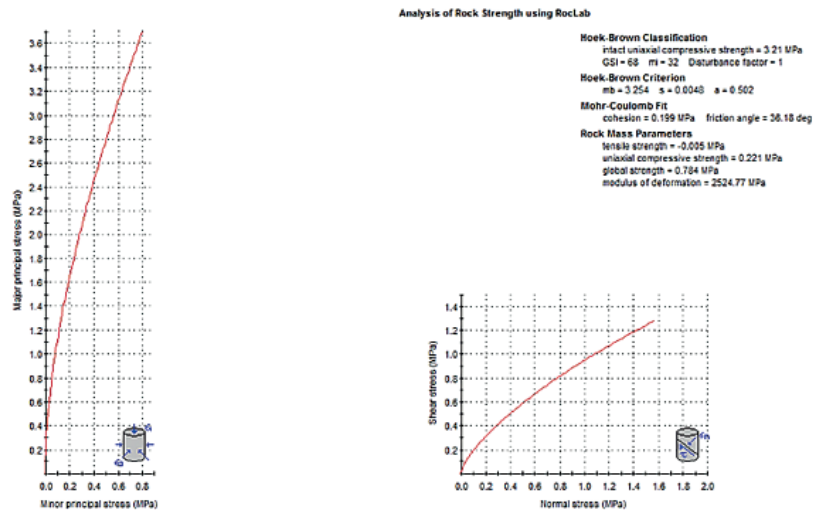
Encontrado en la vereda Puente Quemao, fue factible clasificarlo geomecánicamente. Posee unas medidas de 83,7 metros de ancho por 8,6 metros de alto. Este está siendo intervenido por maquinaria y posee una mala calidad de la roca con un valor de RQD de 9 y un estado medio de las discontinuidades (Figura 17).



**Figura 17. Patrones de diaclasamiento y falla rumbo deslizantes, sobre el talud localizado sobre la vía San Francisco de Asís-Puente Quemao**

Fuente: Elaboración de los autores

RocLab nos indica que existe un riesgo en cuanto a la aplicación de esfuerzos a la roca debido a que los esfuerzos principales superan los esfuerzos normales y los esfuerzos de corte se acercan mucho a los esfuerzos normales por lo que podría generar un pequeño riesgo a deformarse y a ser fracturado. (Figura 18)



**Figura 18. Análisis de rotura, realizado en el software RocLab. Se proporcionaron datos como: resistencia de la matriz rocosa 3,21Mpa; GSI 68; mi 32; D 1; peso específico 2,426 g/cm<sup>3</sup>; altura 9,6m**

Fuente: Elaboración de los autores

## 8. CARACTERIZACIÓN DE LOS MOVIMIENTOS EN MASAS

Los movimientos en masa son fenómenos geológicos causados principalmente por la inestabilidad del suelo que componen taludes y laderas [14], por otro lado, también son el resultado de las condiciones naturales del terreno, tales como la geomorfología e hidrología, y las modificaciones de estas condiciones por procesos geodinámicos y actividades humanas [15]. No obstante, la estabilidad en un talud está regida por una serie de factores geológicos, geométricos, hidrológicos, geotécnicos y mecánicos. Su combinación, determina las condiciones de rotura a lo largo de una superficie de falla, generando un movimiento en masa, los cuales representan un desplazamiento del talud o ladera, en sentido descendente hacia su base o pie. Los factores geológicos, hidrogeológicos y geotécnicos se consideran factores condicionantes, y son intrínsecos a los materiales naturales. Los factores desencadenantes o «activos» provocan la rotura una vez que se cumplen una serie de condiciones [16]. Así mismo, las masas rocosas en ambientes tropicales húmedos se caracterizan por la generación de profundos perfiles de meteorización, en algunos casos con horizontes superficiales enriquecidos en óxidos de hierro y aluminio conocidos como lateríticos [17].

A continuación se evalúan las características de los desprendimientos de laderas, donde gran parte de este material fue depositado en la vereda de Puente Quemao, el movimiento en masa se presentó en el mes de octubre de 2016 debido a las fuertes lluvias producidas por el huracán Matthew, las cuales tuvieron un promedio de precipitaciones de 1960 mm y una temperatura de 23°C en el municipio de El Copey.

### 8.1. Primer y segundo movimiento en masa

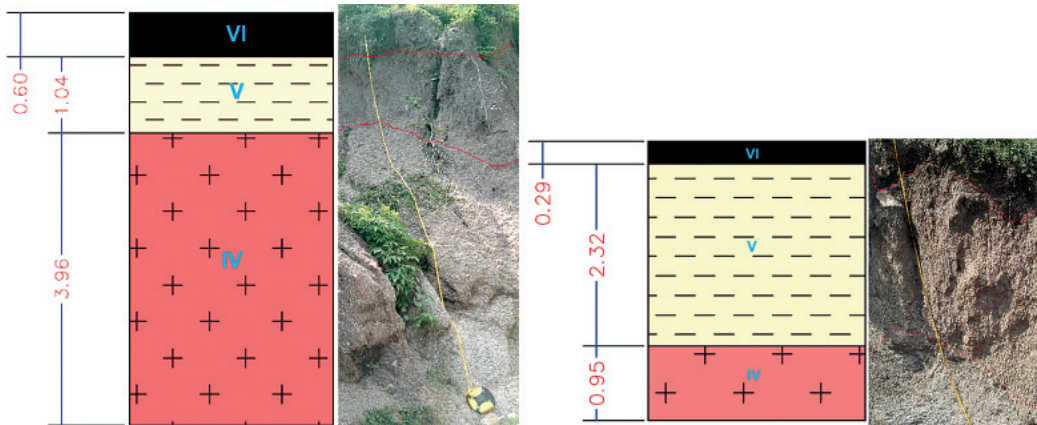
Se encuentran laderas de pendiente alta, en las cuales se percibe un bajo contenido de vegetación y una alta bioturbación. En la Figura 19 se puede observar la corona y las cárcavas que poseen una profundidad aproximada de 3,68 a 5,8 metros, presentes en los deslizamientos rotacionales, así como pequeños surcos.



**Figura 19. Representación del deslizamiento rotacional**

Fuente: Elaboración de los autores

Las colinas están constituidas por rocas ígneas intrusivas de edad del jurásico inferior, pertenecientes al Batolito de Pueblo Bello y Patillal. Mediante la identificación del perfil de meteorización (Ver Figura 20), se determinan características similares para ambos deslizamientos, la base constituye un saprolito monzogranítico, que posee una textura fanerítica, una distribución de los cristales equigranular y mineralógicamente aún se percibe cuarzo, feldespato, plagioclasas, estos pueden ser desintegrados manualmente (IV). En su avanzado proceso de meteorización debido a las condiciones climáticas y topográficas hacia la parte superior está conformado por suelo que se clasifica granulométricamente como arenas bien graduadas, arenas con grava, pocos finos (V). En la parte posterior podemos encontrar un suelo de color marrón oscuro con materia orgánica húmeda y raíces de plantas que se sostienen en esta capa (VI).



**Figura 20. Representación del el perfil de suelos del primer y segundo movimiento en masa presente en una ladera**

Fuente: Elaboración de los autores

## 8.2. Tercer movimiento en masa

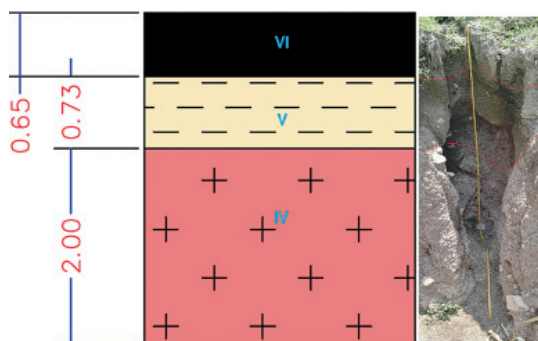
Se hallan en la parte baja de la colina, posee escasa vegetación, una alta bioturbación y reptación. Además, se encuentran cárcavas de 3,52 metros de profundidad (Figura 21).



**Figura 21. Observación de deslizamiento de tipo rotacional**

Fuente: Elaboración de los autores

Mediante la identificación del perfil de meteorización (Figura 22) podemos observar que hacia la base está constituido por un saprolito de composición monzogranítica, al que se le distinguen los minerales principales formadores de roca (VI). En la parte superior debido al avanzado estado de descomposición se presenta como suelo conformado por arenas mal graduadas, arenas con grava, pocos finos (V). Posterior a este, se encuentra un suelo de color oscuro compuesto por materia orgánica húmeda (IV). Estas litologías hacen parte del Batolito de Pueblo Bello y Patillal.



**Figura 22. Representación del perfil de suelos del tercer movimiento en masa presente en una ladera**

Fuente: Elaboración de los autores

### 8.3. Cuarto y quinto movimiento en masa

Se encuentran en la parte alta de la colina. En las laderas se percibe una baja vegetación, bioturbación y reptación. La Figura 23 muestra las coronas y las formas de los movimientos en masas.

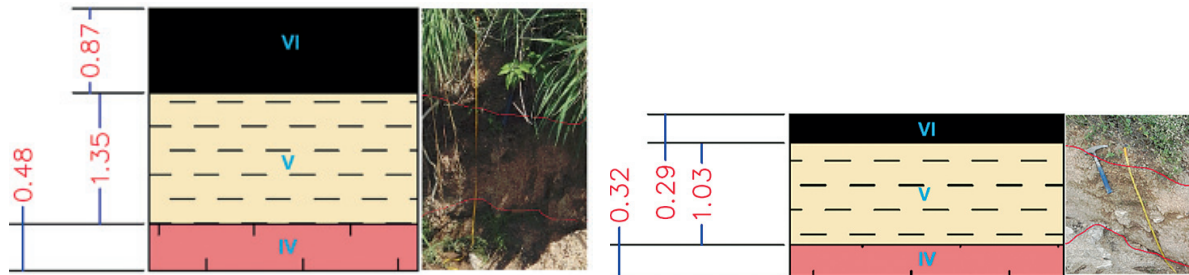


**Figura 23. Representación de deslizamiento rotacional**

Fuente: Elaboración de los autores

El perfil de meteorización realizado en la ladera, (Figura 24) nos muestra que la base está constituida por monzogranito en estado de saprolitización (VI). La parte superior está constituida por suelo conformado por gravas mal graduadas, mezclas grava-arena, pocos finos o sin finos (V). La parte superior constituye un suelo residual con materia orgánica descompuesta (IV). Las litologías hacen parte del Batolito De Pueblo Bello y Patillal.





**Figura 24. Representación del perfil de suelos del cuarto y quinto movimiento en masa presente en una ladera**

Fuente: Elaboración de los autores

Los movimientos en masas descritos anteriormente, hacen parte del Batolito de Pueblo Bello y Patillal, litológicamente constituidos por monzogranitos. Estas laderas presentaron un deslizamiento rotacional, donde todo el material se depositó en la vereda de Puente Quemao, causando pérdidas económicas.

## 9. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Los macizos rocosos presentes en el área, de acuerdo a la clasificación de RQD, están conformados por rocas de mala calidad, la clasificación de RMR nos proporcionó un mal estado de las discontinuidades halladas en los taludes. Mediante el análisis de RocLab fue factible conocer por medio de ensayos de carga puntual la resistencia de la matriz rocosa, para posteriormente identificar el estado con respecto a los parámetros de resistencia implementando el software RocLab en los siguientes taludes:

- El talud JDB – 006 por su gran extensión fue factible dividirlo en tramos de características similares: en el primer tramo JDB – 006 – 1 la matriz rocosa posee una resistencia de 0,21 Mpa y el segundo tramo JDB – 006 – 2 posee una resistencia de la matriz rocosa de 2,03 Mpa, al implementar esta información en el software RocLab se pudo interpretar que los esfuerzos principales de la roca no superan los esfuerzos de su resistencia, por lo cual se tiene una roca estable. Además, los esfuerzos de corte no superan los esfuerzos normales, por lo tanto no existe riesgo de fallamiento. En el tercer tramo JDB – 006 – 3 se obtuvo un valor de 0,5 Mpa en el cálculo de la resistencia de la matriz rocosa, en este lugar pudimos identificar que se presenta inestabilidad porque los esfuerzos principales llegan a casi el 50 % de los esfuerzos de la roca, pero los esfuerzos de corte no superan los esfuerzos normales, por lo cual no existe riesgo de fallamiento. No obstante, en el tramo JDB – 006 – 4 se identificó un movimiento en masa, el cual constituye un regolito, en él se percibe arena de granulometría gruesa, con un estado seco y surcos de 20-40 cm de profundidad.
- El talud JDB – 011 – 1 posee una resistencia de la matriz rocosa de 5,71 Mpa y se encuentra estable de acuerdo a los parámetros de RocLab. Por otro lado, el talud JDB – 011 – 2 muestra una resistencia de la matriz rocosa de 1,5 Mpa; en este se evidencia un riesgo de fracturamiento por la superación de los esfuerzos principales con respecto a los de la roca, además los valores de esfuerzo al corte y esfuerzo normal se encuentran muy cercanos.



## 11. MEDIDAS PREVENTIVAS Y DE MITIGACIÓN

El área de estudio está regida por diferentes procesos morfológicos entre los cuales cabe destacar, los procesos constructivos que tienen como objetivo mejorar la estabilidad de una ladera modificando ciertas condiciones que la hacen vulnerable. En los problemas de inestabilidad de laderas es común que se conjuguen varios factores o circunstancias que dan origen a un comportamiento crítico, por lo que es muy probable que se requiera también una combinación de procesos constructivos para atender el problema y evitar una condición de riesgo [18].

En los taludes que presentan inestabilidad, se sugiere rediseñarlos, implementando el método de equilibrio límite, en los cuales las condiciones de estabilidad están expresadas en términos de factor de seguridad, que pueden definirse como un factor en el que los parámetros resistentes de corte deben reducirse para hacer llegar al talud a un estado de equilibrio límite a través de una superficie de deslizamiento dada [19].

En las laderas que poseen deslizamientos rotacionales, se sugiere implementar medidas de estabilización, mediante métodos de conformación topográfica para equilibrar fuerzas, métodos de recubrimiento de la superficie del talud, métodos de control de agua y presión de poros, métodos de estructuras de contención y métodos para mejorar la resistencia del suelo [20].

No obstante, para contribuir con la conservación del medio ambiente, se sugiere implementar vegetación, la cual ejerce una gran influencia sobre la estabilidad superficial de los taludes, además de representar mejoras de diversidad biológica y paisajística. Esto sugiere la adopción de la vegetación siempre que sea posible entre las medidas de estabilización y control en taludes [21].

## 12. CONCLUSIONES

Las rocas que conforman el área de estudio pertenecen al Batolito de Pueblo Bello y Patillal, mediante la clasificación de Streckeisen en 1976, que corresponde a monzogranito con textura fanerítica, el cual se puede encontrar masivamente en algunos taludes y en estado de saprolito en las laderas.

Los macizos rocosos estudiados se caracterizan por tener muy mala calidad, con un RMR entre 50-21, lo que nos indica que de acuerdo al estado de las discontinuidades y a la resistencia de la matriz rocosa la calidad total de los afloramientos es mala.

Los taludes JDB – 006 – 3, JDB – 011 – 2 y JDB – 006 presentan riesgos de fallamiento y de ser fracturados, lo que representa un riesgo para la comunidad. Además, en el talud JDB – 006 – 4 se presenta un movimiento en masa debido a la alta meteorización del material rocoso, el cual en este caso constituye un regolito.

El análisis mediante perfiles de meteorización de cada una de las laderas que presentan movimientos en masas, evidencia que el desprendimiento ostentado se debe a la mala utilización del suelo, a una

alta bioturbación, reptación y meteorización, lo cual quedo expuesto ante la presencia de pendientes altas, escasez de vegetación y lluvias producidas en octubre de 2016 por el huracán Matthew.

El tipo de movimiento en masa se clasifica como deslizamientos rotacionales, los cuales generaron flujos de golpes de arenas que se depositaron en la vereda de Puente Quemao. Además, en los deslizamientos se perciben cárcavas de 3 a 5,8 metros de profundidad y surcos de 1,2 metros de profundidad aproximadamente.

Deben tomarse medidas de prevención y mitigación para la problemática existente, se sugiere rediseñar los taludes que presentan inestabilidad, para las laderas con deslizamientos rotacionales implementar la construcción de surcos diseñados dependiendo de suelos conformados granulométricamente por arenas bien graduadas, arenas con grava, pocos finos y gravas mal graduadas, mezclas grava-arena, se debe realizar la construcción de empalizadas con fajinas de vegetación. Lo que se desea es efectuar una medida de mitigación que sea amigable con el medioambiente y el entorno.

## 12. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] X. Font, J. Serra, y V. Pinto, "Los riesgos geológicos en la ordenación territorial", *Acta Geológica Hispánica*, vol. 30, no. 1-3, pp. 83-90, 1996.
- [2] M. Hernández, *Geología de las planchas 11 Santa Marta y 18 Ciénaga, escala 1:100.000. Memoria explicativa*. Bogotá, Colombia: 2003, p.92.
- [3] C. Espinoza, *Propuesta metodológica para establecer áreas de riesgo por remoción en masa*, Chile: Universidad del Bio Bio, 2012.
- [4] M. Mergili, C. Marchant y S. Moreiras, "Causas, características e impacto de los procesos de remoción en masa, en áreas contrastantes de la región Andina", *Revista Colombiana de Geografía, Colombia*. vol. 24, no. 2, pp.113-131, 2015.
- [5] C. Tschanz, R. Marvin, J. Cruz, H. Mehnert & G. Cebula, "Geologic Evolution of the Sierra Nevada de Santa Marta, Northeastern Colombia", *Geological Society of American Bulletin*, vol. 85, pp.273-284, 1974.
- [6] M. CL. Tschanz, A. Jimeno, C. Vesga, *Geology of the Sierra Nevada de Santa Marta Area (Colombia)*. Bogotá: Ingeominas, 1829.
- [7] J. Viloria de la hoz, *Economía regional*. Colombia: Banco de la República, 2005. p.17.
- [8] IDEAM. Comunicado Especial N°036. Colombia, 2016.
- [9] F. Colmenares, A. Mesa, J. Roncancio, E. Arciniegas, P. Pedraza, A. Cardona, A. Romero., C. Silva, S. Alvarado, O. Romero., A. Vargas. *Geología de las Planchas 11, 12, 13, 14, 18, 19, 20, 21, 25, 26, 27, 33 y 34. Proyecto Evolución Geohistórica de la Sierra Nevada de Santa Marta*, Colombia: Ingeominas, 2007.
- [10] Ingeominas, *Geología de la plancha 33 El Copey, Escala 1:100.000*, Colombia: Ingeominas, 2007.

- [11] W. MacDonald & N. Opdyke. Preliminary paleomagnetic results from Jurassic rocks of the Santa Marta Massif, Colombia, *Geological Society of America Memoir 162*, pp.295-298, 1984.
- [12] L. González de Vallejo (2002). Ingeniería geológica. Descripción de macizos rocosos. Madrid: Pearson.
- [13] F. Bongiorno, *Índice de calidad de la roca RQD. Clasificación de los macizos rocosos según: Barton, Bieniawski, Hoek y Brown*. Bogotá: Universidad de Los Andes.
- [14] H. Morales y M. Valiente, Evaluación geotécnica de inestabilidad de taludes. Caso de estudio: Institución Social Jardín Infantil Lipaya, casco urbano Barranquilla. Cartagena, Colombia: Universidad de Cartagena, 2017.
- [15] S. Graciano, Estimación de umbrales de lluvia detonante de deslizamientos en las microcuencas de los corregimientos de Villa Restrepo y Juntas de la Cuenca Combeima, Ibagué-Tolima. Ibagué: Universidad del Tolima, 2005.
- [16] L. Gonzalez., M. Ferrer., L. Ortuño., y C. Otero. Ingeniería Geológica, Madrid: Editorial Pearson, 2002.
- [17] E. Aristizabal, y. Valencia, A. Guerra, M. Vélez, y O. Echeverri, Caracterización geotécnica de Perfiles de Meteorización desarrollados sobre rocas igneas en ambientes tropicales. Medellín: Unal, 2011.
- [18] R. Gallardo, T. E. Guerrero, y A. MacGregor, "Investigación geotécnica para la estabilización de las laderas del barrio San Fermín, municipio de Ocaña, departamento de Norte de Santander (Colombia)", *INGE CUC*, vol. 9, no. 2, pp.66-74, 2013.
- [19] C. López, J. Fariñas, P. García, R. Gómez, G. Llopis, C. Mataix, P. Serrano, Manual de estabilización y revegetación de taludes, UPM, Madrid: 2002.
- [20] J. Suárez, *Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales*. Bucaramanga: UIS, 1998.
- [21] L. Ramajo, J. Giraldez, R. Madrid, A. Rodríguez, V. Contreras, B. Landa, E. Taguas, A. Viedma, T. Vanwalleghem, y J. Gómez, Manual de técnicas de estabilización biotécnica en taludes de infraestructuras de obra civil, Córdoba: Universidad de Córdoba, 2014.