

## Análisis de inestabilidad del talud tramo NIC-7 (km 177-178) Santo Tomás, departamento de Chontales

### Analysis of instability of hillside of section NIC-7 (km 177-178) Santo Tomás, Chontales

Christian Josué Vega Laguna<sup>1</sup>  
[christianvegalaguna75@gmail.com](mailto:christianvegalaguna75@gmail.com)

Gema de los Ángeles Velásquez Espinoza<sup>2</sup>  
[gema.velasquez@gmail.com](mailto:gema.velasquez@gmail.com)

**Recibido:** 12 de marzo de 2020, **Aceptado:** 26 de junio de 2020

#### RESUMEN

El objeto de investigación del presente artículo se enfocó en el análisis de inestabilidad de ladera en un tramo de la carretera NIC-7 que conecta los municipios de Juigalpa-Santo Tomás departamento de Chontales. La metodología empleada se basó en determinar parámetros que conducen a la formación de deslizamientos, entre ellos: la litología, meteorización, ángulo de pendiente, fracturamiento de cuerpos rocosos y la precipitación como factor detonante, ilustrando mediante modelos en 2D realizado en software un posible deslizamiento, para evaluar las condiciones del talud y el factor de seguridad, designando así el estado de la ladera objeto de investigación. Los resultados obtenidos en las pruebas de laboratorio, mostraron que los materiales en este caso suelo y roca presentan bajos parámetros de resistencia mecánica como son: ángulo de fricción, cohesión y peso, al realizar la modelación en el software se presentan factores de seguridad bajos producto las condiciones de los materiales, grado de pendiente, sumado a ello el peso de estructuras y tráfico vehicular. Dejando como conclusión que el estado de la ladera en el tramo de la carretera Nic-7 (km 177-178) es inestable e inseguro.

**Palabras claves:** equilibrio limite; factor de seguridad; inestabilidad; ladera; tramo de carretera.

#### ABSTRACT

The research object of the present article is focused on the analysis of instability in the hillside in a section of the road NIC-7, which connects the towns of Juigalpa and Santo Tomás in the department of Chontales. The methodology used was based on the determination of parameters which go due to the formation of slidings, among them: the lithology, meteorization, slope angle, fracturing of rocky bodies and precipitation as a detonating factor, illustrating through models on 2D through software a possible landslide, in order to prove the conditions of the slope and the security factor designating the state of the hillside under research. The results obtained in the laboratory tests, showed that the materials in this case soil and rock have low mechanical resistance parameters such as: friction angle, cohesion and weight, when carrying out the modeling in the software, low safety factors are presented due to the conditions of the materials, degree of slope, added to this the weight of structures and vehicular traffic. In conclusion, the state of the slope on the section of the Nic-7 road (km 177-178) is unstable and unsafe.

**Palabras claves:** limit balance; security factor; instability; hillside; road section.

<sup>1</sup> Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Managua. UNAN-Managua. Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-4997-9681>

<sup>2</sup> Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Managua. UNAN-Managua.

© 2020 - Revista Científica de FAREM-Esteli.



## **INTRODUCCIÓN**

Los deslizamientos son provocados por el alto grado de saturación de agua que ocurre en las superficies donde el suelo es bajo en cohesión y posee alto grado de porosidad, en estos fenómenos se involucran mecanismos físicos como: la gravedad, la fricción y rodamiento que sufren los materiales al someterse a una fuerza. No obstante, también debe de considerarse el grado de la pendiente o inclinación que tenga la superficie que es propensa a estos desastres, sea de manera recurrente o temporal. (Perez, 2005).

El objeto de esta investigación se enmarcó en reunir la información necesaria para una descripción completa de los factores condicionantes ante un posible movimiento de remoción en masa o roca presente en el talud, de tal manera que pueda brindar herramientas y opciones necesarias para la implementación de medidas u obras de estabilización de laderas, a las entidades gubernamentales encargadas de velar por la protección de las personas que habitan en el municipio de Santo Tomás y sectores aledaños. Cabe destacar que los eventos por deslizamientos en esta zona se producen por el alto grado de precipitación designándolo como un factor detonante, agregándole a ello el alto grado de pendiente de las laderas que se ubican a lo largo de este tramo de carretera.

### **Objeto de Estudio**

El objeto de estudio es analizar la inestabilidad de talud del tramo (km 177-178) de la carretera Nic-7 Juigalpa-Santo Tomas, Chontales, aportando información que sea de utilidad sobre las características físicas del suelo y roca del tramo de carretera estudiado, acompañado de los parámetros físicos del talud para así modelar el comportamiento del mismo y proponer en base a los resultados obtenidos medidas de mitigación que permitan la estabilización del talud, con el fin de lograr una buena viabilidad a la hora de transitar en la carretera Nic-7. Los métodos empleados en este estudio, como los métodos de equilibrio limite y topografía, son herramientas necesarias para evaluar condiciones de inestabilidad y parámetros de deficiencias en zonas de alta pendiente.

### **Referencias Conceptuales**

Los fenómenos de inestabilidad en Nicaragua son muy frecuentes, entre los fenómenos más documentados tenemos: Volcán Casitas, Cerro Musún, Río San Juan, entre otros. Instituciones como INETER (Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales), MTI (Ministerio de Transporte e Infraestructura), han realizado estudios de susceptibilidad para ayudar a personas que habitan cerca de zonas o puntos inestables y evitar pérdidas considerables a causa de estos desastres naturales. (Perez, 2005).

Los problemas que se presentan en la estabilidad de taludes, tanto en zonas naturales como excavadas, han sido objeto de análisis en varios dominios de la actividad humana y con especial atención los que se incluyen en obras ingenieriles ya sean que contengan carácter civil o geológico.

## Área de Estudio

El tramo de carretera que fue objeto de investigación se localiza en el municipio de Santo Tomás departamento de Chontales, el cual limita al norte y al oeste con el municipio de San Pedro de Lovago, al este con el municipio de Villa Sandino y al sur con el municipio de Acoyapa y departamento de Rio San Juan. El tramo de carretera que fue objeto de investigación se encuentra en el km 177-178.

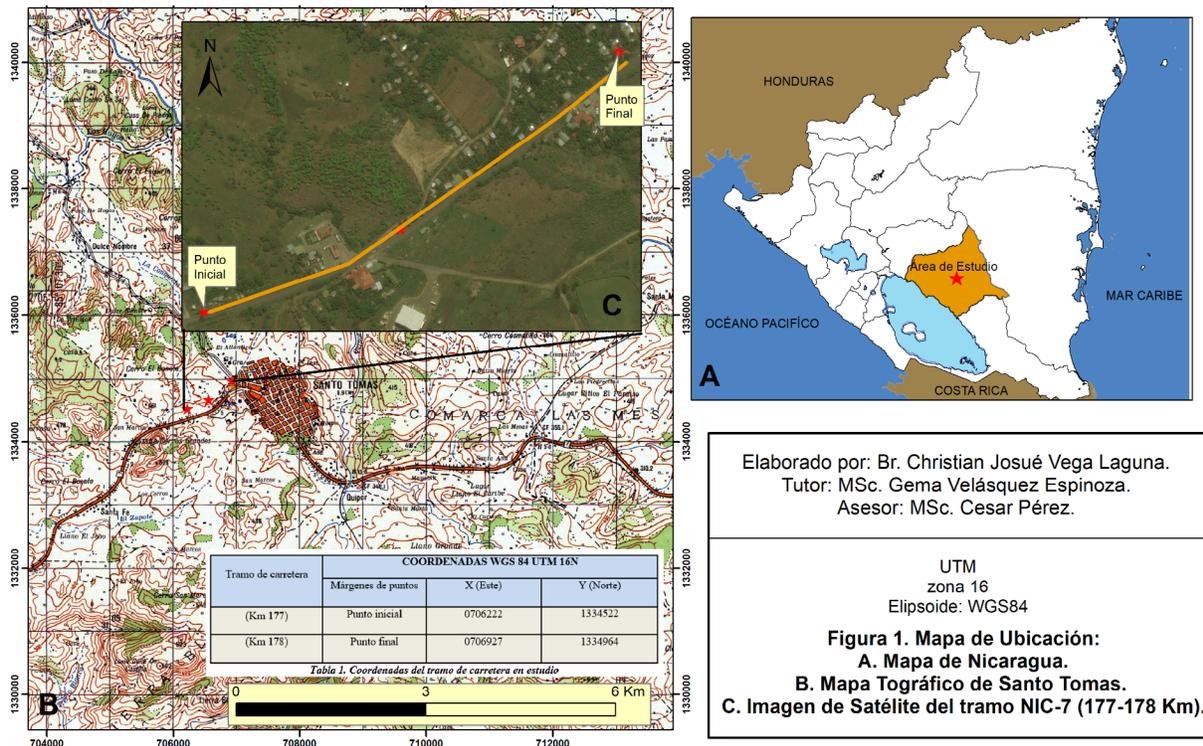
Su principal vía de acceso es la carretera Panamericana norte NIC-26, que nos conducirá hacia el Empalme de San Benito, luego se ingresa hacia la carretera El Rama (NIC-7) hasta llegar al Empalme de Lovago ubicado en el km 160. De ahí se recorre un trayecto de 10 km hasta llegar a los puntos tomados que son de referencia inestables.

A continuación, se muestra la tabla con las respectivas coordenadas del sitio de estudio con el mapa de ubicación y la sección que se abarcó del tramo de carretera.

**Tabla 1. Coordenadas del tramo de carretera objeto estudio**

Tramo de carretera	COORDENADAS WGS 84 UTM 16N		
	Márgenes de puntos	X (Este)	Y (Norte)
(Km 177)	Punto inicial	0706222	1334522
(km 178)	Punto final	0706927	1334964

Fuente: Elaboración propia.



**Figura 1. Mapa de ubicación del tramo de carretera**

## **Metodología investigativa**

### **Tipo de estudio**

El alcance que proporciona esta investigación se caracterizó en la metodología empleada por (Hernandez, 2010) definiendo el tipo de estudio como descriptivo, debido a que consiste en caracterizar fenómenos, situaciones, contextos y eventos que nos indican a detallar cómo son y manifiestan, además buscan especificar las propiedades y características de los fenómenos, objetos o perfiles que se sometan a análisis. En este caso fue la descripción litológica de los cuerpos rocosos y masas de suelos, entre esos parámetros se encuentran: color, textura, composición, clasificación y granulometría, así como también el análisis del movimiento de las masas de suelo en el talud, dicha información es de principal importancia debido a que permite reconocer el grado de peligrosidad presente en el tramo de la carretera.

El enfoque de investigación basándose en las características del tema, es de orden mixto cuantitativo-cualitativo, cuantitativo debido a la toma de datos para la simulación de modelos digitales que implementan resultados con factores de seguridad para el desarrollo de conclusiones y recomendaciones del tema basándose en los objetivos antes propuestos. Y cualitativo porque se emplea la descripción de materiales mediante plantillas para el reconocimiento litológico del talud y el análisis de los ensayos de las muestras recolectadas.

### **Métodos, técnicas e instrumentos de recolección de datos**

el motivo por el cual se realizó análisis altimétrico, planimétrico y muestreo de suelo-roca, fue para recolectar una serie de datos que permitieron simular mediante software y caracterizar mediante ensayos de laboratorio la superficie del talud. Con el fin de reconocer zonas inestables y tipo de movimientos que se presentan a lo largo del tramo de carretera.

### **Procedimiento para la recolección de datos**

El levantamiento de los datos de campo se realizó mediante análisis topográfico tomando en cuenta la altimetría y planimetría de la ladera para los levantamientos dimensionales del talud como: distancia, altura e inclinación, para ello fue indispensable el uso de herramientas como: brújula, estadia, cinta y GPS para dividir la ladera en secciones a la hora de modelación por software.

La técnica de campo correspondió a un levantamiento en malla obteniendo una dimensión para la ladera de 150m de largo por 12m de alto, con una distancia entre cada perfil seccionado de 25m dando como resultado 7 perfiles morfológicos de talud. Posteriormente se efectuó la toma de muestras de manera arbitraria con énfasis en la litología y grado de pendiente de la ladera reconociendo un solo horizonte de suelo y roca.

## Plan de procesamiento y análisis

Obteniendo los resultados de laboratorio se realizó un análisis de énfasis geológico para determinar las características de los estratos que conforman a la ladera por medio el uso de software como: Arcgis, AutoCAD, Strater 5, Slide y Stereonet, este último para evaluar la dirección y zona donde se presentan los mayores esfuerzos por deformación que afectan al talud.

## MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación fue realizada mediante la aplicación de métodos de equilibrio límite utilizados para analizar la superficie y equilibrio de una masa potencialmente inestable. Esta metodología de análisis consiste en comparar las fuerzas en tendencia al movimiento, con las fuerzas resistentes que se oponen al mismo a lo largo de una determinada superficie de rotura, definiendo que cada método de equilibrio límite adopte parámetros distintos de acuerdo a la condición que presente el talud, dichas condiciones se muestran en la siguiente tabla.

**Tabla 2. Métodos de equilibrio límite para análisis de taludes**

Autor	Parámetro	Inclinación de talud	Método analítico utilizado	Observaciones
Taylor	$C_u$ $C, \Phi$	0-90 0-90	$\Phi = 0$ Circulo de fricción	Análisis no drenado. Taludes secos solamente.
Bishop y Morgenstern	$C, \Phi$	11-26.5	Bishop	Primero en incluir efectos de agua
Spencer	$C, \Phi, r_u$	0-34	Spencer	Círculos de pie solamente
Gibsson y Morgenstern	$C_u$	0-90	$\Phi = 0$	Análisis no drenado con cero resistencia en la superficie y $C_u$ aumenta linealmente con la profundidad
Jambu	$C_u$ $C, \Phi, r_u$	0-90	$\Phi = 0$ Jambu GPS	Una serie de tablas para diferentes efectos de movimiento de agua y grietas de tensión.
Hunter y Schuster	$C_u$	0-90	$\Phi = 0$	Análisis no drenado con una resistencia inicial en la superficie y $C_u$ aumenta linealmente con la profundidad.
Chen y Giger	$C, \Phi$	20-90	Análisis Limite	

O'Connor y Mitchell	$C, \Phi, r_u$	11-26	Bishop	Bishop y Morgenstern (1960) extendido para incluir $N_c = 0.1$
Hock y Bray	$C, \Phi$ $C, \Phi$	0-90 0-90	Circulo de fricción Cuña	Incluye agua subterránea y grietas de tensión. Análisis de bloque en tres dimensiones.
Cousins	$C, \Phi$	0-45	Circulo de fricción	Extensión del método de Taylor (1948)
Charles y Soares	$\Phi$	26-63	Bishop	Envolvente de falla no lineal de Mohr-Coulomb
Barnes	$C, \Phi, r_u$	11-63	Bishop	Extensión de Bishop y Morgenstern (1960) para un rango mayor de ángulos de talud

**Fuente: (Suárez, 1998).**

El método de equilibrio límite utilizado para analizar la superficie de inestabilidad en el tramo de carretera fue el método de Bishop (1955), dicha metodología de equilibrio limite toma en cuenta el efecto de las fuerzas entre dovelas evaluando el grado de la masa deslizable en la superficie del talud.

La solución de Bishop es muy compleja y por esta razón se utiliza una versión simplificada de su método, de acuerdo a la expresión se tiene que:

$$F_s = \frac{\sum [Cb + (w - ub) \tan \phi / ma]}{\sum w \operatorname{sen} \alpha}$$

**Ecuación 1. Factor de seguridad por Bishop.**

Dónde:

**b** = Ancho de la Dovela

**W** = Peso de cada dovela

**C', φ** = Parámetros de resistencia del suelo.

**u** = Presión de poros en la base de cada dovela =  $\gamma w \times h w$

**α** = Angulo del radio y la vertical en cada dovela.

Teniendo en cuenta la metodología de equilibrio límite empleada para efectuar el análisis de inestabilidad se efectúa lo que es el cálculo de factor de seguridad, que consiste en el índice de amenaza de que el talud falle en las peores condiciones de comportamiento para el cual se diseña. En 1927 Fellenius presento el factor de seguridad como una relación entre la resistencia la

corte real, calculada del material en el talud y los esfuerzos de corte crítico que tratan de producir la falla a lo largo de una superficie supuesta. (Suárez, 1998).

Donde:

$$F_s = \frac{\text{Resistencia al corte}}{\text{Esfuerzo cortante}}$$

**Ecuación 2. Factor de seguridad ante esfuerzo.**

### Parámetros físicos aplicados a inestabilidad de laderas

- **Coeficiente de fricción del suelo**

El ángulo de fricción interno ( $\varphi$ ) depende esencialmente de factores como la compacidad del material, forma de los granos, grosor y granulometría, también se dice que depende del % de humedad del suelo, el agua sirve como lubricante entre las partículas para evaluar el desplazamiento de las mismas y el movimiento del cuerpo en masa en un medio (NAVFAC, 1971)

- **Momento torsión**

Un momento de torsión es una magnitud vectorial, aunque nos ocuparemos de si tiende a producir un movimiento en sentido horario o anti horario. Cuando actúa más de un momento de torsión sobre un cuerpo, el momento torsión resultante se puede determinar mediante la suma de estos, en las laderas un ejemplo claro para este principio físico es el volcamiento o caída de rocas, debido a la magnitud de las fuerzas que entran en juego y definen el sentido de caída del cuerpo. (Fontanet, 2015).

- **Momento de inercia**

Denominamos inercia a la propiedad de un objeto que le permite resistir los cambios de movimiento (aceleraciones). La inercia de un objeto en movimiento depende únicamente de su masa (suponiendo que sobre el objeto no actúa ninguna otra fuerza, como la fricción) en otras palabras las masas de mayor dimensión necesitan fuerzas mayores para producir aceleraciones iguales. (Fontanet, 2015).

- **Rodadura por pendiente**

Un objeto, como una pelota, una rueda, o un cuerpo esferoidal en este caso hablese de un cuerpo rocoso que viaja por una colina, transfiere su energía potencial tanto en forma de energía cinética de traslación como de energía cinética de rotación. En la parte inferior de una pendiente sin fricción, un objeto deslizante alcanzaría una velocidad más elevada que un objeto rodante, los objetos rotatorios con momentos de inercia mayores viajarán más lentamente en la parte inferior de la misma pendiente. Si el ángulo de inclinación de la pendiente es muy elevado (es muy escarpada) la rodadura no será posible. (Fontanet, 2015).

- **Resistencia al corte**

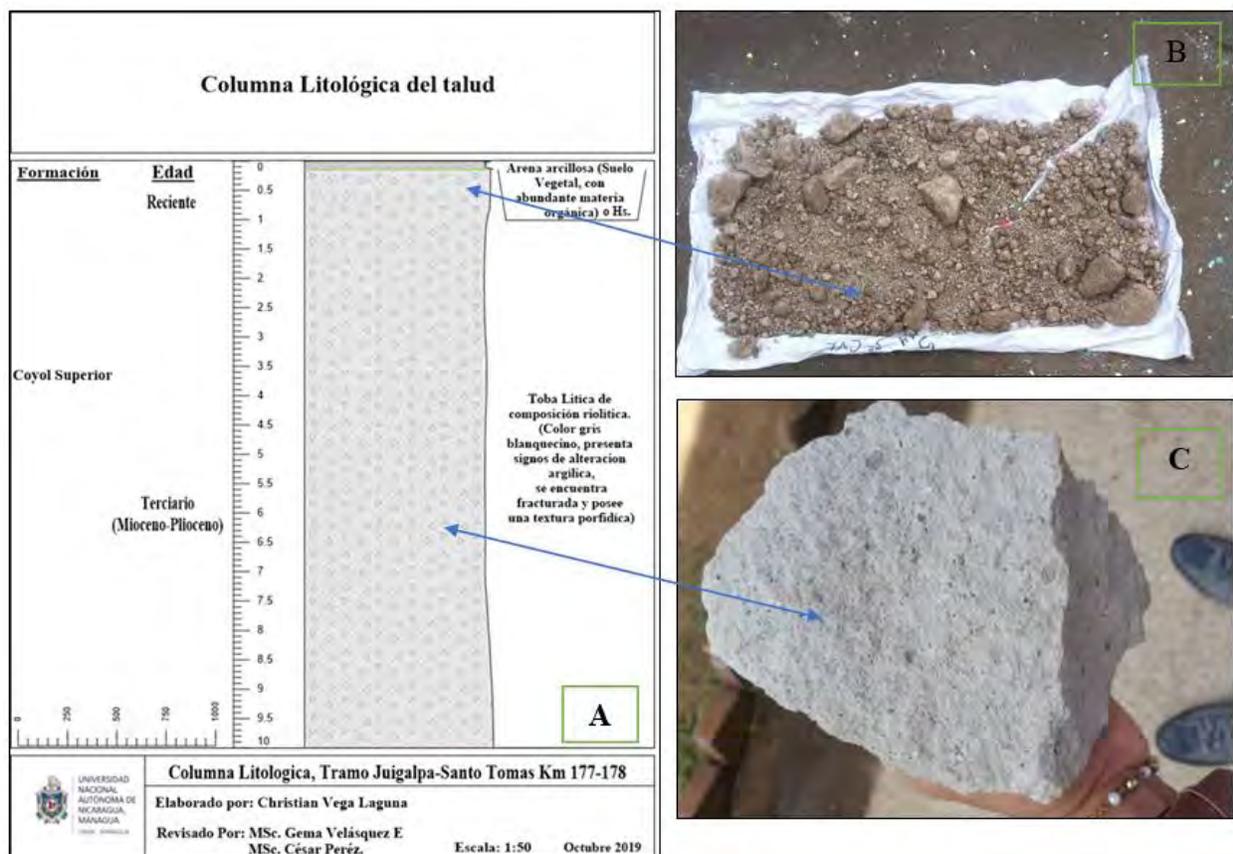
La resistencia al corte se define como el máximo valor de esfuerzo cortante que el suelo puede soportar. Los dos tipos de resistencia al cortante utilizados en el análisis de estabilidad son:

resistencia no drenada y resistencia drenada. La resistencia no drenada se utiliza en análisis con esfuerzos totales, mientras que la resistencia drenada se utiliza en análisis con esfuerzos efectivos. (Suárez, 1998)

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este estudio se realizaron análisis geológicos y geotécnicos en la zona del tramo de carretera que conecta los municipios Juigalpa y Santo Tomás, Chontales mediante la aplicación de métodos de equilibrio límite con el propósito de generar información útil para la prevención de movimientos de remoción en masa.

Geológicamente el área se compone de rocas pertenecientes al grupo Coyol Superior, esta formación geológica se ubica dentro de la provincia geológica central de Nicaragua encontrando depósitos de tobas riolíticas (Tpci) y horizontes de suelo areno arcilloso, como se observan en la figura B y C. La roca identificada en el talud es de color gris blanquecino, compuesta por líticos de color verdoso y café, de tamaño granulométrico entre 3 a 5 mm, la capa de toba tiene un espesor de aproximadamente 9.5 m y la capa de suelo vegetal un espesor de 0.5 cm, ilustrando los datos obtenidos en la figura A.



**Figura 2. A Columna litológica del tramo de carretera, B Horizonte de suelo de composición arena arcillosa, y C Muestra de toba de composición riolítica.**

Mediante el uso de software se estimó el valor de factores de seguridad tomando en cuenta facciones geológicas como el tipo de roca y suelo encontrado en el sitio, además índice de fracturas en los cuerpos rocosos que conforman el talud y el índice de meteorización, también se tomó en cuenta el grado de la pendiente, la altura del talud y la distancia entre perfiles, generando modelos a escala en 2D usando software de modelamiento geotécnico en este caso Slide.

El tramo de carretera abarca una sección de 150 m dividiéndola en 7 perfiles cada uno a una distancia de 25 m y a una altura aproximada entre 10-12 m, con ángulo de inclinación variable datos obtenidos mediante la aplicación de la topografía en el sitio (altimetría y planimetría) construyendo una malla a lo largo del tramo de carretera con el fin de obtener datos del talud de manera eficiente.

Para el diseño de cada perfil se tomó en cuenta el tráfico vehicular o cargas dinámicas y el asentamiento de construcciones en la parte superior del talud o corona conocidas como cargas pasivas, dichos cálculos de carga se efectuaron mediante análisis de rodamiento teniendo como referencia la cartilla de la construcción para las cimentaciones en la corona y el peso permisible por eje en los vehículos, datos brindados por el MTI.

Al realizar el análisis en el software para evaluar la inestabilidad y estabilidad de los perfiles del tramo de carretera, el factor de seguridad ronda en un rango de 0.7-0.8 definiéndolo como inestable y al estabilizarlo el factor de seguridad ronda en un rango de 1.3-1.4 definiéndolo como inseguro.

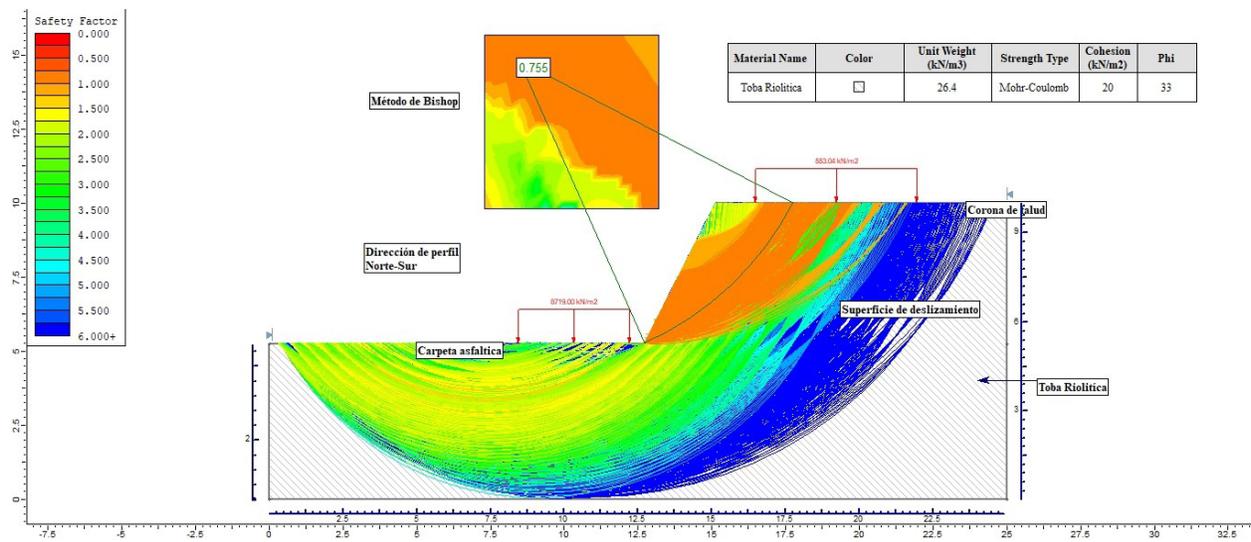
A continuación, se muestran dos modelos del perfil ensayados en software Slide definiendo el estado de la ladera en base a datos recolectados en campo.

### **Modelación de inestabilidad del perfil**

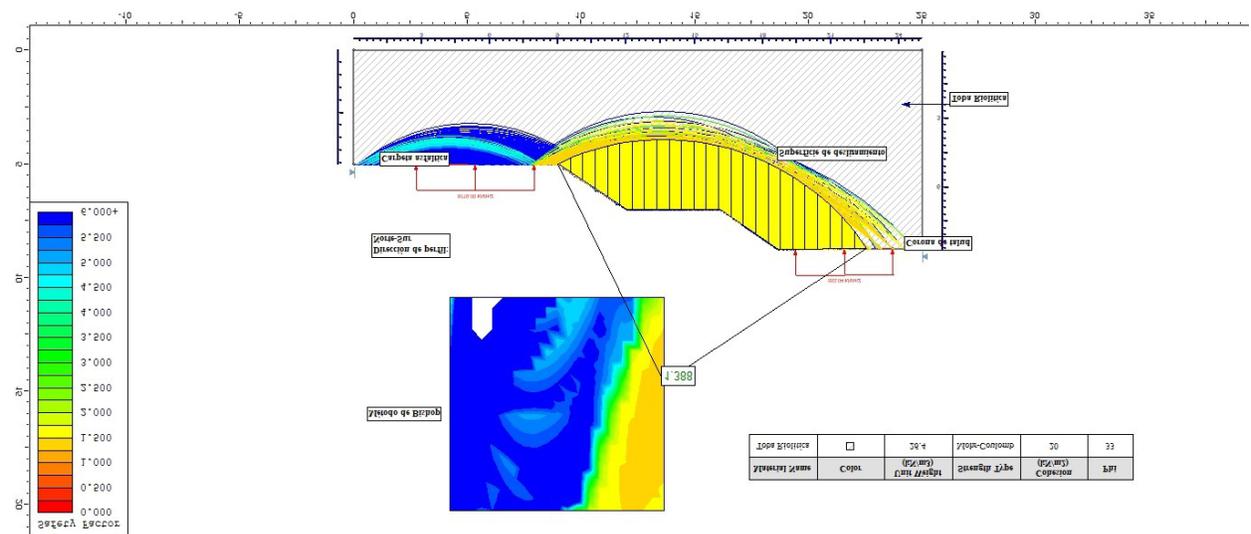
Para la modelación del perfil se tomó en consideración la geometría de la ladera es decir su altura o nivel de deslizamiento que en este caso corresponde a 5 m, la altura del talud que son aproximadamente 10m, la distancia de corte que son 25 m en la horizontal y su ángulo de inclinación que es de 63°, el resultado del modelo indico que para esta sección el factor de seguridad es de 0.7 considerado como un factor inestable, y 1 como un factor inseguro, según la tabla de factor de seguridad que se muestra en el modelo del perfil ya ensayado.

### **Modelación de estabilidad del perfil**

Ante los resultados de la modelación de la ladera se plantea la posibilidad de estabilizar su superficie mediante el método de modificación geométrica logrando redistribuir las fuerzas relacionadas a las cargas puntuales de los materiales que se desplazan alrededor de la superficie, obteniendo una nueva configuración más estable y un factor de seguridad más alto que oscila en el rango de 1.2-1.3 diagnosticándolo como inestable.



**Figura 3. Modelación del perfil**



**Figura 4. Modelación de estabilidad del perfil 1**

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En conclusión, el tramo de carretera Nic-7 (km 177-178) Juigalpa-Santo Tomas, departamento de Chontales presenta condiciones aptas para la formación de eventos por deslizamientos, tomando como referencia el resultado de las pruebas físicas a los materiales como son rocas y suelo que denotan un bajo coeficiente en las propiedades que lo conforman, agregando a ello los ensayos de los perfiles simulados por software que muestran un bajo factor de seguridad calificando el tramo de carretera como inestable e inseguro.

Determinando de esta manera que los factores condicionantes como: litología, fracturamiento, geomorfología y topografía (grado de pendiente), en conjunto con el clima como factor

desencadenante, son los principales parámetros a considerar en la formación de movimientos por deslizamientos en esta zona.

Los movimientos por deslizamientos no solo ocurren por el bajo coeficiente de fricción del suelo o por el tipo de litología que se encuentre, sino también por indicadores estructurales como son fallas en el talud o fracturas en el cuerpo rocoso que debilitan la superficie de asentamiento donde se encuentra la ladera, originando más de una facción de movimiento en el sitio.

Se recomienda que en estudios ya sean de estabilidad o inestabilidad, el uso de análisis topográficos se realice con el objetivo de obtener datos concretos sobre la geometría de la ladera. Así mismo a la hora de emplear modelos por software evaluar más de dos métodos de equilibrio límite, realizando una correlación de valores por factor de seguridad para tener idea de que solución usar al momento de estabilizar la pendiente de la ladera.

No obstante, se debe tener en cuenta también la participación de las autoridades municipales de la zona a efectuar planes y proyectos que evalúen métodos ingenieriles para establecer áreas de carretera segura a la hora de transitar. Entre los métodos que se proponen para evaluar el nivel de estos desastres están: Métodos de control de pie de talud, descapotado en escalón con cierto ángulo de inclinación, y mallas que logren la estabilización por adherencia de material, todo con el fin de prevenir riesgo ante un desastre.

## REFERENCIAS

- Fontanet, M. (2015). *Física y química 1º bachillerato*. Madrid, España.: Vicens Vives.
- Hernandez, S. (2010). *Metodología de la investigación 5ta ED, Cap(1-5), (Pags 656)*. México: MCGRAW-HILL.
- NAVFAC. (1971). *Soil Mechanics*. Washington, Estados Unidos.
- Perez, R. (2005). *Estudio de vulnerabilidad ante deslizamientos de tierra en la microcuenca Las Maria. Telica, Leon*. Managua.
- Suárez, J. (1998). *Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales. (págs. 121-136)*. Bucaramanga, Colombia. <http://www.erosion.com.co/deslizamientos-y-estabilidad-de-taludes-en-zonas-tropicales.html>