

Elaboración del mapa de riesgo geotécnico entre los sectores Escaguey y Misigua del Municipio Rangel del Estado Mérida.

Elaboration of the geotechnical risk map between the Escaguey and Misigua sectors of the Rangel municipality in the state of Mérida.

Mendoza, Youlisbeth^{1*}; Rivas-De Jesús, Ivan²; Ángel, Franklyn³; Rivas, Daniel⁴

¹Coordinación de Análisis, Estudio e Investigación del Riesgo, Dirección de Gestión del Riesgo, Protección Civil Mérida.

² Universidad de Los Andes, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Geológica, Mérida – Venezuela.

³ Departamento de Desarrollo de Yacimientos Orinoquía, Ecopetrol SA, Bogotá DC, Cundinamarca, Colombia.

⁴ Departamento de Geomecánica, Escuela de Ingeniería Geológica, Universidad de Los Andes, Mérida – Venezuela.

*youlis112@gmail.com

Resumen

Entre los sectores Escaguey y Misigua del municipio Rangel del estado Mérida, existen taludes de suelos o escarpes erosivos en el tramo vial de la carretera trasandina o troncal 7, propensos a sufrir deslizamientos debido a distintos factores, es por esto que se requiere la elaboración del mapa de riesgo geotécnico de la zona, con la finalidad de conocer los distintos niveles de riesgo y proponer soluciones a dicha problemática. La metodología empleada se divide en tres etapas que permitieron la ejecución de los objetivos propuestos para este estudio. La etapa preliminar consistió en abordar antecedentes bibliográficos, cartográficos, entre otros con el propósito de hacer un reconocimiento amplio de la zona. La etapa de ejecución se llevó a cabo mediante idas a campo para la selección de taludes y toma de muestras, pero además se hizo un reconocimiento geológico-geotécnico, donde se identifica que los suelos residuales presentes son producto de la meteorización de roca de edad precámbrica perteneciente a la Asociación Sierra Nevada. En cuanto a la etapa de análisis se determinaron los parámetros geomecánicos del suelo, así como también, se establece un análisis de equilibrio límite con el tipo de rotura circular, utilizando el criterio de Mohr-Coulomb para determinar el comportamiento del suelo. Se utilizó el Software Slide para el cálculo del factor de seguridad para los cinco taludes estudiados en las diferentes condiciones de saturación y sismicidad con los diferentes métodos, que luego fueron comparados con los resultados generados por el método analítico de las dovelas, presentando gran similitud. Se empleó la metodología de Suarez (2012) para estimar los parámetros de amenaza y vulnerabilidad, esto con la intención de calcular el riesgo geotécnico, con ayuda del programa ArcGis se generan mapas indispensables para la investigación como lo son el fotomapa, el mapa de pendientes, mapa de unidades geomorfológicas, mapa de unidades litológicas, mapa de amenaza, de vulnerabilidad y finalmente el mapa de riesgo geotécnico. El resultado para la amenaza fue de grado alto, al igual que la vulnerabilidad, al multiplicar la vulnerabilidad por la amenaza se generaron distintos grados de riesgos, de los cuales el mayor porcentaje fue de riesgo moderado con un 43,27% y solo el 7,23% indica un riesgo muy alto. Se considera que el nivel de riesgo es mayor en el talud 4, debido a que, este en particular se presenta muy inestable, con un factor de seguridad de 0,666 en el programa Slide y se plantea el método de estabilización de bancos y bermas en dos configuraciones, para ambos métodos los resultados sugieren que el talud con el método de estabilización planteado se presenta de forma ligeramente estable, a 90° y 45°, sin embargo el valor más alto de factor de seguridad por el programa es de 1,256 a una inclinación de 90°.

Palabras clave: Vulnerabilidad, Amenaza, Riesgo, Talud, Factor de Seguridad.

Abstract

Between the Escaguey and Misigua sectors of the Rangel municipality in the state of Mérida, there are soil slopes or erosive escarpments in the road section of the Trans-Andean Highway or Trunk 7, prone to landslides due to different factors, which is why the elaboration of the geotechnical risk map of the area is required, in order to know the different risk levels and propose solutions to this problem. The methodology used is divided into three stages that allowed the execution of the

objectives proposed for this study. The preliminary stage consisted of approaching bibliographic and cartographic background, among others, with the purpose of making a broad recognition of the area. The execution stage was carried out by going to the field to select slopes and take samples, but a geological-geotechnical reconnaissance was also carried out, where it was identified that the residual soils present are the product of the weathering of Precambrian rock belonging to the Sierra Nevada Association. As for the analysis stage, the geomechanical parameters of the soil were determined, as well as a limit equilibrium analysis with the type of circular breakage, using the Mohr-Coulomb criterion to determine the behavior of the soil. Slide software was used to calculate the safety factor for the five slopes studied in the different conditions of saturation and seismicity with the different methods, which were then compared with the results generated by the analytical method of the voussoirs, showing great similarity. The methodology of Suarez (2012) was used to estimate the parameters of threat and vulnerability, this with the intention of calculating the geotechnical risk, with the help of the ArcGis program indispensable maps are generated for the research such as the photomap, slope map, geomorphological units map, lithological units map, threat map, vulnerability map and finally the geotechnical risk map. The result for the hazard was high, as was the vulnerability. When multiplying vulnerability by hazard, different degrees of risk were generated, of which the highest percentage was moderate risk with 43.27% and only 7.23% indicated a very high risk. It is considered that the level of risk is higher in slope 4, due to the fact that this particular slope is very unstable, with a safety factor of 0.666 in the Slide program and the method of stabilization of banks and berms is proposed in two configurations, for both methods the results suggest that the slope with the stabilization method proposed is slightly stable, at 90° and 45°, however the highest value of safety factor for the program is 1.256 at an inclination of 90°.

Keywords: Vulnerability, Hazard, Risk, Slope, Safety Factor.

1 Introducción

Existen problemas que se generan a partir de la estabilidad de laderas naturales, los cuales difieren de los que se presentan en taludes construidos por el ingeniero, los taludes generan gran relevancia el conocer su naturaleza y composición por diferentes factores, la estabilidad de taludes estudia la estabilidad o posible inestabilidad de un talud a la hora de realizar un proyecto, o llevar a cabo una obra de construcción de ingeniería. Los taludes además son estables dependiendo de la resistencia del material del que estén compuestos, los empujes a los que son sometidos o las discontinuidades que presenten, estos pueden ser de roca o de suelos, ambos tienden a estudiarse de forma distinta, los taludes de roca se clasifican de acuerdo a su génesis, ya sea ígneo, metamórfico o sedimentario, mientras que los taludes conformados por suelos residuales, son el producto de la meteorización de las rocas y su comportamiento depende de la roca original, así como también del grado de descomposición, los deslizamientos de tierra son muy comunes en suelos residuales, especialmente en los periodos de lluvias intensas. Los taludes deben verse como esencialmente distintos los problemas de los cortes y los de los terraplenes, las diferencias importantes radican, en primer lugar, en la naturaleza de los materiales involucrados, y en segundo, todo aquel conjunto de circunstancias que depende de cómo se formó el talud y de su historia geológica, de las condiciones climáticas que se generaron a lo largo de tal historia y de la influencia que el hombre ejerce en la actualidad o que haya ejercido en el pasado. En condiciones secas y sin sismicidad los taludes presentan aparente estabilidad, pero estos al ser sometidos a condiciones como el agua, sismo, por separadas o en conjunto producen deformaciones sobre la masa de suelo, entonces cualquier talud está sujeto a fuerzas naturales que tienden a hacer que las partículas y porciones de suelo próximas a su frontera deslicen hacia abajo.

En tal sentido, se pretende identificar el nivel de riesgo que pueda existir en taludes de suelos, localizados en el tramo vial ubicado entre los sectores Escaguey y Misigua del municipio Rangel del estado Mérida, a través de un análisis del comportamiento de los suelos y los aspectos geológicos, con la finalidad de generar el mapa de riesgo geotécnico de la zona, así como también un mapa representativo del comportamiento de las laderas y taludes con su respectivo corte de mayor o menor riesgo, en donde se consideren las vías de acceso afectadas por zonas inestables propensas a sufrir deslizamientos, las cuales comunican a los centros poblados.

2 Marco Teórico

2.1 Mapa Geotécnico

Constituyen un método en ingeniería geológica para presentar cartográficamente información geológico-geotécnica con fines de planificación y uso del territorio y para el proyecto, construcción y mantenimiento de obras de ingeniería; aportan datos sobre las características y propiedades del suelo y del subsuelo de una determinada zona para evaluar su comportamiento y prever los problemas geológicos y geotécnicos. (González De Vallejo, 2002).

2.2 Talud o Ladera

Un talud o ladera es una masa de tierra que no es plana, sino que posee pendiente o cambios de altura significativos. En la literatura técnica se define como ladera cuando su conformación actual tuvo como origen un proceso natural y talud cuando se conformó artificialmente. Los taludes se pueden agrupar en tres categorías generales: Los terraplenes, los cortes de laderas naturales y los muros de contención. Además, se pueden presentar combinaciones de los diversos tipos de taludes y laderas. (Suárez, 2012). Existen algunos términos para definir las partes de un talud.

2.3 Factor de seguridad

Se define el factor de seguridad (FS) en la Ecuación 1, como el valor que cuantifica la diferencia entre las condiciones reales que presenta el talud y las condiciones que llevan a su rotura. Para las diferentes roturas se tienen ecuaciones propuestas por el profesor Ucar en el año 2002. Para obtener una condición asociada a las situaciones de estabilidad de las laderas, según los valores del factor de seguridad, se hace uso de la Tabla 1.

$$FS = \frac{\text{fuerza estabilizadoras}}{\text{fuerzas desestabilizadoras}}$$

Ecuación 1 Factor de seguridad

Tabla 1. Valores del factor de seguridad asociados a estabilidad de laderas, tomado de Rivas, Belandria, Bongiorno, & Moreno (2015).

ESTABILIDAD	FACTOR DE SEGURIDAD	CONDICIÓN CINEMÁTICA
MUY ESTABLE	Valores mayores a 2,5	Configuración cinemática inactiva
ESTABLE	1,5 < FS < 2,5	Configuración aparentemente inactiva
LIGERAMENTE ESTABLE	1,2 < FS < 1,5	Poca o nula densidad e incidencia de procesos de remoción en masa, asociada a la cinemática de planos estructurales
INESTABLE	1 < FS < 1,2	Media densidad e incidencia de procesos de remoción en masa asociada a la cinemática de planos estructurales
MUY INESTABLE	FS < 1	Alta densidad e incidencia de procesos de remoción en masa asociada a la cinemática de planos estructurales

2.4 Movimientos en Masa

Es un término amplio para designar cualquier tipo de movimiento ladera abajo del terreno. En un sentido más restringido, los movimientos en masa se refieren a un rápido movimiento ladera debajo de rocas o suelo en forma de una masa más o menos coherente. Por comodidad, a veces se refiere a todos ellos como deslizamientos. (Keller & Blodgett, 2004).

2.5 Deslizamiento Rotacional

En un deslizamiento rotacional la superficie de falla es formada por una curva cuyo centro de giro se encuentra por encima del centro de gravedad del cuerpo del movimiento. Visto en planta el deslizamiento posee una serie de agrietamientos concéntricos y cóncavos en la dirección del movimiento. El movimiento produce un área superior de hundimiento y otra inferior de deslizamiento generándose comúnmente, flujos de materiales por debajo del pie del deslizamiento. (Suárez, 2012).

2.6 Amenaza

La amenaza es una condición con el potencial de causar una consecuencia indeseable. Una descripción de amenaza a deslizamientos debe incluir las características de éstos, el volumen o áreas de los movimientos, las profundidades, las velocidades y su probabilidad de ocurrencia. La amenaza es la probabilidad de que ocurra un deslizamiento particular en un determinado tiempo. (Suárez, 2012).

2.7 Riesgo

El riesgo es una medida de la probabilidad y severidad de un efecto adverso a la vida, la salud, la propiedad o el ambiente. Se mide en vidas humanas, propiedades en riesgo y daños ambientales. El riesgo generalmente es estimado como el producto de la probabilidad de la amenaza por las consecuencias para los elementos en riesgo. (Suarez, 2012).

2.8 Sistemas de Información Geográfica (SIG)

Son un conjunto de herramientas diseñadas para obtener, almacenar, recuperar y desplegar datos especiales del mundo real. Los datos pueden ser un conjunto de mapas, de la misma porción del territorio, donde un lugar concreto tiene la misma localización (coordenadas) en todos los mapas. Resulta posible realizar análisis de sus características espaciales y temáticas, para obtener un mejor conocimiento de esa zona.

2.9 Slide

Slide es un programa de estabilidad de taludes 2D, que analiza la estabilidad de la superficie de deslizamiento usando métodos de equilibrio límite por medio de rebanadas verticales, tanto para superficies circulares como no circulares, en taludes de suelo y rocas.

3 Procedimiento Experimental

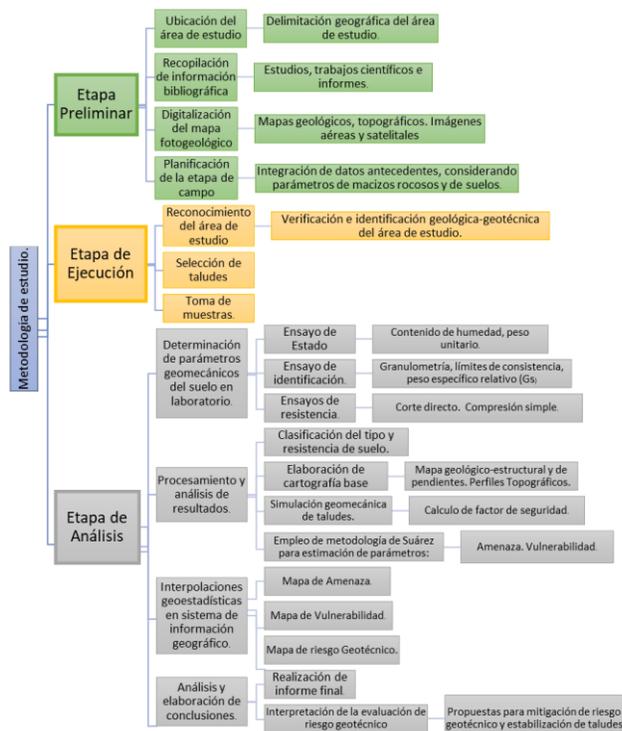


Fig. 1. Esquema Metodológico

3.2 Etapa Preliminar

Se efectúa una recopilación bibliográfica para hacer un reconocimiento amplio de la zona de estudio, delimitando el área con ayuda de la cartografía existente y de esta manera generar un plan de acción para la etapa en campo, considerando todos los factores en el área, tomando en cuenta los estudios previos realizados referentes a métodos de estabilización, clasificaciones geomecánicas, estudios de riesgo, entre otros.

3.2.1 Ubicación del área de estudio



Fig. 2. Imagen satelital del área de estudio tomada de Sas planet 2018.

Por medio de cartografía existente e imágenes satelitales se delimita la zona de estudio, tomando en cuenta las coordenadas geográficas en las cuales se extiende la investigación y por consiguiente se comienza la etapa preliminar con la recopilación bibliográfica necesaria, que aporte información del área en estudio. En la Figura 2 se observa la imagen satelital del área.

3.2.2 Recopilación de la información bibliográfica

Consiste en la búsqueda de trabajos de relevancia, específicamente de tipos geológico-geotectónico y de gestión de riesgo, los cuales hayan sido realizados en la zona o en sus adyacencias. Los trabajos más importantes para tomar en cuenta son trabajos geológicos, geotécnicos, geomorfológicos y de gestión de riesgo, específicamente de la ciudad de Mérida.

3.2.3 Digitalización del mapa fotogeológico

Una vez recopilada toda la información necesaria de la cartografía e imágenes de satélite y aéreas se genera el mapa fotogeológico base y preliminar, tomando en consideración las litologías, el comportamiento geomorfológico de las unidades, el relieve y la delimitación de depósitos cuaternarios recientes en el área de estudio.

3.2.4 Planificación de la etapa de campo

El estudio se enfoca únicamente en taludes de suelos, los cuales poseen una descripción geotécnica para su clasificación, que se basa en la realización de fichas para el reconocimiento geotécnico de suelo residual, en este caso los parámetros que se toman en cuenta son: ubicación, coordenadas geográficas UTM WGS84, formación litodémica del cual procede el

suelo residual, vegetación presente, forma y tamaño de las partículas, gradación, tenacidad, humedad, resistencia al estado seco, dilatancia, materia orgánica presente, compacidad, plasticidad del suelo, y se finaliza con un croquis del perfil de meteorización.

3.2.52 Selección de taludes

Son seleccionados los sitios donde los taludes de suelos se consideren amenazantes, vulnerables y los que sirvan de soporte para obras viales, dichos taludes pueden verse afectados por deslizamientos de tierra o por movimientos en masa. Una vez estos son definidos, se lleva a cabo la estimación del grado de riesgo que sea considerable de afectación.

3.2.6 Toma de muestras

En la Figura 3 se observa el mapa de la zona en estudio con la ubicación de las calicatas. Las cuales se denotaron TS1, TS2, TS3, TS4 y TS5 en dirección a la ciudad de Mérida. Luego de recolectar las muestras se procede a llenar la planilla de reconocimiento geotécnico para los suelos, en ella se debe colocar los espesores de suelo residual, el tamaño de los granos, la gradación, la forma de las partículas, estructura, humedad, cohesión, compacidad y el nombre del suelo según la clasificación SUCS.

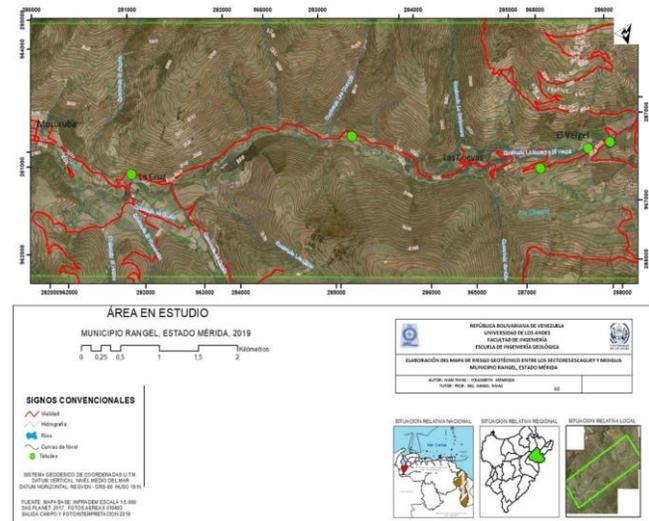


Fig. 3. Ubicación geográfica de las calicatas.

Cada una de las calicatas tienen una abertura de 0,30m por 0,30m de profundidad aproximadamente, dependiendo del tipo de suelo y en las condiciones en que se encuentre, estas medidas son necesarias para extraer la muestra en las mejores condiciones, y de esta manera obtener las características generales del material granular.

3.3 Etapa de análisis

En esta última etapa se llevan a cabo interpretaciones y procesamiento de datos de toda la información recopilada en las etapas anteriores, en donde se revisan las muestras

recolectadas y se llevan al laboratorio para ser sometidas a diferentes tipos de ensayos, con la finalidad de obtener los parámetros físicos y geomecánicos, que sirvan para estimar la calidad de los taludes de suelos y su comportamiento geotécnico.

3.3.1 Determinación de parámetros geomecánicos del suelo en laboratorio

Las muestras de suelo extraídas en campo deben ser llevadas al laboratorio de suelos y pavimentos de la escuela de Ingeniería Civil de la Universidad de los Andes - Núcleo Mérida, para realizarles distintos tipos de ensayos con el objetivo de determinar sus características geomecánicas. Dichas muestras se someten a diferentes esfuerzos y cargas para estudiar el comportamiento que los suelos adoptan ante estas condiciones. Una vez calculados todos los ensayos de laboratorio, se clasifica el suelo por medio de la clasificación SUCS a través del ensayo granulométrico por tamizado y el de límites de consistencia.

3.3.2 Procesamiento y análisis de resultados

Al determinar los parámetros geomecánicos de las muestras, por medio de los ensayos de laboratorio, se clasifica el tipo de suelo, para conocer las características físicas y químicas del mismo, y por medio del método de equilibrio límite se analiza e interpreta el cálculo de los taludes de suelos, con el fin de determinar el factor de seguridad que corresponde a cada uno de ellos.

3.3.3 Elaboración de cartografía base

ArcGis es el programa de digitalización a emplear en la elaboración del mapa topográfico y geológico, entonces para la realización del mapa topográfico se parte con la georreferenciación del mapa a digitalizar por medio de los datos extraídos en campo, así como también los datos de las imágenes satelitales.

3.3.4 Simulación geomecánica de taludes

La simulación de taludes se lleva a cabo a través del *software* Slide, programa de fácil utilización que trabaja en dos dimensiones, esto con la finalidad de evaluar la estabilidad de las curvas de rotura circulares o no, tanto en suelos como en laderas, realizando modelos detallados o complejos, según sea el requerimiento del estudio. Para la utilización de dicho programa se deben realizar previamente perfiles topográficos a los diferentes taludes, esto a través de cortes topográficos perpendiculares a la carretera, con el objetivo de obtener la geometría de cada uno de ellos sobre la carretera, luego esta información se traslada a Slide para interpretar los datos por medio del *software*.

3.3.5 Método analítico de las Dovelas

Se lleva a cabo, a través de los parámetros necesarios para aplicar las ecuaciones de los métodos Fellenius ordinario y Bishop simplificado. Utilizando la curva de deslizamiento generada por el programa Slide en la geometría del talud, en donde se muestran las dovelas y todos los datos concernientes a ellas como lo son: el ancho de la dovela (Δx), la altura de la dovela (H promedio), las coordenadas de la ubicación espacial de la dovela (X_i, Y_i), el entro (X, Y), entre otros. Se genera una hoja de cálculo en Excel, con todos los datos obtenidos de cada dovela a través del programa Slide para el cálculo del factor de seguridad utilizando las ecuaciones de Fellenius ordinario y Bishop simplificado.

3.3.6 Empleo de metodología de Suarez para estimación de parámetros

Consiste en la evaluación de amenazas y riesgos, ante la incertidumbre de posibles ocurrencias de deslizamientos, los cuales pueden originarse por diversos factores, como geológicos, hidráulicos, geomorfológicos o la modificación de estos, por procesos geodinámicos, vegetación, uso de la tierra, actividades humanas, frecuentes precipitaciones y sismicidad. Tal incertidumbre crea un fenómeno con la posibilidad de originarse o no. A través de la zonificación se evalúa la incertidumbre de ocurrencia de tal fenómeno, siendo una herramienta muy útil al momento de tomar decisiones en la planificación de algún proyecto. La zonificación consiste básicamente en la división del terreno en áreas homogéneas, calificando cada una de estas áreas con el grado real o potencial de amenaza o riesgo.

3.3.7 Datos para la evaluación de amenaza a deslizamientos

El método de análisis se basa en correlaciones del cálculo del factor de seguridad de estabilidad de taludes. Son tabulados los valores de FS de las diferentes metodologías de análisis para cada talud, según su condición de saturación, estática (sin sismo) y dinámica (con sismo). La condición dinámica es evaluada según los coeficientes de carga sísmica horizontal 0,3 y vertical 0,15.

3.3.8 Datos para la evaluación de vulnerabilidad.

La estimación de este parámetro se enfocará única y exclusivamente a la vulnerabilidad física de la vialidad con respecto a los taludes estudiados, debido a que no existen poblados vulnerables a deslizamientos de dichos taludes.

3.3.9 Datos necesarios para la evaluación de riesgo.

El cálculo de riesgo se estima por medio de una ecuación matemática, basado en la amenaza, los elementos en riesgo y la vulnerabilidad de estos. Este estudio se enfoca específicamente en las obras viales, con la finalidad de identificar el nivel de riesgo en los tramos viales. Posteriormente se realiza un análisis cuantitativo del riesgo considerando el análisis de

la amenaza y el análisis de vulnerabilidad, para realizar la operación matemática.

4 Discusión y Resultados

4.1 Análisis de fotografías aéreas e imágenes satelitales

Se aprecia una vegetación abundante, ríos encajonados y poco espaciados, tonos moderados y textura suave. En la margen izquierda se aprecian cinco geoformas de lomos de falla y ensilladuras de falla que permiten interpretar la traza sur de la falla de Boconó. En su contraparte, en la margen derecha o vertiente norte también se interpretan alineamientos geológicos, sobre la Asociación Sierra Nevada que controlan algunos drenajes y controlan algunas geoformas como ensilladuras de fallas de menor tamaño, detallados en la Figura 4.

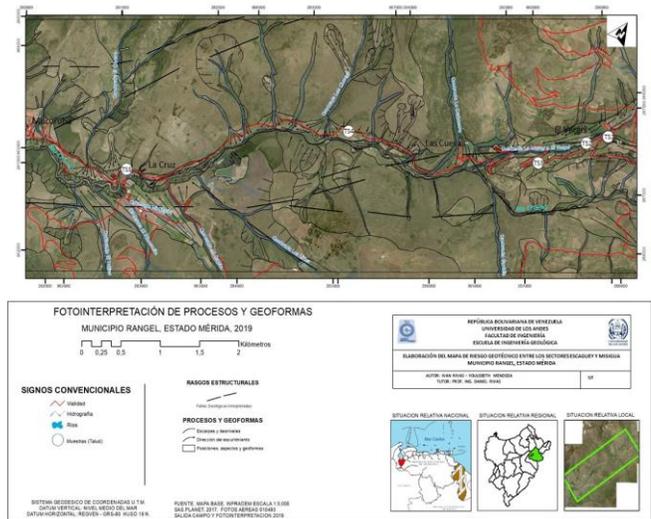


Fig. 4. Fotointerpretación de procesos y geoformas.

4.2 Identificación geológica geotécnica del área de estudio

La zona de estudio se caracteriza por presentar condiciones geológicas de orígenes de la asociación sierra nevada, como lo describe La Marca 1997; presentando alternancia de micaesquistos y gneises, gneises migmatíticos, gneises graníticos y localmente mármoles y cuarcitas, de edad precámbrico superior. Esta unidad ha sufrido diferentes grados de meteorización a lo largo del tiempo, generando suelos residuales y por ende escarpes erosivos o taludes que son en algunas condiciones susceptibles a sufrir deslizamientos a los tramos viales. Los grados de meteorización de la asociación Sierra Nevada abarcan un rango de moderado, alto, completo y altamente meteorizado.

4.3 Descripción del suelo “in situ”

Los escarpes erosivos o taludes son el objeto de estudio de esta investigación, están formados por suelos producto de la meteorización en distintos niveles de la Asociación Sierra

Nevada que dieron origen a los mismos, considerados suelos residuales. Los taludes más representativos de la zona son seleccionados para posteriormente realizar las respectivas calicatas, en este caso tuvieron lugar cinco calicatas, a través de la planilla como se muestra en la figura 5.2

4.4 Parámetros geomecánicos de los taludes de suelo

En la Tabla 2 se detallan los resultados de cada uno de los ensayos realizados en el laboratorio, para cada uno de los taludes.

Tabla 2. Resumen de resultados obtenidos de ensayos en laboratorio.

TABLA RESUMEN - ENSAYOS DE LABORATORIO					
Numero de Muestra:	T81	T82	T83	T84	T85
Contenido de Humedad:					
w (%)	4,19	2,59	10,68	3,95	2,48
Peso Específico Relativo:					
G _s	2,71	2,60	2,16	2,60	2,75
Peso Unitario:					
Peso Volumétrico, γ _m (g/cm ³)	1,25	1,39	1,10	1,26	1,41
γ _m (kN/m ³)	12,26	13,64	10,76	12,36	13,83
Granulometría:					
Gravas (%G)	19,03	26,46	20,47	17,43	27,29
Arenas (%S)	72,81	66,04	69,79	74,63	70,52
Finos (%F)	8,16	7,49	9,74	7,94	4,19
Coefficiente de Uniformidad, C _u (mm)	12,57	16,99	22,32	13,28	7,29
Uniformidad	No Uniforme	No Uniforme	No Uniforme	No Uniforme	No Uniforme
Coefficiente de Curvatura, C _c (mm)	1,17	1,04	0,59	0,97	0,85
Gradación	Suabo Bien Graduado	Suabo Bien Graduado	Suabo Mal Graduado	Suabo Mal Graduado	Suabo Mal Graduado
Límites de Consistencia:					
Límite Líquido, LL (%)	20,89	15,49	24,26	17,89	12,49
Límite Plástico, L.P. (%)	-	-	17,70	-	-
Índice de Plasticidad, I.P. (%)	-	-	6,56	-	-
Colapsabilidad	1,885	1,854	1,594	1,775	1,963
	No colapsable	No colapsable	Suabo colapsable	Suabo colapsable	Suabo colapsable
Clasificación Del Suelo:					
Clasificación (S.U.C.S.)	SW - SM	SW - SC	SP - SC	SP-SC	SP
Descripción (S.U.C.S.)	Son arenas limosas	Son arenas bien graduadas con cantidades reducidas de partículas finas generales del suelo	Son arenas mal graduadas arcillosas	Son arenas mal graduadas arcillosas	Arenas mal graduadas
Clasificación (ASHSTO)	A-2-4	A-2-4	A-2-4	A-2-4	A-2-4
Descripción (ASHSTO)	Gravas y Arenas Limosas y Arcillosas	Gravas y Arenas Limosas y Arcillosas	Gravas y Arenas Limosas y Arcillosas	Gravas y Arenas Limosas y Arcillosas	Gravas y Arenas Limosas y Arcillosas
Término de Fundación	Excelente a Bueno	Excelente a Bueno	Excelente a Bueno	Excelente a Bueno	Excelente a Bueno
Corte Directo:					
Cohesión, c (kg/cm ²)	0,04	0,01	0,09	0,09	0,02
ángulo de Fricción, φ (°)	3,92	0,96	6,83	6,83	1,96
ángulo de Fricción interna, φ' (°)	33,44	34,04	27,47	36,48	34,86
Compresión Simple:					
Máxima Resistencia, q _u (kg/cm ²)	0,38	-	1,05	0,50	-
Ángulo de Rotura, e (°)	73	-	67	65,00	-
Ángulo de Fricción interna, φ (°)	56	-	44	40,00	-
Cohesión, c (kg/cm ²)	0,06	-	0,22	0,12	-
ángulo de Fricción interna, φ' (°)	5,77	-	21,86	11,38	-

4.5 Elaboración de la cartografía base

4.5.1 Perfiles topográficos

Para analizar la estabilidad de los taludes de suelos se hace un estudio detallado de la topografía del área, es por esto por lo que se llevan a cabo cinco perfiles topográficos, tomando en cuenta el punto de realización de la calicata, a fin de mostrar las zonas más propensas a sufrir deslizamientos. Estos perfiles se realizan en el software Slide, a través de la información obtenida del programa ArcGis. En la Figura 5 se muestran los taludes en estudio y su ubicación geográfica.

El análisis de las pendientes en el área es de suma importancia, para conocer la inclinación que tiene el terreno en el área de estudio, ya que mientras mayor sea la inclinación del terreno, mayor será el valor de la pendiente. En la zona existen pendientes que abarcan un rango menor a 5 y mayor a 45, es decir, se presentan pendientes desde moderadas a altas, las cuales se encuentran representadas en la Figura 6, a escala

1:25000 con sistema de coordenadas UTM bajo el estándar WGS 84

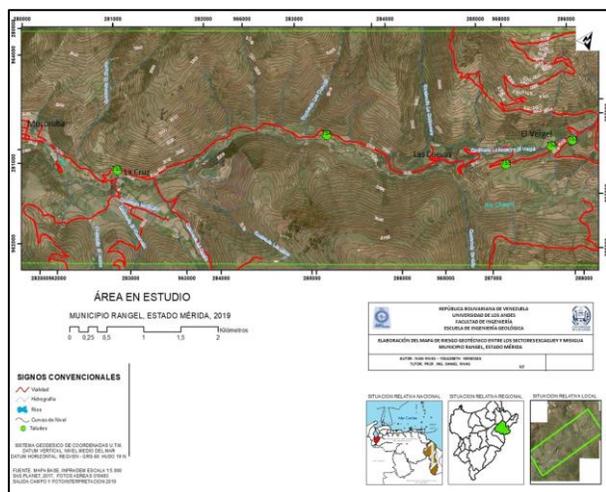


Fig. 5. Mapa topográfico con la ubicación geográfica de los perfiles de los taludes de suelo.

4.5.2 Mapa de pendientes

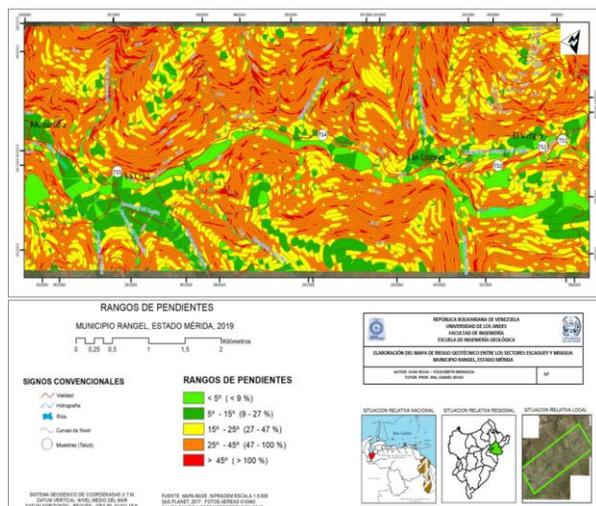


Fig 6. Mapa de pendientes del área de estudio.

Por medio de la recopilación de información cartográfica, de imágenes satelitales, así como también de la geomorfología, estudios de campo, antecedentes del lugar, entre otros estudios que involucran la geología, se lleva a cabo la elaboración del mapa geológico-estructural, interpretando el tipo de formación o asociación existente en este caso.

La Figura 7 muestra los grados de meteorización de la Asociación Sierra Nevada, representados en diferentes tonalidades de colores, con presencia de material coluvial y un rango que abarca desde roca moderadamente meteorizada hasta llegar a roca altamente meteorizada-tectonizada

4.5.3 Mapa de geológico-estructural

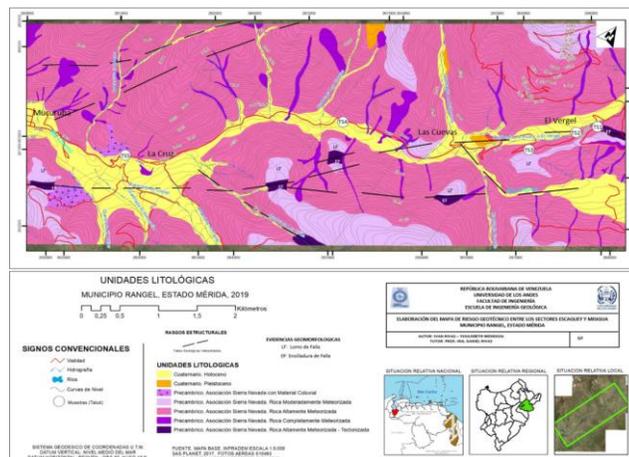


Fig. 7. Mapa de geológico-estructural del área de estudio.

4.5.4 Mapa Geomorfológico

Con base a investigaciones previas de fotointerpretación, antecedentes del área y criterios heurísticos, se lleva a cabo la interpretación geomorfológica. En el mapa se muestra detalladamente las diferentes unidades geomorfológicas, evidenciándose los lomos y ensilladuras de falla indicativo de zonas de falla, relevantes para el análisis neotectónico del lugar.

A la margen derecha del río Chama se aprecian diez depósitos aluviales del tipo abanico aluvial, así como también se interpretan alineamientos geológicos, sobre la Asociación Sierra Nevada que controlan algunos drenajes y algunas formas como ensilladuras de fallas de menor tamaño.

Mientras que en la margen izquierda del río Chama los depósitos tipo abanico aluvial que corresponden con los abanicos coalescentes. En la Figura 8 se identifican las vertientes con fragmentos rocosos fracturados y los depósitos aluviales se presentan en forma de sedimentos ordenados.

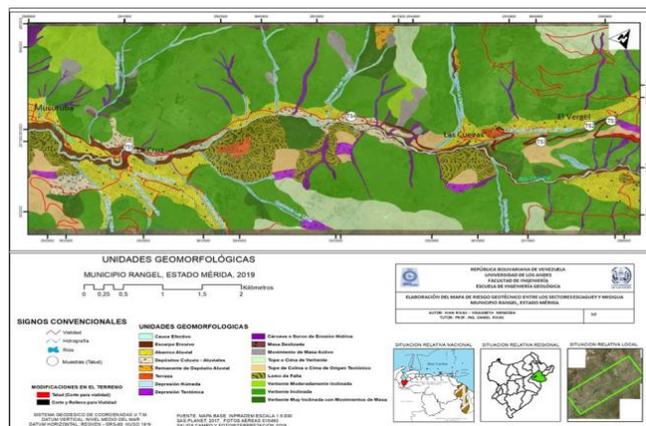


Fig. 8. Mapa de unidades geomorfológicas del área de estudio.

4.6 Simulación geomecánica de taludes y cálculo de factor de seguridad

Para el cálculo del factor de seguridad se utilizaron tanto los métodos de Fellenius ordinario y Bishop simplificado, así como también los métodos de Janbú Generalizado, Spencer, Mongerstern-Price por medio del programa Slide, los resultados se muestran en las Tablas 3 y 4 con análisis probabilístico y evaluando en las distintas condiciones (parámetros naturales como el agua y la sísmica) determinando el factor de seguridad para cada una de ellas.

Los factores de seguridad obtenidos mediante estos métodos en el software Slide son comparados por el método de las dovelas a través de los cálculos de Fellenius ordinario y Bishop simplificado, para obtener la estabilidad cinemática por medio de la Tabla 5.

Tabla 3. Factores de seguridad según los métodos de Fellenius ordinario y Bishop simplificado obtenidos por el software Slide.

Talud	Condición de Saturación	FELLENIUS		BISHOP	
		Sin Sismo	Con Sismo	Sin Sismo	Con Sismo
TS1	Seco (S=0 %)	1,507	0,908	1,557	0,964
		Estable	Muy Inestable	Estable	Muy Inestable
	Subsaturado (S=50 %)	1,219	0,697	0,719	0,453
TS2	Seco (S=0 %)	1,888	1,187	1,878	1,202
		Estable	Inestable	Estable	Ligeramente Estable
	Subsaturado (S=50 %)	1,647	1,028	1,211	0,181
TS3	Seco (S=0 %)	2,094	1,379	2,072	1,374
		Estable	Ligeramente Estable	Estable	Ligeramente Estable
	Subsaturado (S=50 %)	1,283	0,774	1,512	0,816
TS4	Seco (S=0 %)	0,666	0,377	0,656	0,429
		Muy Inestable	Muy Inestable	Muy Inestable	Muy Inestable
	Subsaturado (S=50 %)	0,527	0,270	0,066	0,034
TS5	Seco (S=0 %)	1,051	0,650	1,078	0,677
		Inestable	Muy Inestable	Inestable	Muy Inestable
	Subsaturado (S=50 %)	0,809	0,371	0,637	0,367
TS6	Seco (S=0 %)	0,809	0,371	0,637	0,367
		Muy Inestable	Muy Inestable	Muy Inestable	Muy Inestable
	Saturado (S=100 %)	0,408	0,009	0,008	0,009
		Muy Inestable	Muy Inestable	Muy Inestable	

Tabla 4. Factores de seguridad según los métodos de Janbú Generalizado, Spencer, Mongerstern-Price obtenidos por el software Slide.

Talud	Condición de Saturación	JANBÚ GENERALIZADO		SPENCER		MONGERSTERN-PRICE	
		Sin Sismo	Con Sismo	Sin Sismo	Con Sismo	Sin Sismo	Con Sismo
TS1	Seco (S=0 %)	1,504	0,900	1,548	0,968	1,547	0,967
		Estable	Muy Inestable	Estable	Muy Inestable	Estable	Muy Inestable
	Subsaturado (S=50 %)	0,6784	0,316	1,24	0,959	1,238	0,955
TS2	Seco (S=0 %)	1,891	1,177	1,885	1,160	1,884	1,558
		Estable	Estable	Estable	Inestable	Estable	Estable
	Subsaturado (S=50 %)	1,125	0,684	1,726	1,554	1,6	1,528
TS3	Seco (S=0 %)	2,112	1,347	2,085	1,370	2,084	1,369
		Estable	Ligeramente Estable	Estable	Ligeramente Estable	Estable	Ligeramente Estable
	Subsaturado (S=50 %)	1,13	0,749	1,5	0,916	1,627	0,897
TS4	Seco (S=0 %)	0,669	0,369	0,664	0,463	0,678	0,455
		Muy Inestable	Muy Inestable	Muy Inestable	Muy Inestable	Muy Inestable	Muy Inestable
	Subsaturado (S=50 %)	0,089	0,0138	0,469	0,466	0,485	0,421
TS5	Seco (S=0 %)	1,049	0,643	1,075	0,687	1,074	0,686
		Inestable	Muy Inestable	Inestable	Muy Inestable	Inestable	Muy Inestable
	Subsaturado (S=50 %)	0,717	0,356	0,712	0,659	0,752	0,659
TS6	Seco (S=0 %)	0,2667	0,004	0,012	0,355	0,266	0,624
		Muy Inestable	Muy Inestable	Muy Inestable	Muy Inestable	Muy Inestable	Muy Inestable
	Saturado (S=100 %)	0,006	0,001	0,092	0,401	0,265	0,406
		Muy Inestable	Muy Inestable	Muy Inestable	Muy Inestable	Muy Inestable	

Tabla 5. Porcentaje de coincidencia de estabilidad determinada.

Talud	Condición de Saturación	Estabilidad	
		Estática (Sin Sismo)	Dinámica (Con Sismo)
TS1	Seco (S= 0 %)	100% Estable	100% Muy Inestable
	Subsaturado (S= 50 %)	60% Ligeramente Estable	100% Muy Inestable
	Saturado (S= 100 %)	100% Muy Inestable	100% Muy Inestable
TS2	Seco (S= 0 %)	100% Estable	60% Estable
	Subsaturado (S= 50 %)	60% Estable	60% Muy Inestable
	Saturado (S= 100 %)	60% Muy Inestable	60% Muy Inestable
TS3	Seco (S= 0 %)	100% Estable	100% Ligeramente Estable
	Subsaturado (S= 50 %)	60% Estable	100% Muy Inestable
	Saturado (S= 100 %)	100% Muy Inestable	100% Muy Inestable
TS4	Seco (S= 0 %)	100% Muy Inestable	100% Muy Inestable
	Subsaturado (S= 50 %)	100% Muy Inestable	100% Muy Inestable
	Saturado (S= 100 %)	100% Muy Inestable	100% Muy Inestable
TS5	Seco (S= 0 %)	100% Inestable	100% Muy Inestable
	Subsaturado (S= 50 %)	100% Muy Inestable	100% Muy Inestable
	Saturado (S= 100 %)	100% Muy Inestable	100% Muy Inestable

Finalmente, para obtener una estimación integral de la estabilidad según la condición de situación y cinemática de la dera, se clasifican en 5 clases los tipos de estabilidad de la Tabla 6, siendo 1 para la condición más estable y 5 para la más inestable. Se resume lo anterior en la Figura 14 y se grafica el comportamiento probabilístico de la estabilidad de los taludes de suelos para las condiciones con sismo y sin sismo respectivamente. (Figura 9 y 10).

Tabla 6. Estimación de la clase de estabilidad según la condición de saturación y cinemática de ladera asociada a los taludes de suelos en la zona comprendida entre Escaguey y Misigua estado Mérida.

% Saturación	TS1 Sin Sismo	TS2 Sin Sismo	TS3 Sin Sismo	TS4 Sin Sismo	TS5 Sin Sismo	TS1 Con Sismo	TS2 Con Sismo	TS3 Con Sismo	TS4 Con Sismo
0%	2	2	2	5	4	5	2	3	5
50%	3	2	2	5	5	5	5	5	5
100%	5	5	5	5	5	5	5	5	5



Fig. 9. Diagrama del comportamiento probabilístico de estabilidad de los taludes de suelos en condición sin sismo en la zona comprendida entre Escaguey y Misigua estado Mérida.

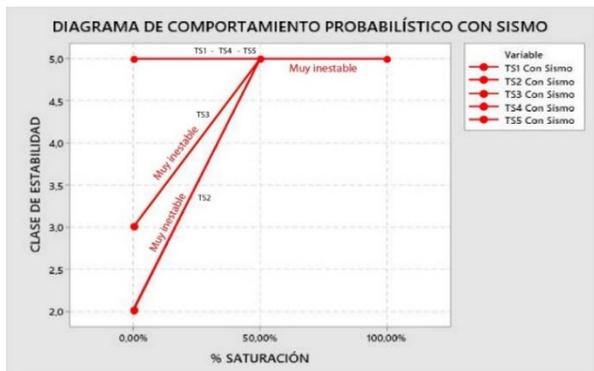


Fig. 10. Diagrama del comportamiento probabilístico de estabilidad de los taludes de suelos en condición con sismo en la zona comprendida entre Escaguey y Misigua estado Mérida.

En la Tabla 7 se muestran los resultados generados por el software Slide y los resultados por el método de las dovelas, ambos resultados surgen de un procedimiento simple, basado en los métodos Fellenius ordinario y Bishop simplificado, pero es necesario señalar que estos métodos no satisfacen simultáneamente las condiciones de equilibrios de momentos y fuerzas para el cálculo del factor de seguridad, debido a esto es necesario hacer uso de los métodos de Jambú generalizado, Spencer y Morgentern-Price, los cuales son más complejos y necesarios para realizar una comparación más amplia de los factores de seguridad de los distintos taludes evaluados en las diferentes condiciones, sin embargo su

desarrollo matemático queda fuera de los objetivos de esta investigación.

Tabla 7. Factor de seguridad para cada perfil topográfico según el método de análisis aplicado.

	ANALÍTICO		COMPUTADO (SOFTWARE SLIDE)		
	BISHOP	FELLENIUS	BISHOP	FELLENIUS	
TS1	1,497	1,474	1,557	1,507	E stable
TS2	1,891	1,898	1,878	1,888	E stable
TS3	2,095	2,114	2,072	2,094	E stable
TS4	0,655	0,654	0,656	0,666	Muy Inestable
TS5	1,054	1,045	1,078	1,051	Inestable

4.7 Evaluación de parámetros para estimación de amenaza y vulnerabilidad

Para la evaluación de la estabilidad de taludes el rango de pendientes en el terreno juega un papel esencial es por ello por lo que en la Tabla 8 se clasificaron las pendientes de las laderas según lo recomendado en la evaluación de parámetros en la metodología de Suarez (2012) pero en este caso modificada y adaptada al nivel de detalle del mapa de pendientes y a la variabilidad del terreno en la zona en estudio. Por ello según la ubicación de cada talud en el mapa de pendientes se describe en la Tabla 9 los ángulos de inclinación utilizando la clasificación antes mencionada.

Tabla 8. Clasificación de pendientes utilizada para la evaluación de parámetros.

(ÁNGULO DE INCLINACION)		
I	Muy Baja	0 % a 9 % (0 a 5 grados)
II	Baja	9 % a 27 % (5 a 15 grados)
III	Mediana	27 % a 47 % (15 a 25 grados)
IV	Alta	47 % a 100 % (25 a 45 grados)
V	Muy Alta	Más del 100 % (más de 45 grados)

Tabla 9. Descripción de los ángulos de inclinación según la pendiente del relieve.

	Grados Decimales (°)	Porcentaje (%)		
TS1	25 a 45	47-100 %	IV	Alta
TS2	15 a 25	27-47 %	III	Mediana
TS3	25 a 45	47-100 %	IV	Alta
TS4	15 a 25	27-47 %	III	Mediana
TS5	25 a 45	47-100 %	IV	Alta

En la Tabla 10 se muestran los ángulos de inclinación de cada talud medidos en campo en grados y porcentaje de pendiente.

Tabla 10. Ángulos de inclinación medidos en campo de los taludes en la carretera.

	Grados Decimales (°)	Porcentaje (%)
TS1	48	107 %
TS2	82	182 %
TS3	75	167 %
TS4	82	107 %
TS5	61	136 %

4.7.1 Amenaza

Para la obtención del grado de amenaza del primer talud de suelo (TS1) se evalúa según el factor de seguridad estático (método de Bishop simplificado) de 0,719, obteniéndose un **alto grado (IV) de amenaza**.

El resto de los valores de los factores de seguridad evaluados son descritos en la Tabla 11.

Tabla 11. Evaluación de amenaza a los deslizamientos según el factor de seguridad del talud

	FS	GRADO DE AMENAZA	FS	GRADO DE AMENAZA
TS1	0,719	IV -Alta	0,453	IV -Alta
TS2	1,211	III - Moderada	0,181	IV - Alta
TS3	1,512	II - Baja	0,816	IV - Alta
TS4	0,066	IV -Alta	0,034	IV -Alta
TS5	0,637	IV -Alta	0,367	IV -Alta

Tabla 12. Valoración de los factores topográficos y ambientales medidos en campo.

TS1	2,00	0,60	1,00	0,60	1,5	0,00	0,00
TS2	2,00	0,60	1,00	0,60	1,5	0,00	0,00
TS3	2,00	0,60	1,00	0,60	1,5	0,00	0,00
TS4	2,00	0,60	1,00	0,60	1,5	0,00	0,00
TS5	2,00	0,60	1,00	0,60	1,5	0,00	0,00

Tabla 13. Valores de medición de parámetros geotécnicos necesarios para la clasificación de amenaza a deslizamientos.

TS1	Suelos	< 5	
TS2	arenosos y blandos	< 5	NO CUMPLENINGUNA
TS3		< 5	
TS4		< 5	
TS5		< 5	

Teniendo en cuenta que la amenaza no debe ser evaluada de manera subjetiva, sino que debería presentar un margen de probabilidad, se recomienda evaluar la amenaza por medio de factores topográficos, ambientales y geológicos.

Tabla 14. Valoración de los factores geotécnicos medidos en campo.

TS1	1,50	0,50	0,80
TS2	1,50	0,50	0,80
TS3	1,50	0,50	0,80
TS4	1,50		0,80
TS5	1,50	0,50	0,80

La sumatoria de las valoraciones de los factores en las Tablas 12, 13 y 14, da como resultado la clasificación del grado de la amenaza a los deslizamientos (Tabla 15)

Tabla 15. Evaluación de amenaza a deslizamientos para la zona comprendida entre el sector Escaguey – Misigua, estado Mérida.

TS1	8,5		
TS2	8,5		
TS3	8,5	IV	Alta
TS4	8,5		
TS5	8,5		

4.7.2 Vulnerabilidad

Para la evaluación de la vulnerabilidad no se toma en cuenta la vulnerabilidad social o humana esto debido a que no se cuenta con tal información para la zona en estudio, se asume las condiciones de vulnerabilidad física en obras y vialidades, debido a que el análisis de vulnerabilidad económica involucra un costo de reconstrucción de los elementos afectados por un deslizamiento, en relación con el costo total de los mismos y para la zona no se cuenta con tal información, es condición necesaria en la investigación para todos los taludes evaluados, que la vulnerabilidad económica sea asumida al doble que la física de obras y vialidades, por su relación inversa entre ingreso per cápita a nivel nacional, regional, local o poblacional y el impacto de los fenómenos físicos extremos.

Tabla 16. Evaluación y clasificación de la vulnerabilidad de los taludes en la zona comprendida entre el sector Escaguey y Misigua, estado Mérida.

	Valoración	Grado	Valoración ²⁰	Grado			
TS1	0,75	IV	1	V	0,87	IV	Alta
TS2	0,75	IV	1	V	0,87	IV	Alta
TS3	0,75	IV	1	V	0,87	IV	Alta
TS4	0,75	IV	1	V	0,87	IV	Alta
TS5	0,75	IV	1	V	0,87	IV	Alta

A partir de lo antes descrito con respecto a la vulnerabilidad física en obras y vialidades se asigna un índice para cada talud, para la evaluación de la vulnerabilidad económica se duplica el índice anterior. Los índices anteriores son promediados y se clasifica la vulnerabilidad de cada talud comprendido en la zona (Tabla 16), para efectos del tramo vial completo se toma en cuenta la proximidad con los procesos de socavación, presencia de conos, vertientes, cortes, curvas abruptas y cambios de pendiente observados en los mapas geológico, geomorfológico y de pendiente.

4.8 Interpolaciones geoestadísticas en SIG

4.8.1 Mapa de amenaza

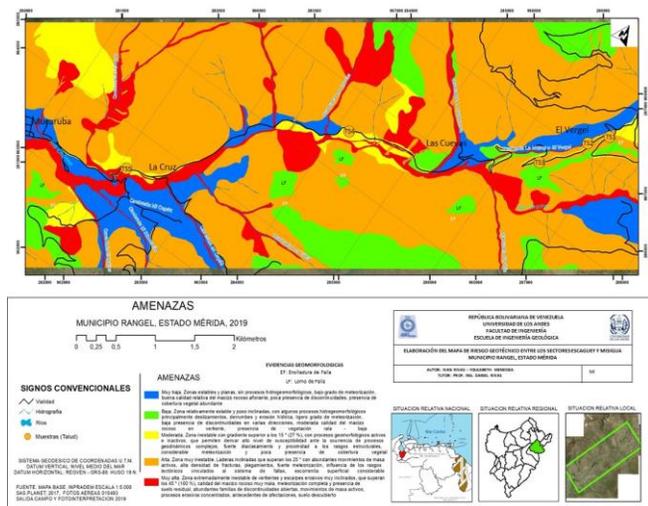


Fig. 11. Mapa de amenaza a deslizamientos para la zona comprendida entre los sectores Escaguey y Misigua del estado Mérida.

4.8.2 Mapa de vulnerabilidad

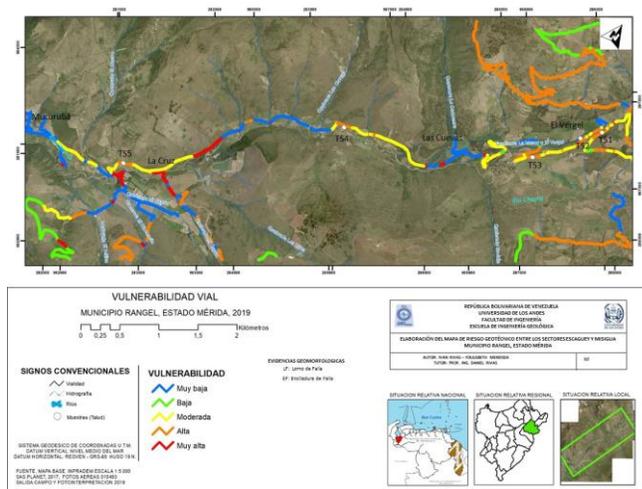


Fig. 12. Mapa de vulnerabilidad a deslizamientos para la zona comprendida entre los sectores Escaguey y Misigua, estado Mérida.

4.9 Interpretación de la evaluación de riesgo geotécnico

Para la obtención del grado de riesgo geotécnico es necesaria la intersección mediante ArcGIS de los mapas de amenaza y vulnerabilidad, generando polígonos comunes, el resultado de riesgo geotécnico en los taludes estudiados es de grado alto.

A través de los datos obtenidos en cada uno de los mapas descritos, se obtiene como resultado la zonificación de los niveles de riesgo a lo largo del tramo vial comprendido en la

zona de estudio el cual tiene una longitud de 12040,50 metros de los cuales 5197,29 corresponden a un 43,17% de la vía principal se clasifican con riesgo moderado.

4.8.3 Mapa de riesgo

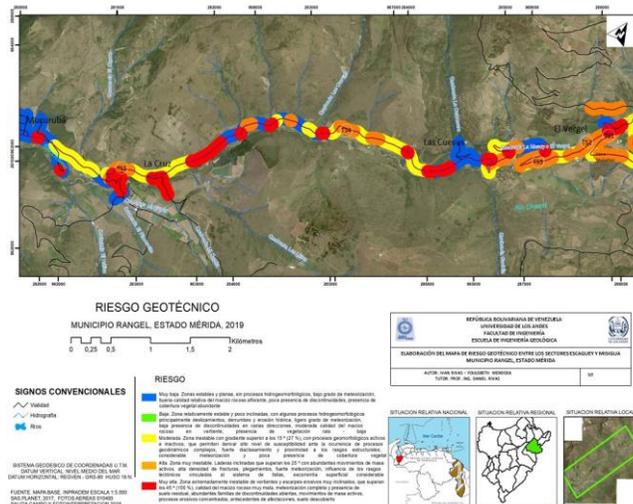


Fig. 13. Mapa de riesgo a los deslizamientos para la zona comprendida entre los sectores Escaguey y Misigua, estado Mérida.

En la Tabla 17 se puede observar la longitud y el porcentaje correspondiente a los diferentes niveles de riesgo en la zona y su proporción en la Figura 14.

Tabla 17. Clasificación del riesgo geotécnico en el tramo vial en la zona comprendida entre Escaguey y Misigua estado Mérida.

RIESGO	LONGITUD m.	%
I	3484,81643	28,94
II	203,782415	1,692
III	5197,293996	43,17
IV	2283,868654	18,97
V	870,742036	7,232
	12040,50353	100

En la Figura 15 se muestra la zona perteneciente a los taludes TS1, TS2, TS3 y TS4 junto con la zonificación del riesgo sobre el tramo vial a través de una imagen satelital tomada de Google Earth Pro con el fin de mostrar a mayor detalle los resultados del estudio de igual manera en la Figura 16, para el talud TS5.

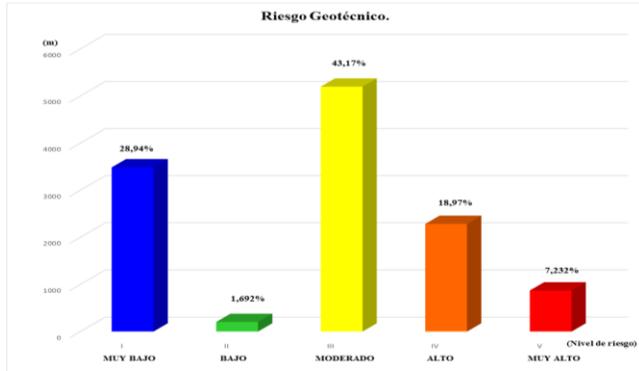


Fig. 14. Proporción de los niveles de riesgo según la longitud en metros del tramo vial en la zona comprendida entre Escaguey y Misigua estado Mérida.



Fig. 15. Imagen satelital de los taludes TS1, TS2, TS3 y TS4 ubicados en la zona comprendida entre Escaguey y Misigua estado Mérida. Tomada de Google Earth Pro.



Fig. 16. Imagen satelital del talud TS5 ubicado en la zona comprendida entre Escaguey y Misigua estado Mérida. Tomada de Google Earth Pro.

4.10 Propuesta para la mitigación del riesgo geotécnico y estabilización de taludes

Se evalúan los taludes de suelo, tomando en consideración el nivel de riesgo que estos posean, para proponer la mitigación del riesgo geotécnico. A través de la Figura 17 se emplea la relación entre el ángulo de fricción interna y el factor de seguridad calculado en el talud, se obtiene entonces una configuración 1:1 (V:H). Los niveles de riesgo obtenidos para cada uno de los taludes en consideración, es decir los taludes TS1, TS2, TS3, TS4 Y TS5 fueron de riesgo alto para los cinco casos, debido a que la amenaza y vulnerabilidad calculada indica un nivel alto para ambos casos en dichos taludes,

es por esto que al realizar la multiplicación de amenaza por vulnerabilidad se obtiene un nivel de riesgo alto. Sin embargo, el talud TS4, aunque presentando un nivel de riesgo igual a los demás, difiere significativamente de los mismos en cuanto al factor de seguridad obtenido tanto por el programa Slide como del método analítico, el factor de seguridad en los diferentes métodos del software y condiciones (secas, de saturación y sísmicas) presenta valores menores a uno, es decir muy inestable como se muestra en la Figura 18.

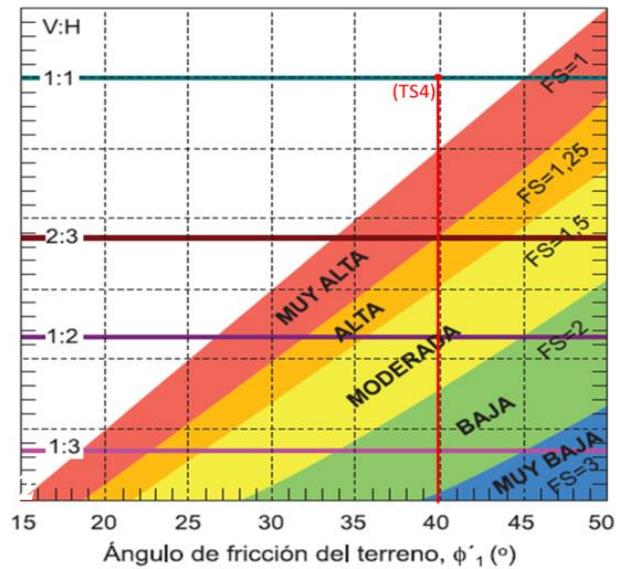


Fig. 17. Diagrama de relación geométrica para la mitigación del riesgo geotécnico empleando el factor de seguridad y ángulo de fricción interna de los taludes de suelo de la zona de estudio comprendida entre los sectores Escaguey y Misigua del municipio Rangel del estado Mérida.

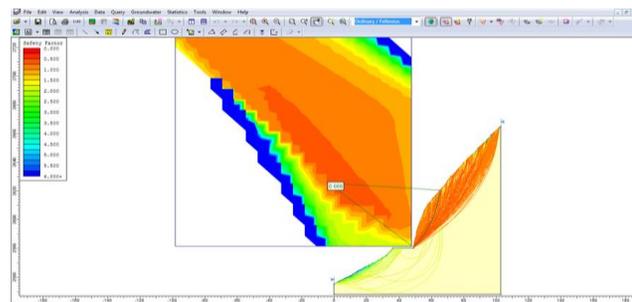


Fig. 18. Simulación geomecánica del perfil 4-4 del talud TS4 en condiciones secas y estáticas, con un factor de seguridad de 0,66(muy inestable).

Se propone para la mitigación del riesgo en el talud TS4 el método de estabilización empleando bancos y bermas, a través de la relación 1:1 (V:H) de 4m x 4m, para obtener una mayor estabilidad en el mismo. El empleo del método se simula en el programa Slide realizando los cálculos en primera instancia a una berma y un banco, para evaluar que el método es factible a una inclinación de 45 (Figura 19) y a una inclinación de 90 (Figura 20) dando como resultado los factores de seguridad 1,332 y 2,022 respectivamente.

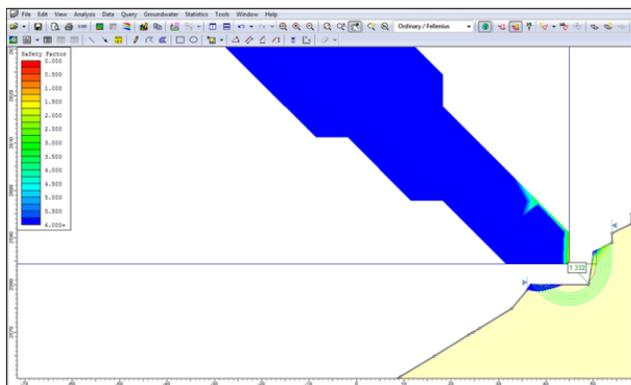


Fig. 19. Simulación geomecánica del perfil 4-4 del talud TS4 en el método de estabilización de una berma y un banco, en condiciones secas y estáticas, a una inclinación de 45°, con un factor de seguridad de 1,332 (ligeramente estable).

Una vez que se verifica que el método es factible, se lleva a cabo la simulación en todo el talud a una inclinación de 45° (Figura 21) y a 90° (Figura 22) generando un incremento en el factor de seguridad cuando el ángulo empleado entre el banco y la berma es de 90°. Se obtiene un valor en el factor de seguridad para 45° y 90° de 1,248 y 1,256 respectivamente, lo que indica que el talud con el método de estabilización propuesto se presenta ligeramente estable.

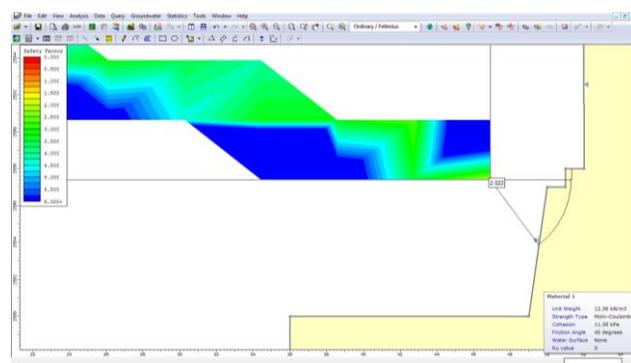


Fig. 20. Simulación geomecánica del perfil 4-4 del talud TS4 en el método de estabilización de una berma y un banco, en condiciones secas y estáticas, a una inclinación de 90°, con un factor de seguridad de 2,022 (estable).

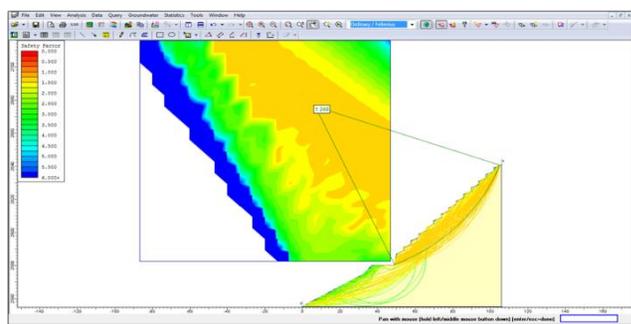


Fig. 21. Simulación geomecánica del perfil 4-4 del talud TS4 en condiciones secas y estáticas, donde se emplea el método de estabilización de bancos y bermas a una inclinación de 45°, con un factor de seguridad de 1,248 (ligeramente estable).

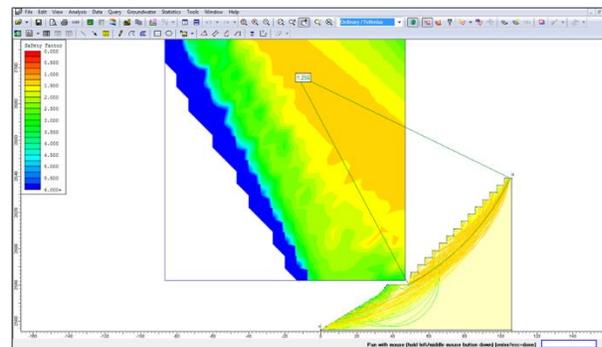


Fig. 22. Simulación geomecánica del perfil 4-4 del talud TS4 en condiciones secas y estáticas, donde se emplea el método de estabilización de bancos y bermas a una inclinación de 90°, con un factor de seguridad de 1,256 (ligeramente estable)

5 Conclusiones

A través de los estudios realizados en la investigación concerniente a la zona ubicada entre los sectores Escaguey y Misigua del municipio Rangel del estado Mérida, se generan las siguientes conclusiones:

En el análisis fotogeológico se determinan relieves de alta montaña mayores a 3200 m.s.n.m. y poco abruptos, lo que indica que está formada por sedimentos producto de la erosión de la Asociación Sierra Nevada. Se identifican dos fallas inferidas a través de interpretaciones geomorfológicas como lo son las ensilladuras y lomos de fallas, las cuales se disponen de forma tal que indica un movimiento rumbo deslizante tipo dextral en ambas trazas de falla.

El cálculo del factor de seguridad de los taludes se lleva a cabo a través del método de equilibrio límite, con la utilización del software Slide. Los resultados de los factores de seguridad fueron los siguientes: para el talud 1 (Perfil 1-1): Fellenius ordinario = 1,507 (estable) Bishop simplificado = 1,557 (estable), talud 2 (Perfil 2-2): Fellenius ordinario = 1,888 (estable) Bishop simplificado = 1,878 (estable), talud 3 (Perfil 3-3): Fellenius ordinario = 2,094 (estable) Bishop simplificado = 2,072 (estable), talud 4 (Perfil 4-4): Fellenius ordinario = 0,666 (muy inestable) Bishop simplificado = 0,656 (muy inestable), talud 5 (Perfil 5-5): Fellenius ordinario = 1,051 (inestable) Bishop simplificado = 1,078 (inestable). Dichos valores son comparados con el método de las dovelas (método analítico) presentando gran similitud en los resultados.

Se emplea la metodología de Suarez (2012) para realizar la evaluación del riesgo en la zona de estudio, a través de la consideración de los parámetros de vulnerabilidad y amenaza, por medio del software ArcGis se realiza la digitalización de los mapas. En cuanto a la evaluación de la amenaza se estima que la amenaza es alta en los cinco taludes estudiados, por otro lado el nivel de vulnerabilidad estimado es alto, así como también el grado de la vulnerabilidad es por esto

que el nivel de riesgo que predomina en el área es moderado (grado III) con un 43,17%, sin embargo se tiene un riesgo muy bajo (grado I) con 28,94%, el riesgo alto (grado IV) con 18,97%, el riesgo muy alto (grado V) con 7,23% y en menor porcentaje se tiene un nivel de riesgo bajo (grado II) de 1,69%.

Se considera que el talud más inestable es el talud 4 perfil 4-4, aunque presenta el mismo nivel de riesgo que los demás taludes, este en particular se presenta muy inestable en base a los factores de seguridad calculados por el programa Slide por el método de Fellenius Ordinario (0,666) y Bishop Simplificado (0,656) en condiciones estáticas y sin saturación, así como también por el método analítico de las dovelas y en las diferentes condiciones dinámicas y de saturación.

Se plantea el método de estabilización de bancos y bermas para el talud más inestable, en este caso el talud 4 perfil 4-4, empleando el programa Slide en dos configuraciones, siguiendo la relación 1:1 (V:H) de 4m x 4m, se obtiene un factor de seguridad a un ángulo de 45° entre el banco y la berma de 1,248 de Fellenius Ordinario y Bishop Simplificado de 1,294. Con un ángulo de 90° el factor de seguridad es de 1,256 para Fellenius Ordinario y para Bishop Simplificado de 1,294. Para ambos métodos los resultados sugieren que el talud con el método de estabilización planteado se presenta de forma ligeramente estable, a 90° y 45°, sin embargo, el valor más alto generado por el programa del factor de seguridad es a una inclinación de 90°.

Referencias

- Alonso, E. (1989). *Metodos generales de equilibrio limite*. España: Sociedad Española de Geomorfología.
- Alvarado, M., Cantos G., Pérez, E., Audermard, F. (2015). Cartografía neotectónica de la falla de bocono entre Tabay y la toma, Mérida-Venezuela. *Boletín de Geología*.
- Audemar, F. (2009). *Falla de bocono*. Mérida: Atlas de Deformaciones Cuaternarias de Los Andes.
- Bañón, L. (2000). *Manual de Carreteras*. España: Ali-cante.
- Braja, M. (2001). *Principio de Ingeniería de Cimentaciones*. México: International Thomson Editores.
- Bravo, J., Quiñones, M., Bravo, I., Casagrande. (09 de octubre de 2005). *Geotecnia, S.L.P...* Recuperado el 10 de agosto de 2019, de Geotecnia, S.L.P.: <http://casagrandegeo.com/>
- Contreras I., Fernandez. E. (2013). *Determinación de la estabilidad e identificación del nivel de riesgo en taludes comprendidos en el sector Vuelta de Lola - El Peñon, Estado Mérida Venezuela*. Mérida: Universidad de los Andes.
- Contreras A., Salas. G. (2018). *Zonificación de Amenaza Hidrogeomorfológica de la Población de Mucurubá, Municipio Rangel, Estado Mérida, Venezuela*. Mérida: Universidad de los Andes.
- Duque, G., & Contreras, I. (2002). *Mecánica de suelos I*. Colombia: Universidad Nacional de Colombia.
- Bongiorno, F., Angulo N., Belandria N. (2015). *Evaluación del Riesgo en Desprendimiento y Caracterización Geomecánica de los Taludes Rocosos en el Sector Quebrada del Diablo, Estado Mérida*. *Revista Politécnica*, 10.
- Gonzales de Juana, C. (1998). *Geología de Venezuela y sus cuencas petrolíferas*. Caracas: FONINVES.
- Gonzales de Vallejo, L. (2002). *Ingeniería geológica*. Madrid: Pearson Educación.
- Gutierrez, L., Hernandez, S. (2019). *Evaluación del subsuelo de la carretera Trasandina desde Tabay hasta Mucuchies por medio del campo sísmico ambiental*. Mérida: Universidad de Los Andes.
- Gutierrez, J., Mora, F., Molina, E. (2014). *Estudio y diseños de la placa huella para el mejoramiento de la vía que conduce a la vereda Tampaqueba en el municipio de Pamplona, norte de Santander*. Pamplona, Colombia: Universidad de Pamplona.
- Keller, E., & Blodgett, R. (2004). *Riesgos Naturales*. Madrid: Pearson Prentice Hall.
- La Marca, E. (1997). *Origen y evolución geológica de la cordillera de Mérida*. Mérida: Universidad De Los Andes.
- Laya, A., Rincon. A. (1999). *Relación de contacto entre la formación Mucujun y las unidades adyacentes*. Mérida: Universidad De Los Andes.
- Leon, O., Sánchez, A. (2015). *Análisis de control geomorfológico en la vertiente sur del río Chama, entre las poblaciones de Tabay y Ejido del estado Mérida, específicamente en la quebrada el volcán*. Mérida: Universidad De Los Andes.
- Lobo, J. (2016). *Zonificación de las áreas susceptibles entre las poblaciones de la Cruz de Mucurubá y las Cuevas, municipio Rangel, estado Mérida-Venezuela*. Mérida: Universidad de Los Andes.
- Mendez, L., Torres, J., Torres R., Belandria, N., Barreto, W., Picon, R., Peña M., Guarache, J. (2013). *Determinación de las variaciones de la resistencia al esfuerzo cortante en suelos granulares a través de la implantación de Pasto Vetiver (Vetiveria Zizanioides (L.) Nash)*. Mérida. Mérida: Universidad de Los Andes.
- Pino, R. (30 de Julio de 2009). *Asociación civil de extensión municipio Rangel*. Recuperado el 25 de mayo de 2019, de Aspectos Generales del Municipio Rangel: http://ciaraace.blogspot.com/2009/07/aspectos-generales-del-municipio-rangel_30.html
- Ragozin, A.L. y Tikhvinsky, I.O. (2000). *Landslide Hazard, vulnerability and risk assessment*. En E. Bromhead (ed.), *Landslides in Research, Theory and Practice* (pp. 1257-1262). Cardiff, Gales: Thomas Telford.

- Rivas D., Belandria, N. (2015). Mapa de Riesgo Geotécnico con Fines de Urbanismo en la Via de Mérida-Jají, Estado Mérida. *Fundamentals to Applications in Geotechnics*, 2498-2959, 10.
- Rivas, D. (s.f.). Elaboración del mapa de riesgo geotécnico en el sector Vuelta de Lola-El Peñón, municipio Libertador del estado Mérida. Mérida-Venezuela: Universidad de los Andes.
- Riveros, F. (2013). Estudio geológico geotécnico aplicando el método de equilibrio límite en el sector "las cruces", vía Mérida-Jají, estado Mérida. Mérida: Universidad de Los Andes.
- Rutas, E. (03 de febrero de 2017). Explorando Rutas.com. Recuperado el 18 de junio de 2019, de Explorando Rutas.com: <http://www.explorandorutas.com/turismo/venezuela/estado-merida/>
- Silva, G. (1993). Análisis hidrogeológico de la crecida del río Chama en Mucurubá el 26-06-93 (cuena alta). Mérida: Universidad de Los Andes.
- Sowers, & Sowers. (1979). *Soil Mechanics, Foundations*. New York: Macmillan.
- Suarez, J. (2012). *Deslizamientos: Análisis Geotécnico*. Santander: Universidad Industrial de Santander UIS; Edición: Unknown.
- Torrijo, J., & Franch, J. (15 de mayo de 2008). Geotecnia: planificación, supervisión y control. Recuperado el 18 de agosto de 2019, de Geotecnia: planificación, supervisión y control: <http://www.estudiosgeotecnicos.info/index.php/descriptores-geotecnicos-5-plasticidad-limites-de-atterberg-y-consistencia/>
- Ucar, R. (2002). *Manual de anclajes en obras de tierra*. Capítulo III. Mérida: Universidad de Los Andes.
- Ucar, R. (2010). Análisis de la estabilidad de taludes y diseño del soporte de la cuenca del Chama. Mérida: Universidad de Los Andes.
- Ángel, Franklyn:** Ingeniero Geólogo, Petrofísico Integral. Desarrollo de Yacimientos Orinoquía, Ecopetrol SA, Bogotá DC, Departamento de Cundinamarca, Colombia. Correo electrónico: franklynangel@hotmail.com.
 <https://orcid.org/0009-0000-9118-7337>
- Rivas, Daniel:** Profesor en Escuela de Ingeniería Geológica. ULA. Ingeniero Geólogo. Maestría de Planificación y Desarrollo de los Recursos Hidráulicos en Centro Interamericano de Desarrollo e Investigación Ambiental y Territorial (CIDIAT). Correo electrónico: erivasdaniel@gmail.com; danielrivas@ula.ve
 <https://orcid.org/0000-0003-3899-1447>

Recibido: 5 de noviembre de 2022

Aceptado: 8 de marzo de 2023

Mendoza, Youlisbeth: Ingeniero Geólogo, Investigador de riesgos geológicos. Dirección de Gestión de Riesgos, instituto autónomo Protección Civil Mérida, estado Mérida, Venezuela.

 <https://orcid.org/0009-0001-8372-8210>

Rivas, Ivan: Ingeniero Geólogo ULA. Estudios en Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín. Maestría de Planificación y Desarrollo de los Recursos Hidráulicos en Centro Interamericano de Desarrollo e Investigación Ambiental y Territorial (CIDIAT).

Correo electrónico: ivandres2085@gmail.com

 <https://orcid.org/0009-0002-3370-8139>

