HAL
open science

# ANÁLISIS DEL RIESGO GEOTÉCNICO EN LA CARRETERA TOVAR - ZEA , SECTOR LA ROCA, ESTADO MÉRIDA

Norly Belandria, Anthony Fernández, Francisco Bongiorno

**To cite this version:**

Norly Belandria, Anthony Fernández, Francisco Bongiorno. ANÁLISIS DEL RIESGO GEOTÉCNICO EN LA CARRETERA TOVAR - ZEA , SECTOR LA ROCA, ESTADO MÉRIDA. Geominas, 2017. hal-01726537

**HAL Id: hal-01726537**

**https://hal.science/hal-01726537v1**

Submitted on 28 Apr 2018

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# Análisis del riesgo geotécnico en la carretera Tovar-Zea, sector La Roca, estado Mérida

## *Geotechnical risk analysis at Tovar-Zea road, La Roca sector, Merida state*

## *Análise do risco geotécnico na estrada Tovar-Zea, setor La Rocha, estado Merida*

**Norly Belandria[1] Anthony Fernández[2] Francisco Bongiorno[3]**

***Recibido: 2-7-17; Aprobado: 8-11-17***

**Resumen**

En la carretera que comunica los poblados de Tovar a Zea, específicamente en el sector La Roca, se han presentado recurrentes desprendimientos de material rocoso de los taludes, los cuales interrumpen la vía y colocan en riesgo a los vehículos que transitan por la zona. La presente investigación se basa en el análisis del riesgo geotécnico para el planteamiento de posibles soluciones en dicha zona. Primeramente, se recolecta la información geológica, cartográfica y se realiza la caracterización geotécnica de la secuencia estratigráfica de los taludes, para ello se elabora el análisis cinemático a través de proyecciones estereográficas, determinando la existencia de rotura plana, en cuña y circular. Posteriormente se calcula el factor de seguridad de los taludes, obteniéndose valores para roturas planas, cuñas y circular, en rangos de 3,728 a 0,48 (estables a inestables). Seguidamente, se elabora el mapa de riesgo siguiendo la metodología propuesta (Suárez, 2009), obteniéndose que la zona presenta niveles de riesgo geotécnico moderado, con solo el 15 % de riesgo alto y muy alto, el cual está condicionado a factores externos de saturación o sismo en los taludes estudiados. Se recomienda para los macizos rocosos la implementación de mallas de guiado con cunetas, anclajes puntuales, hormigón proyectado y drenajes horizontales.

***Astract***

*On the road that connects Tovar and Zea villages, specifically in La Roca sector, there have been recurrent detachments of rocky material from the slopes, which interrupt the road and put at risk vehicles passing through the area. The present research is based on the geotechnical risk analysis for the proposal of possible solutions in this zone. Firstly, the geological and cartographic information is collected and the geotechnical characterization of the stratigraphic sequence of the slopes is performed. For this purpose, the kinematic analysis is elaborated through stereographic projections, determining the existence of plane, wedge and circular failure. Subsequently, the slope safety factor is calculated, obtaining values for plane, wedge and circular failure, in ranges from 3,728 to 0,480 (stable to unstable). Next, the risk map is elaborated following the methodology proposed by Suárez (2009), obtaining that the zone presents moderate levels of geotechnical risk, with only 15% of high and very high risk, which is conditioned to external factors of Saturation or seismic in the studied slopes. It is recommended for the rock masses the implementation of guide meshes with gutters, anchors, projected concrete and horizontal drains.*

***Resumo***

*Na estrada que comunica os povoados de Tovar a Zea, especificamente no setor A Rocha, se apresentaram recorrentes desprendimentos de material rochoso dos taludes, os quais interrompem a via e colocam em risco aos veículos que transitam pela zona. A presente investigação baseia-se na análise do risco geotécnico para a proposta de possíveis soluções em dita zona. Primeiramente, coleta-se a informação geológica, cartográfica e realiza-se a caracterização geotécnica da sequência estratigráfica dos taludes, para isso se elabora a análise cinemática através de projeções estereográficas, determinando a existência de rompimento plano, em cunha e circular. Posteriormente calcula-se o fator de segurança dos taludes, obtendo-se valores para rompimentos planos, cunhas e circular, em faixas de 3,728 a 0,48 (estáveis a instáveis). Seguidamente, elabora-se o mapa de risco seguindo a metodologia proposta (Suarez, 2009), obtendo-se que a zona apresenta níveis de risco geotécnico moderado, com só o 15 % de risco alto e muito alto, o qual está condicionado a fatores externos de saturação ou sismo nos taludes estudados.*

**Palabras clave/Keywords/Palavras-chave:** Cinemática de estabilidad, *cinemática de estabilidade,* factor de seguridad, *fator de segurança, geotechnical risk, kinematics stability,* macizo rocoso, *maciço rocoso,* riesgo geotécnico, *risco geotécnico, rock mass, safety factor.*

[1] IngºGeoº, Dra, Grupo de Investigación en Geología Aplicada (GIGA) Profesora de la Universidad de Los Andes (ULA), e-mail: nbelandria@ula.ve

[2] IngºGeoº, ULA, e-mail: anthonyfernandez2392@gmail.com

[3] IngºGeoº, Dr, GIGA, Profesor ULA, e-mail: frabon@ula.ve

## Introducción

Para la zona en estudio que se encuentra en la vía de Tovar- Zea, específicamente en el sector La Roca, del estado Mérida, Venezuela, los macizos rocosos observados presentan inestabilidad cuando intervienen factores externos, como la presión de agua y la carga sísmica, poniendo en riesgo a los vehículos y personas que transitan por la vía. Para la clasificación, caracterización y calidad de los macizos rocosos, se requiere un estudio de la matriz rocosa y de las discontinuidades, siendo estas las responsables de la heterogeneidad del afloramiento, que han quedado expuesto producto de la realización de obras de ingeniería civil.

Esta vialidad adquiere su importancia debido a que comunica las ciudades de Tovar, Zea y El Vigía y sirve como vía alterna cuando la autopista Rafael Caldera es afectada por derrumbes en temporadas de lluvia y por mantenimiento. Es por ello, que surge la necesidad de la realización de un estudio detallado, en el cual se determinen las áreas de mayor y menor riesgo, que pudieran sufrir daños en el caso de ocurrir deslizamientos, y plasmarla en un mapa de riesgo geotécnico en el cual se asignan niveles de amenaza y de vulnerabilidad, es decir, I, II, III, IV y V para muy baja, baja, media, alta y muy alta, respectivamente, lo que permite un análisis del riesgo del sector La Roca, así como proporcionar las posibles soluciones ingenieriles para la estabilización de los taludes inestables.

## Ubicación del área de estudio

El área de estudio se encuentra ubicada al occidente de Venezuela, al suroeste del estado Mérida, específicamente en la carretera que comunica las ciudades de Tovar y Zea al noreste del municipio Zea, en el sector La Roca. Las coordenadas de la ubicación se observan en la tabla I.

## Metodología

La investigación comienza con la recopilación de los estudios de riesgo geotécnico publicados en diferentes revistas que han sido realizados (Rivas, Meza, Belandria y Bongiorno, 2016), donde generan un mapa de riesgo geotécnico a partir del estudio de la estabilidad de taludes y del análisis geoestadístico. De igual manera, (Belandria, Bongiorno, Rivas y Moreno, 2015) generan un mapa de riesgo geotécnico a partir de las características geomecánicas de los macizos rocosos que se encuentran en la vía de Mérida-Jají, estado Mérida usando como base, datos recolectados del área de estudio (Bongiorno, Belandria, Castillo, Belandria y Chacon, 2014) y (Belandria, Bongiorno, De Barcia, Torres y Riveros, 2014) para luego aplicar la metodología propuesta (Suárez, 2009) en la que se obtiene las zonas de riesgo geotécnico que es utilizada en planificación urbana. La siguiente etapa se basa en la búsqueda de información cartográfica base (mapas topográfi-

**Tabla I. Coordenadas UTM de la ubicación del área de estudio.**

| COORDENADAS | |
|---|---|
| ESTE (m) | NORTE (m) |
| 194.343 | 930.890 |
| 194.092 | 930.901 |
| 192.917 | 932.008 |
| 193.134 | 932.216 |

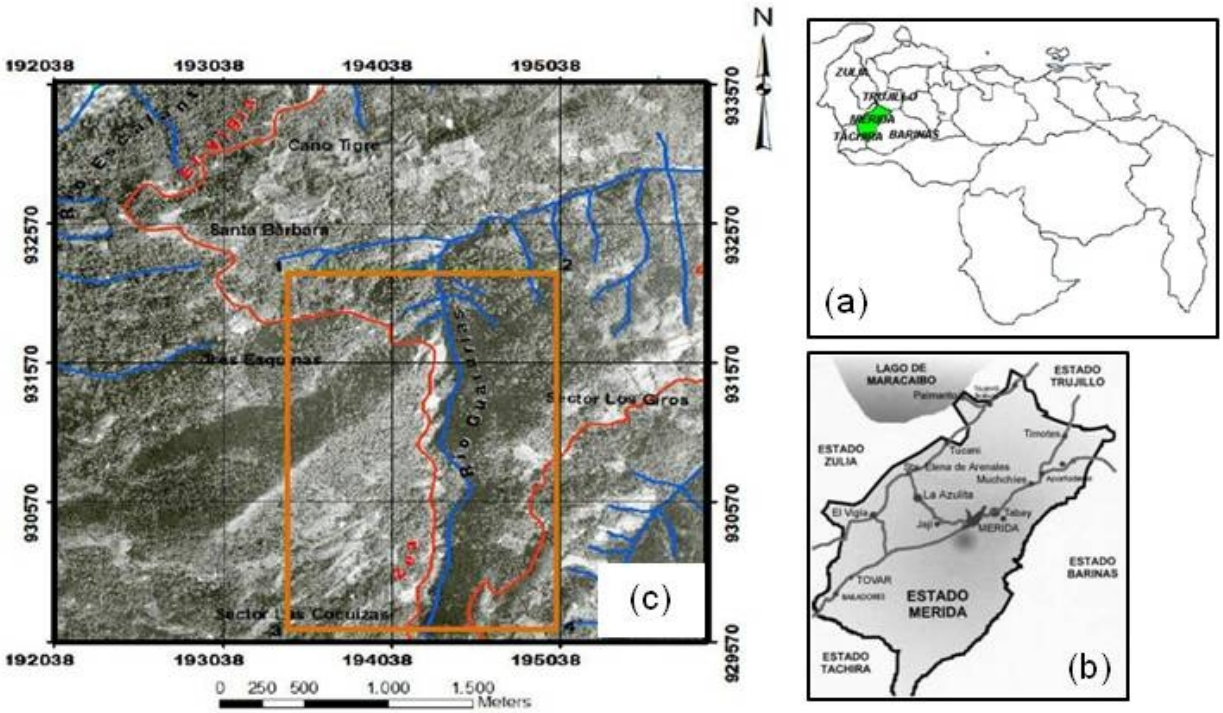


**Figura 1. Ubicación de la zona. (a) Mapa de Venezuela. (b) Estado Mérida. (c) Sector la Roca. Fuente: (a) http://www.venezuelatuya.com/estados/merida.htm (b) http://ubtjrdc.blogspot.com/, (c) Corpoandes.**

cos y geológicos) y el análisis de las fotografías aéreas identificándose las geoformas, estructuras geológicas, cambios litológicos, drenajes y rutas de acceso. Posteriormente, se seleccionan los afloramientos conformados por macizos rocosos pertenecientes a formaciones geológicas Cretácicas con nomenclatura de TR01 hasta la TR10, para la caracterización y la aplicación de las clasificaciones geomecánicas propuestas por Bieniawaski (RMR), Hoek y Brown (GSI) en (Sönmez y Ulusay, 2002), donde se realiza un estudio de las discontinuidades y de la matriz rocosa y luego se dan las calidades para cada una de las clasificaciones tabuladas (González de Vallejo, Ferrer, Ortuñoy Oteo, 2002), (Ferrer y Gonzalez de V., 2007) y (Arlegui, 2008). Finalmente, se elaboran los diferentes mapas que permiten la determinación del análisis de riesgo en la carretera del sector la roca y las posibles recomendaciones para la disminución de la vulnerabilidad en la zona estudiada.

**Tabla II. Pesos para evaluar la susceptibilidad de rocas a los deslizamientos (Nicholson y Hencher, 1997, tomado de Suárez, 2009).**

| FACTOR | CARACTERÍSTICAS | PESO |
|---|---|---|
| Espaciamiento de las discontinuidades | >2m | 2 |
| | 600 mm-2 m | 8 |
| | 200-600 mm | 16 |
| | 60-200 mm | 28 |
| | <60 mm | 35 |
| Abertura de las discontinuidades | Cerrada-0,1 mm | 1 |
| | – 0,5 mm | 3 |
| | 0,5-1,0 mm | 7 |
| | 1,0-5,0 mm | 13 |
| | >5,0 mm | 15 |
| Resistencia de la roca intacta (MPa) | >200 | 2 |
| | 100-200 | 5 |
| | 50-100 | 10 |
| | 12,5-50 | 18 |
| | 5-12,5 | 27 |
| | <5 | 35 |
| Meteorización | | 1 |
| | Roca sana | 5 |
| | Roca algo meteorizada | 10 |
| | Roca moderadamente meteorizada | |
| | Roca altamente meteorizada | 14 |
| | Roca completamente meteorizada | |
| | | 15 |

**Metodología para la elaboración del mapa de susceptibilidad**

Para la generación del mapa de susceptibilidad es necesario asignar los pesos de los factores geotécnicos (Tabla II) presentes en cada uno de los macizos rocosos que afloran, a partir del estudio de las características de espaciamiento y abertura de las discontinuidades y para la matriz rocosa la resistencia y meteorización (Suárez, 2009). Luego, estos valores o pesos se ingresan a un sistema de información geográfico y se realiza una interpolación con el método Spline (herramienta del *software*), y, posteriormente se da una valoración de susceptibilidad y se le asigna una clase (Tabla III), obteniéndose la zonificación de la susceptibilidad relativa de cada macizo rocoso o afloramiento estudiado.

**Tabla III. Valor de la susceptibilidad (Nicholson y Hencher, 1997, tomado de Suárez, 2009).**

| VALOR TOTAL DE SUSCEPTIBILIDAD | | |
|---|---|---|
| Clase | Valor | Descripción de la susceptibilidad |
| 1 | 0-20 | Muy Baja |
| 2 | 20-40 | Baja |
| 3 | 40-60 | Moderada |
| 4 | 60-80 | Alta |
| 5 | >80 | Muy Alta |

**Metodología para la elaboración del mapa de amenaza**

Como primer paso, se realiza la cinemática de estabilidad de los taludes estudiados y se determina el tipo de rotura (plana, cuña, vuelco o circular) a través de la realización de proyecciones estereográficas, luego se determina el factor de seguridad y la curva de rotura de los taludes que presentan rotura plana, cuña y circular a través de programas geotécnicos.

Posteriormente, estos valores obtenidos son clasificados según la tabla IV recomendada (Suárez, 2009) y se realiza la interpolación geoestadística generando la zonificación de la amenaza.

**Tabla IV. Escalas recomendadas para la zonificación de amenaza por deslizamientos (tomado de Suárez, 2009).**

| AMENAZA | FACTORES DE SEGURIDAD ESTÁTICOS |
|---|---|
| Baja | Mayores a 1,5 |
| Media | 1,2 a 1,5 |
| Alta | Menores de 1,2 |

**Metodología para la elaboración del mapa de vulnerabilidad**

El mapa de vulnerabilidad refleja el grado de pérdida o destrucción, de un elemento señalado o de un grupo de elementos en riesgo, como resultado de la ocurrencia de un fenómeno natural de magnitud determinada. La vulnerabilidad depende principalmente de la exposición del elemento a la amenaza. Por ejemplo, a mayor distancia del deslizamiento, la vulnerabilidad tiende a ser me-

nor. Igualmente, la vulnerabilidad depende de la magnitud de la amenaza (Suárez, 2009).

Para definir el grado de daño se estiman diversos valores de vulnerabilidad, para realizar el estudio de la vulnerabilidad social o humana se utiliza la tabla V, si se contempla la vulnerabilidad física en obras y vialidades se utiliza la tabla VI y si se considera la vulnerabilidad económica se utiliza la tabla VII. El promedio total de los índices de vulnerabilidad en cada punto, se expresan en una escala de 0 (no pérdida) a 1 (pérdida total) y se clasifican según lo establecido en la tabla VIII (Suárez, 2009).

**Tabla V. Vulnerabilidad social o humana.**
**Tomado de (Suárez, 2009) en (Rivas, Meza, Belandriay Bongiorno,**

| Caso | Rango de pérdidas | Índice | Grado | |
|---|---|---|---|---|
| 1. No hay personas afectadas. | 0 % | 0,00 | I | Muy Baja |
| 2. Se requiere evacuar personas, pero no hay personas heridas. | 1-25 % | 0,25 | II | Baja |
| 3. Personas heridas, pero las personas continúan en sus actividades. | 26-50 % | 0,50 | III | Moderada |
| 4. Personas seriamente heridas, hasta el 50 % de discapacidad. | 51-75 % | 0,75 | IV | Alta |
| 5. Personas muertas de 51 a 100 % de discapacidad. | 76-100 % | 1,00 | V | Muy Alta |

**Tabla VI. Vulnerabilidad física en obras y vialidades.**
**Tomado de (Suárez, 2009) en (Rivas, Meza, Belandriay Bongiorno, 2016).**

| Descripción | Rango de pérdidas | Índice | Grado | |
|---|---|---|---|---|
| 1. Estructuras intactas. | 0 % | 0,00 | I | Muy Baja |
| 2. Daños locales. | 1-25 % | 0,25 | II | Baja |
| 3. Daños serios pero posibles de reparar. | 26-50 % | 0,50 | III | Moderada |
| 4. Destruido en su mayoría y difícil de reparar. | 51-75 % | 0,75 | IV | Alta |
| 5. Destrucción total. | 76-100 % | 1,00 | V | Muy Alta |

## Metodología para la elaboración del mapa de riesgo geotécnico

En la práctica, el Riesgo (Rs) es definido por la magnitud de las consecuencias del producto de Amenaza (A) por Vulnerabilidad (V):

$Rs = A \times V$ (1)

(Suárez, 2009) expone que el mapa de riesgo es la superposición de los elementos o parámetros de los mapas indicados de amenazas y vulnerabilidad, que permite visualizar delimitando un plano de áreas de riesgo, que es el número esperado de vidas humanas perdidas, personas heridas, daño a la propiedad y pérdidas económicas y ambientales, relacionadas con la ocurrencia de un determinado fenómeno. El riesgo se clasifica en cinco grados según la tabla IX.

**Tabla VII. Vulnerabilidad económica.**
**Tomado de (Suárez, 2009) en (Rivas, Meza, Belandriay Bongiorno, 2016).**

| Descripción | Rango de pérdidas | Índice | Grado | |
|---|---|---|---|---|
| 1. No hay interrupciones en las actividades económicas. | 0 % | 0,00 | I | Muy Baja |
| 2. Interrupciones cortas, temporales. Desde horas hasta un día. | 1-25 % | 0,25 | II | Baja |
| 3. Interrupciones temporales de días, hasta una semana. | 26-50 % | 0,50 | III | Moderada |
| 4. Interrupciones temporales largas, de semanas a meses. | 51-75 % | 0,75 | IV | Alta |
| 5. Interrupción permanente. | 76-100 % | 1,00 | V | Muy Alta |

## Discusión y resultados

Análisis probabilístico de riesgo geotécnico de deslizamientos.

Se ubican geográficamente los taludes estudiados (TR01 hasta TR10) en un mapa base, y se realiza la clasificación geomecánica Bieniawski RMR, dicha clasificación arroja una valoración entre 0 a 100 , una clase (I, II, III, IV, V) y un índice de calidad del macizo rocoso desde muy buena hasta muy mala, en los que se ubican los taludes seleccionados para el estudio, asimismo, recomienda rangos de la propiedades mecánicas del macizo rocoso, como la cohesión y ángulo de fricción

**Tabla VIII. Estimación total del grado de vulnerabilidad.**
**Tomado de (Suárez, 2009) en (Rivas, Meza, Belandriay Bongiorno, 2016).**

| Grado | Descripción | Rango de pérdidas | Calificación de índice promedio |
|---|---|---|---|
| I | Vulnerabilidad Muy Baja | 0 % | 0,00 |
| II | Vulnerabilidad Baja | 1 %-25 % | 0,25 |
| III | Vulnerabilidad Moderada | 26 %-50 % | 0,50 |
| IV | Vulnerabilidad Alta | 51 %-75 % | 0,75 |
| V | Vulnerabilidad Muy Alta | 76 %-100 % | 1,00 |

**Tabla IX. Estimación total del grado de riesgo geotécnico.**
**Tomado de (Suárez, 2009) en (Rivas, Meza, Belandriay Bongiorno, 2016).**

| Grado | Descripción | Calificación de índice promedio |
|---|---|---|
| I | Riesgo Muy Bajo | Menos de 3 |
| II | Riesgo Bajo | 3-6 |
| III | Riesgo Moderado | 7-12 |
| IV | Riesgo Alto | 13-16 |
| V | Riesgo Muy Alto | Más de 16 |

interna, obteniendo los resultados mostrados en la tabla X.
Los valores de peso unitario (seco, húmedo y saturado) se toman principalmente del trabajo realizado (Jiménez y Pereira, 2016) y los tabulados (González de Vallejo, Ferrer, Ortuñoy Oteo, 2002). (Tabla XI).
La interpolación geoestadística de los datos obtenidos según la estimación del grado de amenaza (estimando la probabilidad de rotura en toda el área de estudio) y vulnerabilidad (grado de pérdida o destrucción), logra zonificar los niveles de amenaza y vulnerabilidad mostradas en las figuras 2 y 3.

**Tabla X. Clasificación geomecánica RMR de los taludes estudiados.**

| Talud | Unidades litológicas | RMR | Clase | Calidad |
|---|---|---|---|---|
| TR01 | Asoc. Tostós | 25 | IV | Mala |
| TR02 | Fm. rio Negro | 42 | III | Media |
| TR03 | Fm. Apón | 35 | IV | Mala |
| TR04 | Fm. Aguardiente (base) | 26 | IV | Mala |
| TR05 | Fm. Aguardiente (tope) | 8 | V | Muy Mala |
| TR06 | Miembro La Grita | 43 | III | Media |
| TR07 | Miembro Seboruco | 16 | V | Muy Mala |
| TR08 | Miembro Guayacán | 39 | IV | Mala |
| TR09 | Fm. La Luna | 45 | III | Media |
| TR10 | Fm. Colón | 24 | IV | Mala |

## Generación del mapa de riesgo geotécnico

A partir de los datos obtenidos en las interpolaciones geoestadísticas se elabora la tabla XII, en la que se observa de manera resumida los grados y descripciones de cada una de clasificaciones y metodologías para los taludes estudiados en el sector La Roca municipio Zea, estado Mérida, detallando el grado de riesgo en cada uno de ellos, resultado del producto de la amenaza por la vulnerabilidad evaluado según la tabla IX.
La figura 5 muestra el diagrama de grados resultantes para las clasificaciones de susceptibilidad, amenaza, vulnerabilidad y riesgo en los taludes seleccionados.

**Tabla XI. Valores de peso unitario seco ($\gamma$d), húmedo ($\gamma$h) y saturado ($\gamma$sat) en (g/cm3) de los taludes estudiados. (* Valores tabulados).**

| Talud | $\gamma$d | $\gamma$h | $\gamma$sat |
|---|---|---|---|
| *TR01 | 2,6 | - | - |
| TR02 | 2,54 | 2,56 | 2,67 |
| TR03 | 2,64 | 2,67 | 2,68 |
| TR04 | 2,53 | 2,54 | 2,57 |
| TR05 | 2,36 | 2,41 | 2,48 |
| *TR06 | 2,5 | - | - |
| TR07 | 2,56 | 2,61 | 2,67 |
| TR08 | 2,69 | 2,7 | 2,71 |
| TR09 | 2,54 | 2,56 | 2,62 |
| TR10 | 2,61 | 2,66 | 2,72 |

## Propuestas para la mitigación del riesgo geotécnico y recomendaciones para la estabilización de taludes

Luego de conocer los grados de susceptibilidad, amenaza, vulnerabilidad y riesgo geotécnico del área de estudio, es fundamental establecer la prioridad de actuación para cada talud. Esto se lleva a cabo adaptando la investigación de gestión de riesgo en carreteras de montaña propuesta por Ulloa y Vargas (2007), en la que se relaciona la altura de los taludes con respecto a su resistencia normalizada, estimando así, mediante el diagrama de la figura 6.
Tomando en cuenta el grado de riesgo geotécnico de los taludes y la prioridad de actuación, se recomiendan los siguientes métodos de estabilización según las condiciones de cada uno de ellos. Estas medidas de estabilización tienen el propósito de disminuir los desprendimientos de rocas, reducir la erosión, la meteorización y el impacto del agua sobre los taludes, según las condiciones que presenta cada uno de ellos, para así disminuir su grado de amenaza, lo que a su vez reduce y mitiga los niveles de riesgo geotécnico en la zo-

**Tabla XII. Grado de susceptibilidad, amenaza, vulnerabilidad y riesgo con su respectivo factor de seguridad (FS) y estabilidad, resultante en la zona de estudio.**

| Talud | Susceptibilidad | Amenaza | Vulnerabilidad | Riesgo | FS (estático) | Estabilidad |
|---|---|---|---|---|---|---|
| TR01 | III - Moderada | II - Baja | II - Baja | II - Bajo | 3,73 | Muy estable |
| TR02 | III - Moderada | IV - Alta | III - Moderada | III - Moderado | 1,07 | Inestable |
| TR03 | III - Moderada | IV - Alta | II - Baja | III - Moderado | 1,46 | Ligeramente estable |
| TR04 | IV - Alta | IV - Alta | III - Moderada | III - Moderado | 1,61 | Estable |
| TR05 | III - Moderada | II - Baja | II - Baja | II - Bajo | 10,69 | Muy estable |
| TR06 | II - Baja | II - Baja | II - Baja | II - Bajo | 9,00 | Muy estable |
| TR07 | V - Muy Alta | IV - Alta | III - Moderada | III - Moderado | 0,48 | Muy inestable |
| TR08 | III - Moderada | IV - Alta | II - Baja | III - Moderado | 1,50 | Estable |
| TR09 | III - Moderada | III - Moderada | II - Baja | III - Moderado | 1,85 | Estable |
| TR10 | V - Muy Alta | IV - Alta | II - Baja | III - Moderado | 1,39 | Ligeramente estable |

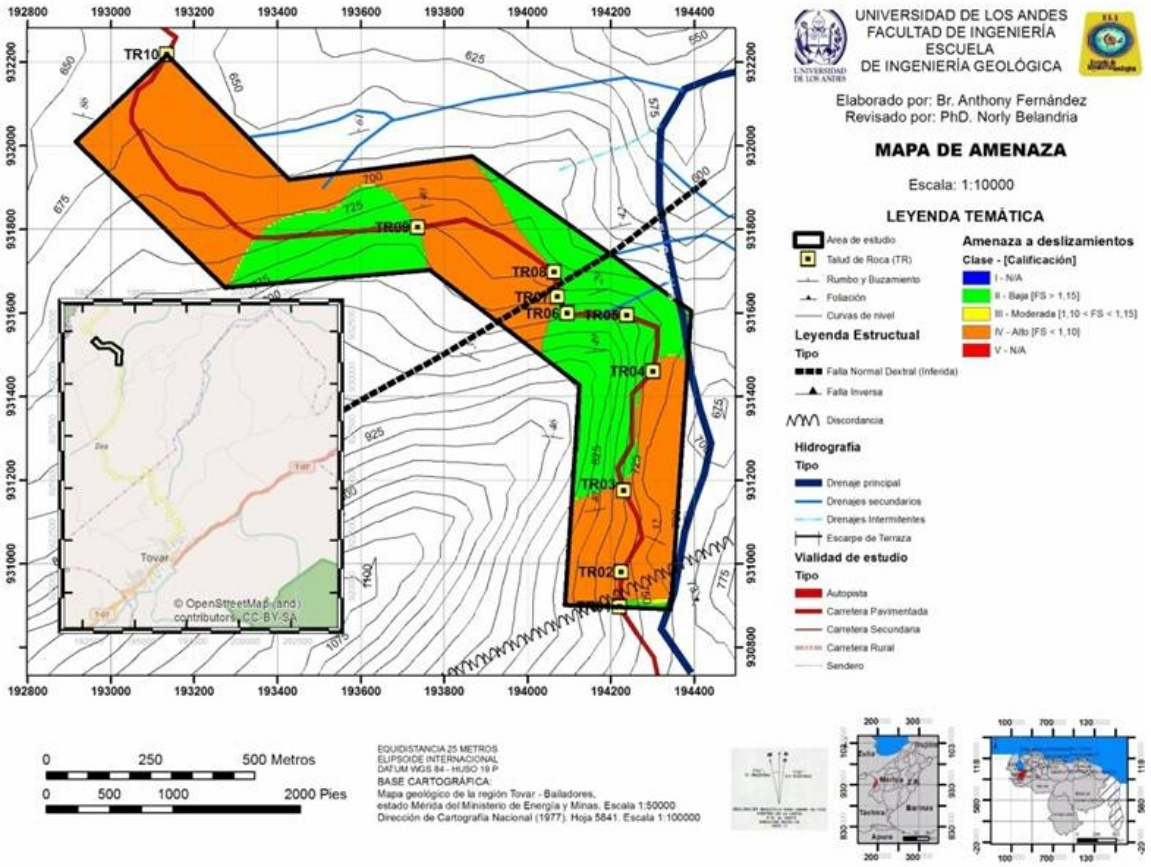


**Figura 2. Mapa de amenaza a los deslizamientos de la zona de estudio.**

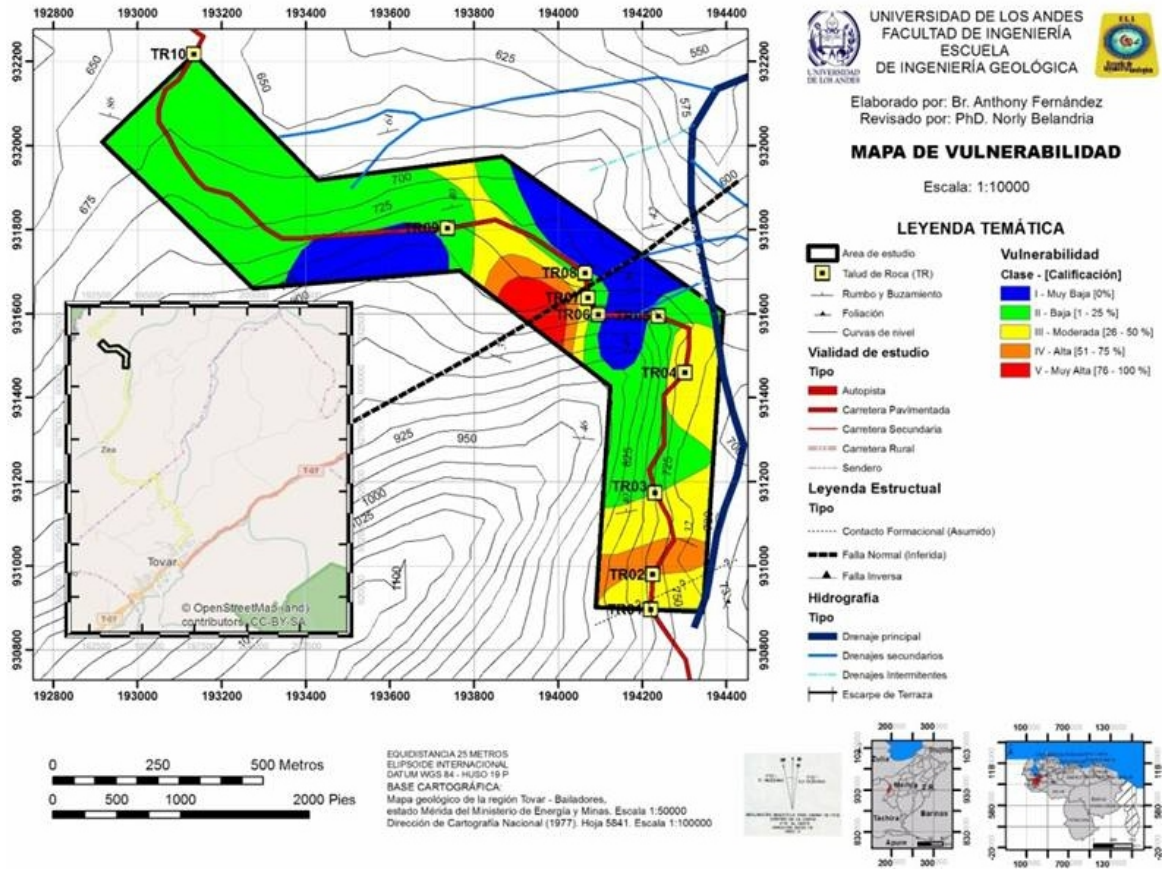


**Figura 3. Mapa de vulnerabilidad a los deslizamientos de la zona de estudio.**

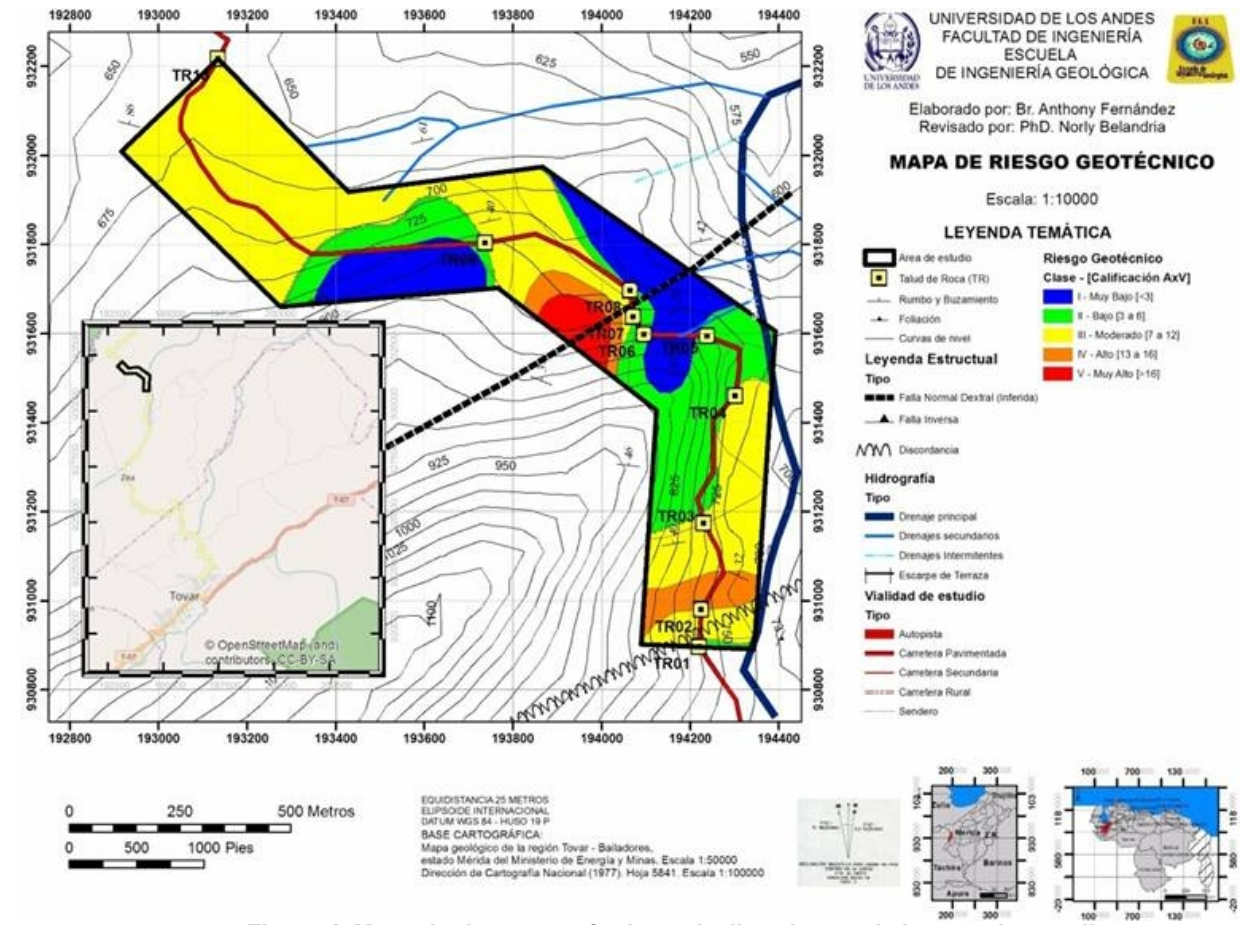


**Figura 4. Mapa de riesgo geotécnico a deslizamientos de la zona de estudio.**

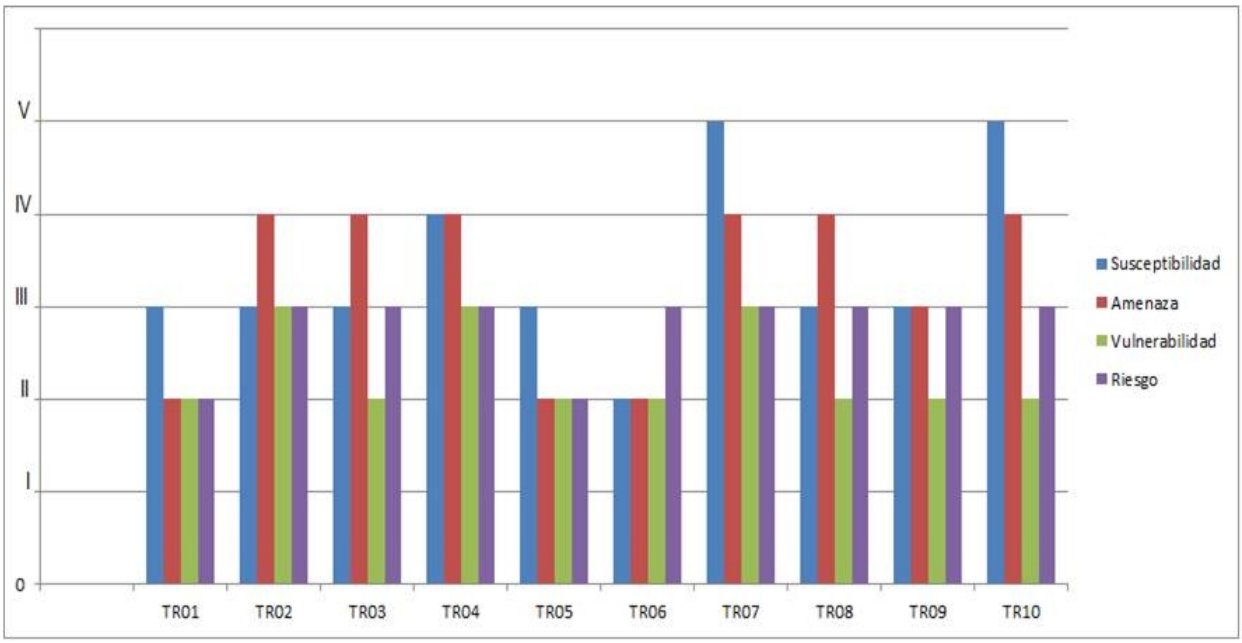


**Figura 5. Diagrama de grados resultantes para las clasificaciones y metodologías en la zona de estudio.**

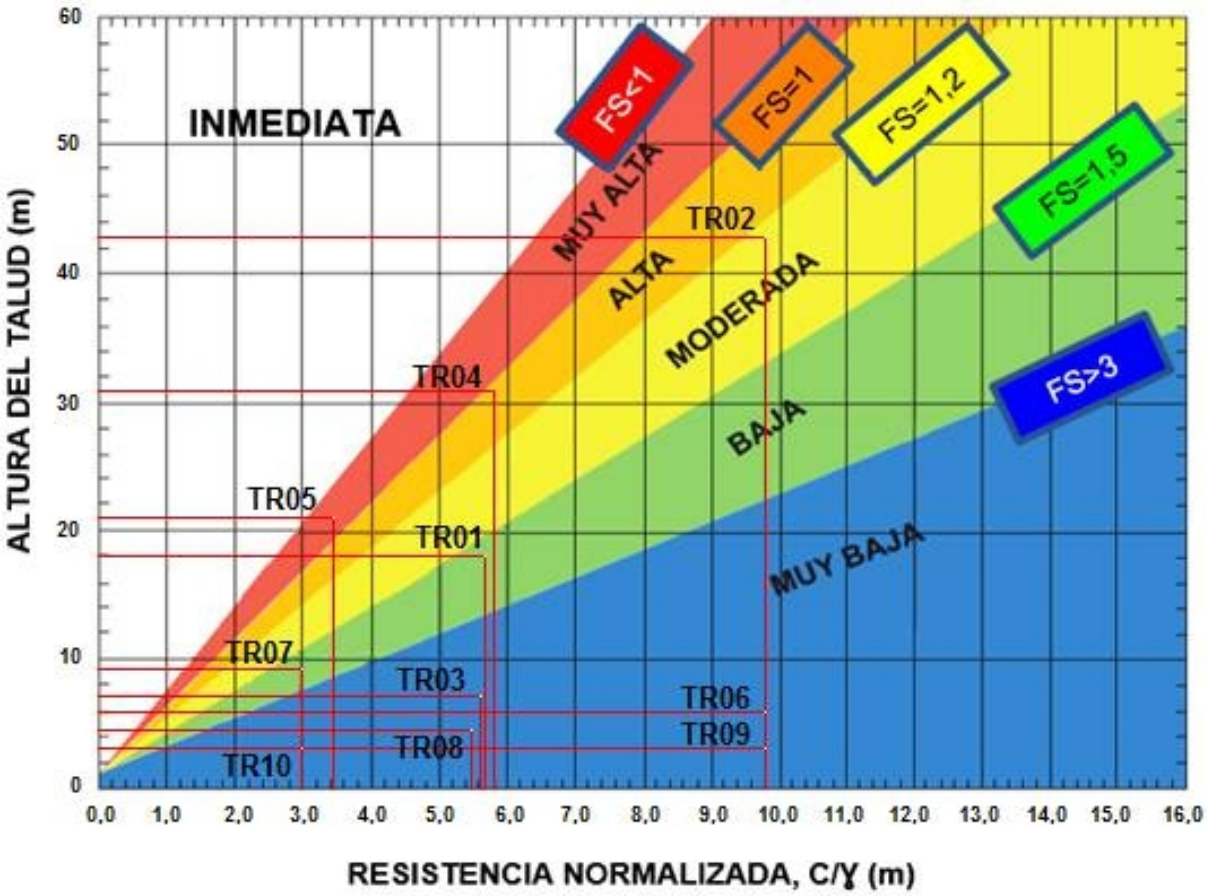


**Figura 6. Diagrama de prioridad de actuación en función de la altura, resistencia normalizada (saturación al 50%) y factor de seguridad de los taludes estudiados.**

na de estudio.

Para los taludes TR01 y TR05, los cuales poseen buenas condiciones de estabilidad y presentan un grado susceptibilidad moderada, pero con amenaza, vulnerabilidad y riesgo bajos, se sugiere la instalación de mallas de guiado y construcción de cunetas. Para los casos de los taludes TR02, TR03 y TR04, que poseen grados moderados de riesgo, se sugiere la instalación de anclajes activos para rotura en cuña junto con hormigón proyectado, drenajes y la impermeabilización de sus cabeceras, para así prevenir la erosión y evitar la saturación de las rocas y discontinuidades presentes en el macizo rocoso, que es uno de los detonantes de la amenaza.

Por otro lado, los taludes TR07 y TR10 poseen valores que van desde grado III hasta el grado V en casi todos sus índices, arrojando un grado de riesgo moderado. Sabiendo esto y conociendo las características de ambos taludes permite sugerir la implementación o construcción de bermas combinadas con bioingeniería e instalación de drenajes.

Finalmente, para los taludes TR08 y TR09, reconociendo sus niveles bajos de riesgo y vulnerabilidad anudado a una buena estabilidad, se sugiere la instalación de mallas de guiado y construcción de cunetas.

## Conclusiones

El área está compuesta principalmente por rocas sedimentarias, pertenecientes a las formaciones río Negro, Apón, Aguardiente, Capacho, La Luna y Colón, todas de edad Cretácica, así mismo, al sur de la zona se observa la existencia de rocas metamórficas pertenecientes a la Asociación Tostós.

Con los datos de orientación de las discontinuidades de los taludes se realiza el análisis cinemático, presentándose los siguientes tipos de rotura: plana para el talud TR05, en cuña para los taludes TR01, TR02, TR03, TR04, TR07, TR08 y TR09, y circular TR10 por presentar alta meteorización en la matriz rocosa, mientras que el talud TR06 no presenta rotura alguna.

Con la aplicación de la clasificación geomecánica de Bieniawski (RMR) se obtienen los siguientes índices de calidad: muy mala para TR05, TR07, mala para TR01, TR03, TR04, TR08, TR10 y media para TR02, TR06 y TR09; por lo cual los macizos son de clase III a V.

A través del cálculo del factor de seguridad estático se determina que los taludes inestables corresponden al TR07 y TR02 con un factor de seguridad de 0,48, y 1,07, respectivamente. Mientras que el factor de seguridad para los otros taludes se encuentra entre ligeramente estables a muy estables con valores que oscilan entre 1,39 y 10,69.

Según la zonificación de la susceptibilidad de la zona de estudio, se observa que más del 90 % del

área de estudio presenta niveles III, IV y V, correspondientes a grados de susceptibilidad moderados, altos y muy altos. La evaluación de la amenaza refleja que 59 % del área posee grado IV (alta), 40 % grado II (baja) y el 1 % restante es de grado III (moderado). En cuanto a los grados de vulnerabilidad, se observa que estos poseen una distribución multimodal en toda la zona, en la cual, aproximadamente el 23 % posee grado I (muy bajo), 40 % grado II (bajo), 27 % grado III (moderado), 5 % grado IV (alto) y el 5 % restante posee grado de vulnerabilidad V (muy alto).

Finalmente, la zona de estudio, presenta un riesgo principalmente moderado con nivel III, considerado como tolerable para la sociedad, ya que se considera controlado. Por otro lado, los niveles de riesgo alto y muy alto están restringidos, aproximadamente al 15 % del área de estudio, concentrándose en el perímetro de los taludes TR02 y TR07, estos niveles de riesgo son IV y V.

Se recomienda adaptar la investigación de gestión de riesgos en carreteras de montaña propuesta por Ulloa y Vargas (2007), para evaluar la estabilidad de los taludes, en función de la altura, resistencia normalizada (en condición no drenada) y factor de seguridad que presenten los taludes para priorizar el nivel de actuación requerido.

**Agradecimientos**

Al Consejo de Desarrollo Científico Humanístico, Tecnológico y de las Artes (CDCHTA - ULA) de la Universidad de Los Andes, por otorgar la ayuda necesaria para el proyecto bajo el código I-1437-15-02-A.

**Referencias**

Arlegui. (2008). *Ingeniería Geológica y prospección geofísica*.

Belandria, N., Bongiorno, F., De Barcia, I., Torres, J. y Riveros, F. (agosto de 2014). Estudio de la estabilidad de taludes aplicando el método de equilibrio límite en el sector Las Cruces, vía Jají - Mérida, estado Mérida. *Geominas*, 42(64), 123-132.

Belandria, N., Bongiorno, F., Rivas, D. y Moreno, S. (2015). *Mapa de Riesgo Geotécnico con Fines de Urbanismo en la Vía de Mérida-Jají, Estado Mérida*. En From Fundamentals to Applications in Geotechnics. (págs. 2948-2956).

Bongiorno, F., Belandria, O., Castillo, F., Belandria, N. y Chacon, R. (2014). *Determinación del tipo de rotura y aplicación del método de equilibrio límite en los taludes ubicados en la vía hacia Jají, estado Mérida.* En Ingenierías y ciencias aplicada: Modelos matemáticos y computacionales (págs. GG-21-GG-26).

Ferrer, M.y González de V., L. (2007). *Manual de campo para la descripcion y caracterizacion de macizos rocosos en afloramientos* (2 ed.). Madrid, España: Instituto Geológico y Minero de España.

González de Vallejo, L., Ferrer, M., Ortuño, L.y Oteo, C. (2002). *Ingenieria geológica*. Madrid: Pearson Educación.

Jiménez, M.y Pereira, L. (2016). *Generación de una base de datos geomecánicos de la secuencia cretácica aflorante en el sector La Roca, municipio Zea, estado Mérida*. Mérida: Universidad de Los Andes.

Rivas, D., Meza, H., Belandria, N.y Bongiorno, F. (2016). Análisis de estabilidad de taludes para la generación de un mapa de riesgo geotécnico empleando interpolaciones geoestadísticas. *Acta Científica Venezolana*, 63(3), 14-29.

Sönmez, H.y Ulusay, R. (2002). A discussion on the Hoek-Brown failure criterion and suggested modifications to the criterion verified by slope stability case studies. *Yerbilimleri*, 26, 77-99.

Suárez, J. (2001). *Control de erosión en zonas tropicales*. Bucaramanga, Colombia: Instituto de Investigaciones sobre Erosión y Deslizamientos.

Suárez, J. (2009). *Deslizamientos: Análisis Geotécnico* Vol 1. Bucaramanga: U.I.S. Escuela de filosofía.

**MAGISTER SCIENTIARUM EN RECURSOS NATURALES**

**Edificio Escuela de Ciencias de la Tierra. Piso 2, Coordinación de postgrado. Ciudad Bolívar, Estado Bolívar.**
**Teléfono: (0285) 5114289**

**Fuente: https://www.actticsociales.com/geografia-3-%C2%BA-eso/paisajes-naturales/problemas-medioambientales/**

**Fuente: http://www.elnuevodiario.com.ni/departamentales/73876-dano-guatuzos-llegar-tragedia-ecologica/**