

# Análisis de estabilidad del talud de la barranca El Tule en la Cd. de Chilpancingo de los Bravo, Gro., mediante el software Slide

Mario Alberto Hernández Bibiano<sup>†</sup>

Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Guerrero, Chilpancingo de los Bravo, Guerrero, México, [14356514@uagro.mx](mailto:14356514@uagro.mx)

Tania Ivonne Ayala Ibarra

Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Guerrero, Chilpancingo de los Bravo, Guerrero, México, [taniayala@uagro.mx](mailto:taniayala@uagro.mx)

M.C. Gaudencio Vicente López Mendoza

Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Guerrero, Chilpancingo de los Bravo, Guerrero, México, [09060@uagro.mx](mailto:09060@uagro.mx)

Dr. Miguel Ángel Flores Marín

Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Guerrero, Chilpancingo de los Bravo, Guerrero, México, [maflores53@hotmail.com](mailto:maflores53@hotmail.com)

## RESUMEN

El presente artículo corresponde al análisis de estabilidad del talud de la barranca el Tule, ubicada en la ciudad de Chilpancingo de los Bravo, Gro., mediante el software Slide.

El Tule es una de las 14 barrancas identificadas como de alto riesgo por la Secretaría de Protección Civil del Estado de Guerrero, de acuerdo a la metodología simplificada propuesta por el Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED). Dicha barranca ha presentado deslizamientos con frecuencia, presentando así una problemática para la ciudad ya que, está rodeada por diferentes colonias, por lo que cientos de familias se ven afectadas año con año cuando la barranca sufre un deslizamiento. La barranca se ubica en la zona D y se considera terreno tipo I (el cual es considerado como suelo blando), de acuerdo con la regionalización sísmica de la República Mexicana publicada por la Comisión Federal de Electricidad (CFE).

Con el objetivo de conocer la estratigrafía del lugar se realizó una exploración geotécnica, la cual consistió en la elaboración de tres sondeos de tipo profundo utilizando la metodología de penetración estándar. Los resultados muestran que la mayoría del suelo consiste en suelos finos de baja plasticidad.

El análisis para la estabilidad del talud en la barranca el Tule se realizó utilizando el software Slide v5.0, empleando el método de Janbú y Bishop simplificado, cuyo principio general es el método sueco.

## ABSTRACT

This article corresponds to the slope stability analysis of the El Tule ravine, located in the city of Chilpancingo de los Bravo, Gro, using Slide software.

El Tule is one of the 14 ravines identified as high risk by the Secretary of Civil Protection of the State of Guerrero, according to the simplified methodology proposed by the National Center for Disaster Prevention (CENAPRED). This ravine has frequently suffered landslides, thus presenting a problem for the city since it is surrounded by different neighborhoods, so hundreds of families are affected year after year when the ravine suffers a landslide. According to the seismic regionalization of the Mexican Republic presented by the Federal Electricity Commission (CFE), the ravine is located in zone D and is considered a type I terrain (which is considered soft soil).

To understand the site's stratigraphy, a geotechnical exploration was carried out, which consisted in the elaboration of three deep borings using the standard penetration methodology. The results obtained show that most of the soil consists of fine soils of low plasticity.

The analysis for slope stability in the El Tule ravine was carried out using Slide v6.0 software, using the simplified Janbu and Bishop method, whose general principle is the Swedish method. This is intended to establish recommendations to ensure the stability of the slope.

## PALABRAS RESERVADAS

Estabilidad, análisis, talud, el Tule, deslizamientos.

## KEYWORDS

Stability, analysis, slope, El Tule, landslides.

## INTRODUCCIÓN

Chilpancingo de los Bravo es la capital del estado de Guerrero, y cabecera municipal del municipio con el mismo nombre. Está ubicada en la región Centro del estado y en el suroeste de México. Chilpancingo se encuentra posicionada como la segunda ciudad más grande del estado, solo superada por Acapulco de Juárez, esto en base al *Censo de Población y Vivienda 2020* que llevó a cabo el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), el cual arrojó una población total de 225,728 habitantes.

Chilpancingo de los Bravo está asentado en un estrecho valle, el cual es atravesado perpendicularmente por escurrimientos que forman 54 barrancas identificadas por la Secretaría de Protección Civil del Gobierno del Estado y del Municipio. De las 54 barrancas, el municipio identifica a 14 como alto riesgo, mostradas en la tabla 1, de acuerdo a la metodología simplificada propuesta por el CENAPRED.

**Tabla 1: Nombre y ubicación de las 14 barrancas de alto riesgo ubicadas en Chilpancingo de los Bravo.**

No.	Nombre	Ubicación de coordenadas
1	Chuchululuya	17°34'29"N, 99°31'07"O
2	Las Calaveras	17°34'00" N, 99°30'17"O
3	Jalahuatzingo	17°33'46"N, 99°29'51"O
4	El Huizachal	17°32'30"N, 99°29'24"O
5	Tepango	17°31'15"N, 99°28'42"O
6	La lobera	17°33'38"N, 99°31'12"O
7	El Tule	17°33'16"N, 99°30'49"O
8	Casuarinas	17°34'44"N, 99°31'18"O
9	Tonalapa	17°32'17"N, 99°30'52"O
10	Tequimil	17°31'57" N, 99°30'58"O
11	Las Tortolitas	17°33'26"N, 99°31'04"O
12	Ocotepec	17°32'01"N, 99°28'49"O
13	San Miguelito	17°32'57"N, 99°29'07"O
14	Alpuyeca	17°32'49"N, 99°30'43"O

Las catástrofes naturales son inevitables, pero las tragedias que pueden producirse a consecuencia de ellas pueden prevenirse. De acuerdo con el CENAPRED, los deslaves forman parte de las peores catástrofes geológicas del mundo, ocasionando daños económicos de millones de pesos, así como trágicas vidas humanas.



**Figura 1.- Parte de la barranca el Tule, ubicada en Chilpancingo.**

De acuerdo con el diccionario de la Real Academia Española (RAE), el término ladera se refiere a la pendiente de una montaña, colina o altura en general, por lo que al ser Chilpancingo una ciudad asentada en un valle, presenta muchas de ellas en su territorio. Esto obligó a las personas a construir sus propiedades en cercanía con estas laderas o bien, en las barrancas mismas. Por lo que el peligro a que ocurra algún deslizamiento siempre está presente en estos lugares.

A las fallas de taludes verticales o casi verticales que se producen de manera repentina y provocan al desprendimiento de uno o múltiples bloques que se desploman en caída libre se conocen como deslizamientos. Los deslizamientos de tierra en suelos, se producen por la erosión del mismo o la socavación de las laderas provocadas por la actividad humana. Ocasionalmente, los deslizamientos pueden producirse como consecuencia de la meteorización diferencial. (Grades, Contreras, & Grases, 1997).

Las construcciones en las barrancas realizadas por algunos habitantes del lugar, ha ocasionado que el terreno en las mismas sea inestable, primero eliminando la vegetación que protege los taludes y después, por realizar cortes para el desplante de las viviendas, aunado a esto, si con el tiempo se vierte agua doméstica en la ladera, se crean las condiciones idóneas para que se produzcan los desprendimientos. (Muñiz Barrera, Zúñiga Martínez, Vázquez Jiménez, & Carranza Bello, 2020).

## **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

En la capital del estado, el asentamiento de las colonias en laderas y barrancas peligrosas es un problema recurrente. Ya que, ante la necesidad de tener una vivienda propia, las personas toman la decisión de construir en ellas, sin importar que algunas estén en lugares de alto riesgo, por lo que este peligro es más latente al pasar de los años.

En abril del 2022 la Secretaría de Protección Civil del municipio dio a conocer que había comenzado a notificar a las familias de la capital que habitan en zonas de alto riesgo sobre el peligro que corren en caso de una contingencia.

El 31 de octubre del 2022, a través de diferentes medios de comunicación, el director de la Secretaría de Protección Civil del Estado de Guerrero, el Dr. Roberto Arroyo Matus informó que 80 viviendas y una calle de la colonia Tlalmecac sufrieron daños graves por el deslizamiento geológico de aproximadamente 70 hectáreas en Chilpancingo, asegurando que ya se rebasó prácticamente la capacidad de construir más propiedades en terrenos normales, comentando que cada vez que invaden terrenos en laderas hay riesgo por el deslizamiento que pueden producirse.

Una de las barrancas de alto riesgo es la del Tule, la cual, en épocas de lluvia año con año se hace la invitación a las personas que viven en la misma o en los linderos, estar prevenidos por un posible suceso, tal como sucedió en 2017, cuando la barranca registró un deslizamiento de suelo causando daños a varias viviendas, donde tuvieron que ser evacuadas 18 familias.

La Secretaría de Protección Civil del estado dio conocer ese momento que se trataba de un deslizamiento de tipo traslacional con una longitud de aproximadamente 100 metros lineales y una pendiente de 60 a 80 grados, afectando así la ladera y creando zonas de alto riesgo en el lugar.



Figura 2.- Construcciones ubicadas en la altura de la barranca el Tule, en Chilpancingo de los Bravo.

## 1 BARRANCA EL TULE

La barranca el Tule, está ubicada al Nor-Poniente de la ciudad capitalina, entre las colonias 1° de Mayo, Bella Vista, Ocozuapa, El Mirador y Omiltemi (Figura 3 y 4).

Tiene antecedentes de deslizamientos de taludes y afectaciones en vialidades ocasionados por los mismos deslizamientos. Sin embargo, en mayo del 2018 diferentes medios publicaron que las personas damnificadas de las tormentas Manuel e Ingrid de 2013, y del deslizamiento de tierra de septiembre de 2017, regresaron a habitar el lugar ante la omisión de las autoridades y la irresponsabilidad de los vecinos, en la barranca de El Tule.

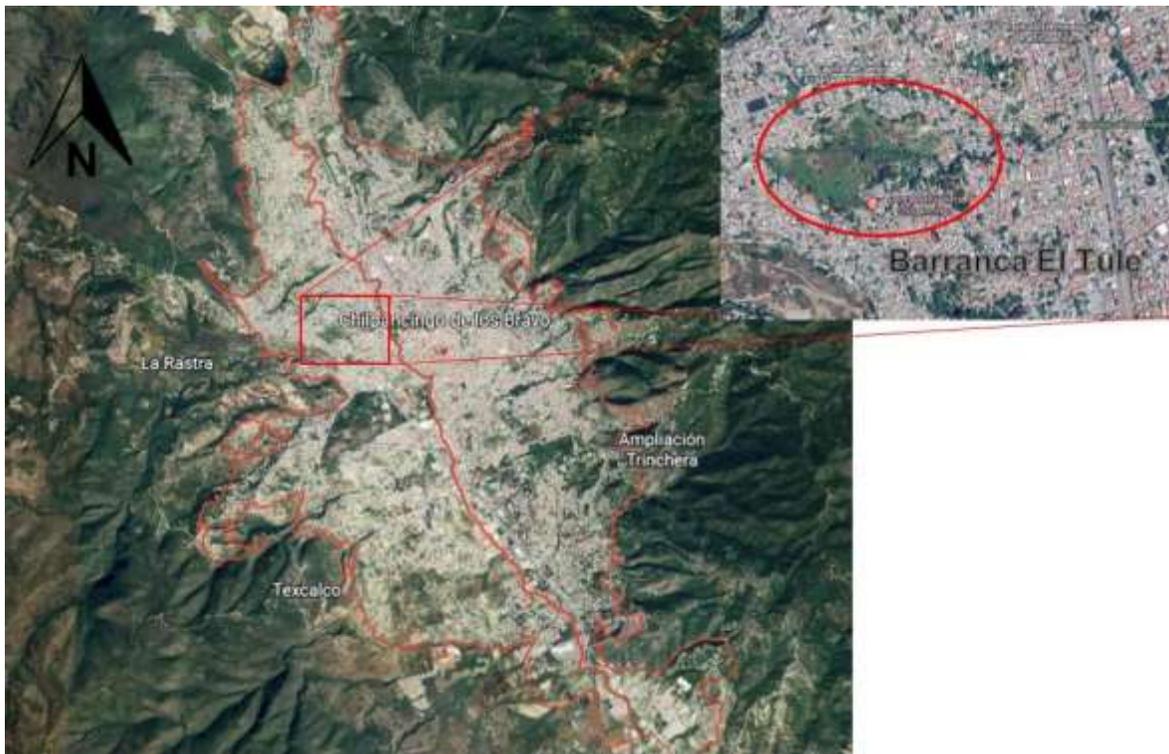


Figura 3.- Ubicación de la Barranca el Tule, al Nor-Poniente de Chilpancingo.



**Figura 4.- Barranca el Tule, ubicada al Nor-Poniente de Chilpancingo.**

La barranca tiene un alto índice de riesgo, pero justamente es en temporada de lluvia donde se vuelve aún más inestable, solo en los últimos años ha presentado mínimo un deslave por año a causa de lluvias, afectando así a las familias de las diferentes colonias que viven en la barranca y en su cercanía.

En 2017, el deslave de la barranca a causa de la lluvia dejó como saldo 30 casas colapsadas en la colonia El Mirador. Un par de años después, el Diario Réplica en 2019, publicó que las lluvias del mes de Julio causaron un deslave en la barranca el Tule, a la altura de la colonia Bella Vista, el derrumbe ocurrió en la calle Mártires de Chicago, afectando a dos viviendas.

Aún con los riesgos existentes los habitantes de las colonias vecinas siguen construyendo en los límites de la barranca, un ejemplo claro de esto es que en 2018 las personas que se vieron afectadas por una enorme grieta de siete kilómetros en la barranca que provocó grandes deslizamientos de suelo volvieron a construir en la misma, incluso algunas de esas casas se ubicaron en lo alto de una ladera. En las figuras 6<sup>a</sup> a la 6<sup>b</sup> se muestran evidencias de la barranca el Tule.



**Figura 6.- a. Construcciones ubicadas en taludes con alto riesgo de deslizamiento. b. Casas de láminas y madera, ubicadas en la ladera de la barranca. c. Deslizamiento en el talud. d. Deslizamiento en el cuerpo del talud, observando que en la cima del talud es una calle.**

## **2 CARACTERÍSTICAS GEOTÉCNICAS**

La barranca el Tule, está ubicada al Nor-Poniente de la ciudad, entre las colonias 1° de Mayo, Bella Vista, Ocozuapa, El Mirador y Omiltemi (Figura 3 y 4).

A diferencia de otros materiales utilizados en la construcción tales como el hormigón o el acero, el terreno natural se presenta como un medio discontinuo, heterogéneo, y sus variaciones pueden llegar a ser complejas (Lomoschitz Mora-Figueroa, 1994). Para poder determinar las propiedades geotécnicas de los materiales es importante conocer el tipo de rocas y/o suelos, así como su disposición espacial; esto permitirá predecir el comportamiento del terreno frente al proyecto que desee realizarse.

La caracterización geotécnica del terreno toma como base los dos siguientes puntos:

1. El suelo de cimentación es un medio natural heterogéneo y en ocasiones complejo.
2. Hoy en día, existen enfoques de investigación que permiten su adecuada caracterización; así como la predicción de su comportamiento a lo largo de la construcción de la obra y una vez finalizada, si se aplican de forma correcta los principios de la Mecánica de Suelos (Lomoschitz Mora-Figueroa, 1994).

## 2.1 Aspectos geológicos

La composición geológica de Guerrero es mayoritariamente sedimentaria (35.8%), seguida de metamórfica (28.6%), ígnea extrusiva (23.54%), ígnea intrusiva (8.02%) y el suelo con 4.02%, de la superficie estatal.

Geomorfológicamente la ciudad de Chilpancingo está situada en una cuenca endorreica con una orientación de Noreste a Sureste, conformada por una llanura aluvial con terrazas, la cual es drenada por el río Huacapa y cuyo cauce forma parte del sistema hídrico del río Papagayo, en la que se presenta un glacis de rocas volcánicas dacíticas – andesíticas, caliza, conglomeradas y margas, en ambos lados de la planicie (García Reyna, 2018).

La barranca El Tule se encuentra en la “zona D”, se considera como un terreno tipo I (el cual es considerado como suelo blando y está conformado por arcilla, tepetate o una combinación de los dos), y le corresponde un coeficiente sísmico de 0.50 para estructuras del grupo B en base con la regionalización sísmica de la república mexicana presentada por la CFE.

## 2.2 Exploración geotécnica

Con el objeto de conocer la estratigrafía del lugar, así como las propiedades geotécnicas, el laboratorio de Mecánica de Suelos y cimentación S. A. de C. V. realizó una campaña de exploración que consistió de 3 sondeos de tipo profundo en diferentes puntos de la barranca (Cuevas Ochoa, 2011), la ubicación de cada uno de los sondeos se muestra en la figura 9.

La metodología de penetración estándar, Standard Penetration Test, SPT por sus siglas en inglés, consiste en manejar la herramienta de muestreo denominada penetrómetro estándar, el cual cuenta con una longitud total de 60 cm, dicho muestreador está conformado por dos medias cañas, un cabezal y zapata de ataque. El penetrómetro estándar se hinca en el suelo a través de golpes de un martillo de 63.5 kg, desde una altura de 76 cm aproximadamente, llevando el conteo del número de golpes necesarios para hincar cada una de las cuatro secciones de 15 cm que componen toda la longitud del muestreador, especificado en la norma ASTM D1586-11.



Figura 9.- Ubicación de los 3 SPT.

**Tabla 2: Profundidad de exploración alcanzada por cada SPT.**

No. SPT	Profundidad de exploración alcanzada (m)
1	7.80
2	15.05
3	15

### 2.3 Pruebas de laboratorio

Se realizaron las siguientes pruebas de laboratorio en las muestras alteradas e inalteradas recogidas durante la campaña de exploración:

- **Clasificación visual y al tacto** de las muestras, se utiliza para evaluar las características físicas del suelo, incluyendo: color, textura, olor, movilidad del agua por agitación (Dilatancia), Tenacidad y Resistencia en estado seco, de acuerdo al SUCS (ASTM Estándar D-2487 y D-2488).
- **Contenido natural de agua** ( $\omega\%$ ), (ASTM Estándar D-2216).
- **Peso específico** de la masa del suelo ( $\rho$ ), por medio del principio de Arquímedes y mediante relaciones volumétricas.
- Características de plasticidad, **Límite Líquido y Límite Plástico**, la cual se pasamos el material a través de la malla No. 40, utilizando el método y dispositivos estandarizados por A. Casagrande (ASTM Estándar D-4318).
- Determinación de **la densidad de sólidos** ( $S_s$ ), obtenida a través de la prueba de laboratorio con los matraces calibrados, la cual es utilizada para establecer las relaciones del suelo.

### 2.4 Estratigrafía

Estos son los resultados obtenidos en los sondeos profundos de penetración estándar. En cada uno de ellos se mostrarán en profundidad las propiedades de los estratos encontrados.

**Tabla 3: Estratigrafía en el SPT-1 (Cuevas Ochoa, 2011).**

Profundidad (m)	Estrato
0.00 – 1.20	Material de relleno, con arena, grava y pedacería de concreto, color café y gris. <ul style="list-style-type: none"> <li>• SUCS = RELLENO.</li> <li>• <math>\omega = 13.74 - 14.89\%</math></li> <li>• <math>N(\text{campo}) = 10 - 12</math></li> </ul>
1.20 – 5.40	Arcilla con limo, arena y grava, café a varios tonos, presenta una sensación de espesor de firme a muy firme. <ul style="list-style-type: none"> <li>• SUCS = CL</li> <li>• <math>\omega = 13.15 - 23.01\%</math></li> <li>• <math>N(\text{campo}) = 12-32</math></li> </ul>
5.40 – 7.80	Arcilla con limo, arena y grava, color café claro, presenta una consistencia dura. <ul style="list-style-type: none"> <li>• SUCS = CL <math>\square</math> <math>\omega = 21.51 - 25.70\%</math></li> <li>• <math>N(\text{campo}) = 33 -50</math></li> </ul>

En la profundidad máxima explorada no se encontró el Nivel de Aguas Freáticas (N.A.F).

**Tabla 4: Estratigrafía en el SPT-2 (Cuevas Ochoa, 2011).**

Profundidad (m)	Estrato
0.00 – 0.20	Concreto

0.20 -1.40	<p>Material de relleno, color café claro.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• SUCS = RELLENO</li> <li>• <math>\omega = 7.31 - 25.41\%</math></li> <li>• <math>N(\text{campo}) = 17-32</math></li> </ul>
1.40 - 6.20	<p>Arcilla con grava y arena, color café oscuro, presenta una sensación de firmeza de muy firme a dura.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• SUCS = CL</li> <li>• <math>\omega = 11.55 - 31.16\%</math></li> <li>• <math>N(\text{campo}) = 14 - 39</math></li> </ul>
6.20 - 11.00	<p>Limo con arcilla y grava aisladas, color café claro, presenta consistencia dura.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• SUCS = ML</li> <li>• <math>\omega = 22.40 - 31.27\%</math></li> <li>• <math>N(\text{campo}) = 30 - \text{mayor de } 50</math></li> </ul>
11.00 - 15.05	<p>Arcilla con limo y gravillas, color café claro, presenta una consistencia dura.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• SUCS = CL</li> <li>• <math>\omega = 30.29 - 34.70\%</math></li> <li>• <math>N(\text{campo}) = 19 - \text{mayor de } 50</math></li> </ul>
En la profundidad máxima explorada no se encontró el Nivel de Aguas Freáticas (N.A.F).	

**Tabla 5.- Estratigrafía en el SPT-3 (Cuevas Ochoa, 2011).**

Profundidad (m)	Estrato
0.00 - 0.60	<p>Relleno: Limo arenoso con grava, color café claro.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• SUCS = RELLENO.</li> <li>• <math>\omega = 7.86\%</math></li> <li>• <math>N(\text{campo}) = 34</math></li> </ul>
0.60 - 4.20	<p>Limo con arena y gravillas aisladas, color café claro y amarillento, presenta una consistencia firme a muy firme.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• SUCS = ML.</li> <li>• <math>\omega = 16.20 - 36.80\%</math></li> <li>• <math>N(\text{campo}) = 10 - 43</math></li> </ul>
4.20 - 10.00	<p>Arcilla limosa, color café amarillento, presenta una consistencia muy firme a dura.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• SUCS = CL</li> <li>• <math>\omega = 16.36 - 27.89\%</math></li> <li>• <math>N(\text{campo}) = 22 - \text{mayor de } 50</math></li> </ul>
10.00 - 15.00	<p>Grava con arena, empacada en una matriz de arcilla y limo, color café varios tonos, presenta una compacidad relativa densa.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• SUCS = GC</li> <li>• <math>\omega = 8.47 - 21.11\%</math></li> <li>• <math>N(\text{campo}) = 36 - \text{mayor de } 50</math></li> </ul>

A la profundidad máxima explorada no se encontró el Nivel de Aguas Freáticas (N.A.F).

### 3 ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DEL TALUD

Se denomina talud a toda superficie inclinada de suelo o roca que forma un ángulo con la horizontal. Hay dos tipos de taludes; uno de ellos son los taludes construidos, que pueden ser terraplenes o desmontes artificiales realizados por el hombre o la erosión, y también están los taludes naturales, que son los que se producen de forma natural. (Gerscovich, 2013).

En el estudio de la estabilidad de los taludes se tienen en cuenta los fenómenos de estado último o colapso de las masas de suelo. La fuerza de una masa, el peso y los efectos de la infiltración son los componentes externos que causan inestabilidad; deben incluirse otros elementos como las sobrecargas (estáticas/dinámicas).

Las aplicaciones del estudio científico de los taludes de tierra y roca abarcan desde la geomorfología fundamental, hasta la previsión de la estabilidad de los taludes en ingeniería civil y la planificación de procedimientos correctivos cuando un deslizamiento ha destruido o amenaza vidas humanas, propiedades o medios de comunicación (Skempton, 1969). En ingeniería civil es habitual describir la estabilidad de los taludes en términos de un factor de seguridad (FS) obtenido a partir de un estudio matemático de estabilidad. El factor de seguridad se utiliza para conocer cuál es el factor de amenaza frente a un posible caso de falla del talud.

Al resultado de dividir la resistencia al corte del suelo, en una superficie de deslizamiento crítica, por la resistencia al corte necesario para mantener el equilibrio se le conoce como factor de seguridad. (Bishop , 1955).

Una de las responsabilidades del ingeniero que realizará el análisis de la estabilidad de un talud es determinar el factor de seguridad. El cual es definido como:

$$FS_s = \frac{\tau_f}{\tau_d}$$

Dónde: FSs = Factor de seguridad con respecto a la resistencia.

$\tau_f$  = Resistencia cortante del suelo.

$\tau_d$  = Esfuerzo cortante promedio desarrollado a lo largo de la superficie potencial de falla.

### 3.1 Métodos de análisis

Los análisis de estabilidad tienen por objeto determinar el nivel de seguridad de los taludes naturales y, en función de los resultados, poner en marcha las medidas correctas y estabilizadoras adecuadas para que no ocurran nuevos movimientos de masas.

La metodología del análisis de estabilidad se basa en un enfoque físico-matemático que implica fuerzas que operan sobre el talud y que determinan su comportamiento y condiciones de estabilidad. Esto incluye fuerzas estabilizadoras y desestabilizadoras. Se agrupan en dos: métodos determinísticos, en los que se ubican los métodos de equilibrio límite y los tenso-deformacionales; y los métodos probabilísticos.

Los métodos de equilibrio límite son los más utilizados, ya que comparan las fuerzas que tienden al movimiento con las fuerzas de resistencia que se oponen al movimiento sobre una superficie de fallo específica para estudiar el equilibrio de una masa potencialmente inestable. Se basan en la superficie de fallo teórica del talud; el criterio de fallo de Mohr-Coulomb y la obtención del factor de seguridad (Sanhueza Plaza & Rodríguez Cinfuentes, 2013).

En función de la exactitud de los resultados, los métodos de equilibrio límite se dividen en un conjunto de métodos exactos y no exactos. Las estimaciones realizadas para las rupturas de tipo plano y en cuña se incluyen en los procedimientos exactos. Por otro lado, los métodos no exactos incluyen a los que dividen la masa deslizante en partes más pequeñas para facilitar el análisis, y se conocen como el método de las dovelas y a los métodos de estabilidad global de masas de suelo estudian toda la masa deslizante en su conjunto.

Como se ha mencionado, la forma de la superficie de fallo, los parámetros y los procesos en el análisis son las principales diferencias de los diferentes métodos para el cálculo de la estabilidad de taludes. En la tabla 6 se muestran los métodos más utilizados en el análisis de la estabilidad de taludes.

**Tabla 6: Métodos de análisis en la estabilidad de taludes de suelos (Universidad de Costa Rica. Escuela de Ingeniería Civil. IC-809 Ingeniería Geotécnica).**

Método	Superficie de Falla	Equilibrio	Características
Talud infinito	Plana	Fuerzas	Supone una relación profundidad/longitud del talud extremadamente baja. Supone perfil de suelo de un solo estrato. El método es sencillo. La mayoría de taludes reales son imprecisos.

Planar	Plana	Fuerzas	Para casos puntuales de taludes con capas superficiales de suelo delgadas. Analiza propiedades geométricas básicas del talud. El método es sencillo.
Ordinario o de Fellenius (Fellenius, 1972)	Circulares	Fuerzas	No tiene en cuenta fuerzas entre dovelas. No cumple el equilibrio para dovelas individuales. Procedimiento sencillo. En taludes planos con alta presión de poros es impreciso. Niveles de factores deficientes.
Bishop simplificado (Bishop, 1955)	Circulares	Momentos	La fuerza al corte entre dovelas igual a cero. Solución estándar.
Janbú simplificado (Janbú, 1968)	Circulares	Fuerzas	La fuerza cortante entre dovelas igual a cero. Solución estándar. No cumple totalmente el equilibrio de momentos. Implica el factor de corrección $F_0$ para errores de equilibrio. No hay factores de seguridad.
(Spencer, 1967)	Cualquier geometría de falla	Momentos y fuerzas	Dirección de fuerzas laterales iguales en dovelas. Cumple equilibrio elástico al aplicar una fuerza entre dovelas con inclinación constante conocida.
(Lowe & Karafiath, 1960)	Cualquier geometría de ruptura	Fuerzas	Fuerzas cuya dirección es igual a la dirección promedio de la superficie del suelo y base de las dovelas No cumple el principio de equilibrio de momentos. Enfoque de equilibrio de fuerzas más eficaz.
Elementos finitos	Cualquier geometría de falla	Analiza esfuerzo y deformaciones	Cumple el equilibrio. Las tensiones y deformaciones se obtienen en todos los nodos. No hay factor de seguridad
Espiral Logarítmica.	Espiral de equilibrio.	Momento y fuerzas	Contiene diferentes métodos con múltiples condiciones Logarítmica.

## 3.2 Software SLIDE

En un inicio, el método de equilibrio límite fue bien aceptado, ya que podía aportar soluciones mediante forma manual. Sin embargo, las nuevas tecnologías han permitido simplificar los análisis y, en algunos casos, hacerlo más preciso, realizando más iteraciones o dividiendo la masa deslizante en partes más pequeñas (Sanhueza Plaza & Rodríguez Cinfuentes, 2013).

Slide es un software utilizado para el análisis de estabilidad de taludes. La aplicación en 2D cuenta con una interfaz gráfica basada en archivos CAD (diseño asistido del ordenador) con una gran variedad de modelos y opciones de interpretación de datos que permiten realizar un examen exhaustivo y rápido.

Slide emplea métodos de equilibrio límite con rodajas verticales para examinar la estabilidad de las superficies deslizantes. Analiza las superficies de deslizamientos individuales o utiliza las técnicas para encontrar y señalar la superficie de corte crítica para un talud dado.

### 3.2.1 Características

Utilizando el software Slide, se puede analizar la estabilidad de la falla circular y no circular en taludes de suelos y roca.

- Métodos de localización de zonas críticas en superficies de deslizamiento circular o no circular.
- Bishop, Janbu, Spencer, GLE/Morgenstern – Price y otros métodos de análisis.

- Diferentes materiales. Anisotrópicos, materiales no-lineales Mohr-coulomb y otros.
- Carga externa puede ser lineal, dispersa o sísmica.
- Soportes, geotextiles, pilotes. Análisis de fuerzas de apoyo requeridas.
- Vista de una o todas las superficies generadas por la búsqueda. Los resultados individuales de las superficies deslizantes pueden verse en detalle.

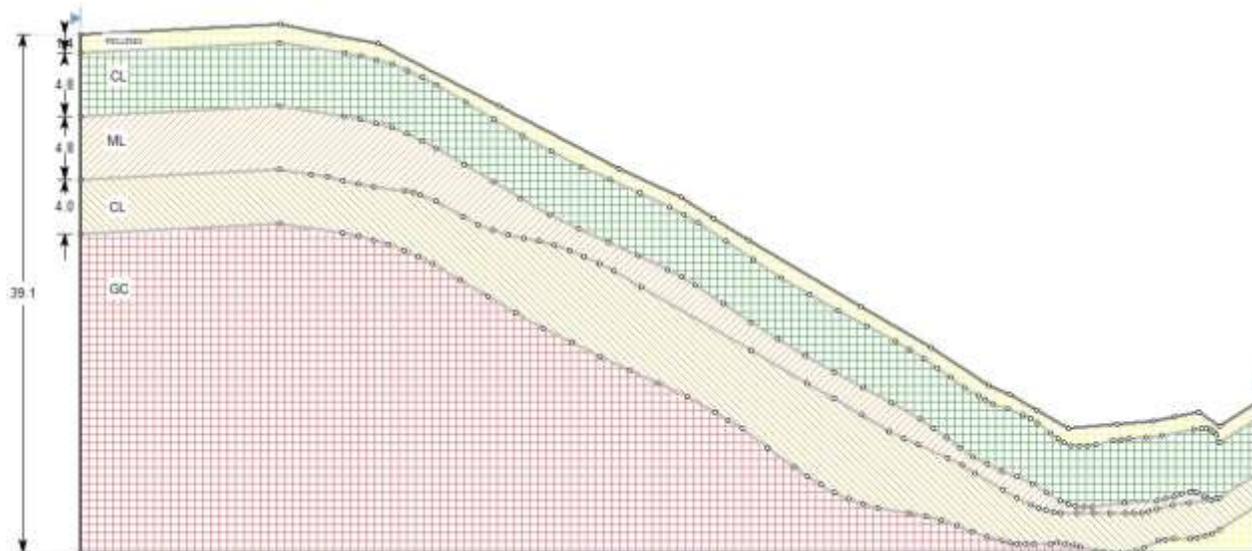
### 3.3 Análisis de estabilidad del talud

En la realización del análisis de estabilidad de talud es sumamente importante conocer la forma del mismo y las propiedades geotécnicas del suelo. A partir de la exploración geotécnica se observa que los suelos que predominan en el sitio son suelos finos, sin embargo, el estudio de mecánica de suelos no determinó las propiedades mecánicas y por ello se proponen las propiedades mostradas en la tabla 7 a partir de correlaciones empíricas.

**Tabla 7. Propiedades mecánicas por correlaciones empíricas.**

SUCS	N(campo)	Peso específico ( $\gamma$ ) ton/m <sup>3</sup>	Cohesión (c) ton/m <sup>2</sup>	Angulo de fricción ( $\phi$ ) (°)	Referencia
			SPT – 1		
CL	10 – 12	1.2	5.3	0	Braja Das (2001)
CL	33 – 35	1.2	21.5	0	Braja Das (2001)
			SPT – 2		
CL	14 – 39	1.2	5.3	0	Braja Das (2001)
ML	30 – mayor de 50	1.1	10.7	0	Casagrande (1948)
CL	19 – mayor de 50	1.2	10.7	0	Braja Das (2001)
			SPT – 3		
ML 10 – 43	1.1 5.3 0	Casagrande (1948)	CL 22 – mayor de 50	1.2 10.7 0	Braja Das (2001)
GC	36 – mayor de 50	1.6	0	32	Braja Das (2001)

Introduciendo la información de la tabla 7 y la obtenida del estudio de mecánica de suelos realizado en la barranca el Tule al software Slide v6.0, se obtiene el perfil de talud que se puede observar en la figura 10.



**Figura 10.- Talud del Tule en Slide, con nombre de estratos y altura.**

## RESULTADOS

Finalmente, haciendo el análisis de la estabilidad del talud en software Slide se obtiene un factor de seguridad de 0.908, por lo que se puede observar que es una ladera con riesgo de deslizamiento. Para el análisis se tomaron en cuenta a las metodologías de Janbu simplificado y Bishop simplificado.

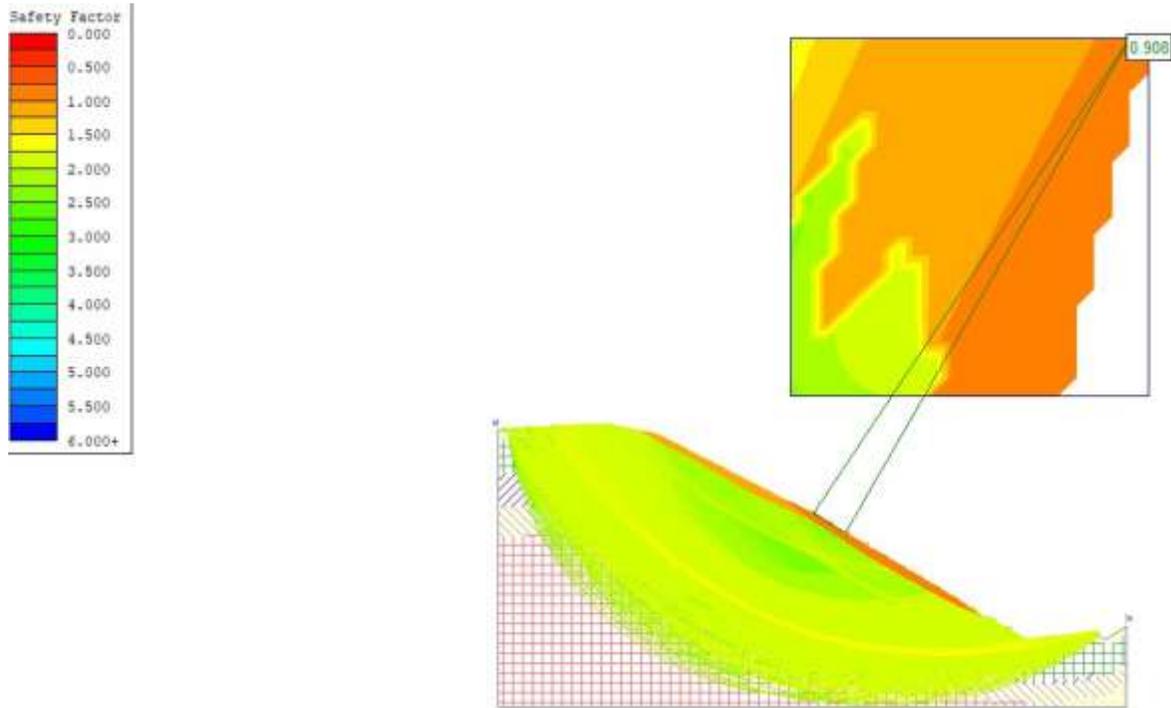


Figura 11.- Talud analizado en Slide, empleando los métodos Janbu y Bishop simplificados.

Observando la figura 11, se puede ver que el factor de seguridad mínimo encontrado es 0.908 lo que significa el riesgo de deslizamiento. Interpretando la figura, en el talud se puede observar un factor de seguridad de 1.6 o mayor. Una de las ventajas del software Slide es que permite agregar soportes al talud con el objetivo de observar el comportamiento del mismo, mostrado en la figura 12.

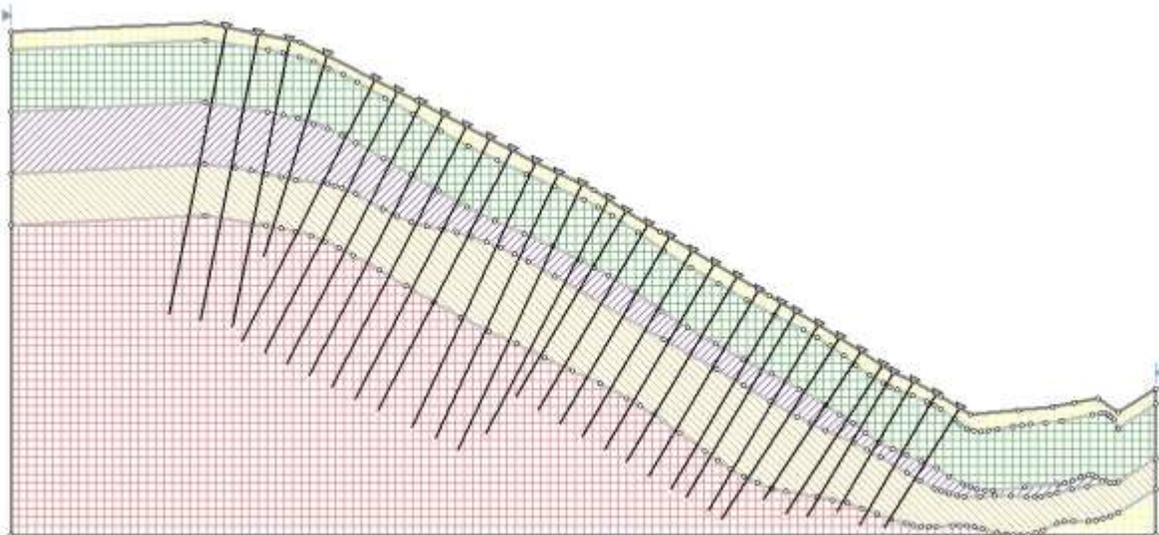


Figura 12.- Talud de la barranca el Tule con soportes.

Debido a esto, se propone reforzar el talud con soportes, esto con el fin de tener un factor de seguridad más alto que el dado por el primer análisis.

En este segundo análisis, el factor de seguridad aumentó a 0.974, además en la interpretación de la figura 13 puede observarse un factor de seguridad de 2.5, dando así mayor estabilidad a la barranca el Tule.

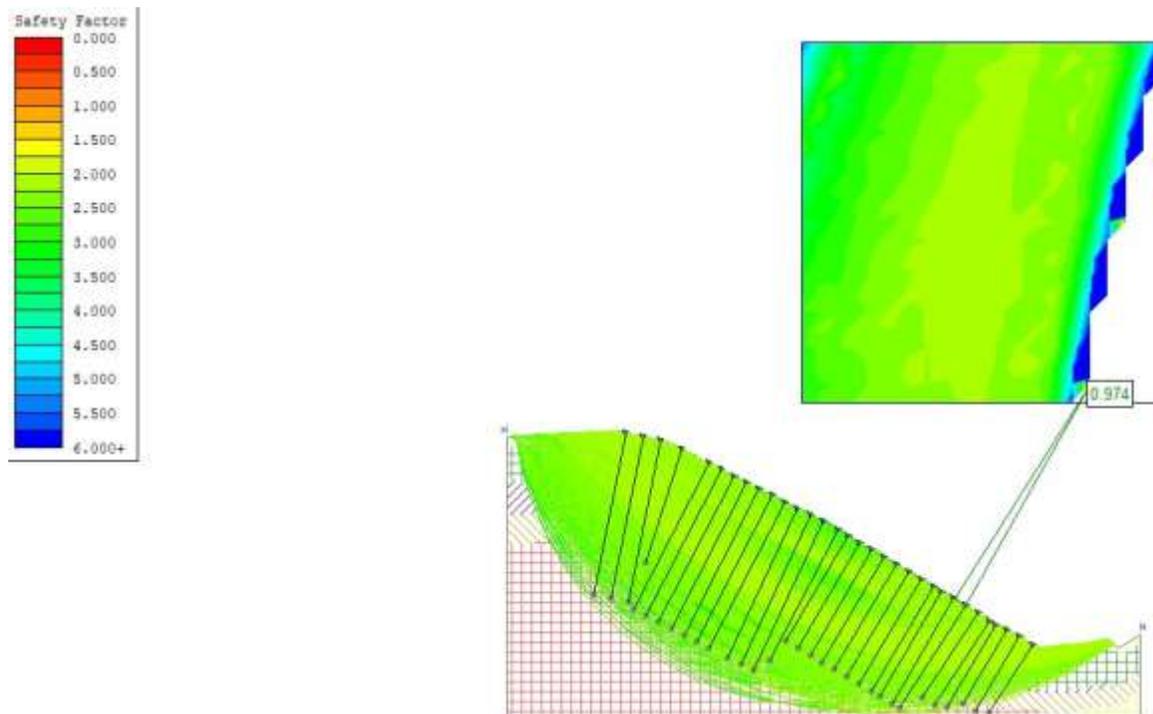


Figura 13.- Talud del Tule con soportes analizado en Slide, empleando los métodos de Janbu y Bishop simplificados.

## CONCLUSIONES

En base a los resultados del análisis de estabilidad del talud en la barranca el Tule, se puede asegurar que es una barranca con alto riesgo de deslizamiento, y es un peligro para los habitantes de las diferentes colonias que se ubican alrededor de la barranca. Al obtener un factor de seguridad de 0.908, siendo este menor a uno, se considera al talud como en un estado de falla incipiente, este factor de seguridad es el mínimo encontrado y es sobre éste que se deben trabajar las propuestas de sistemas de estabilización.

Derivado del análisis de la estabilidad en el talud de la barranca el Tule realizado en el software Slide y con las propiedades del suelo determinadas en la exploración geotécnica, se estableció una propuesta para solucionar la inestabilidad del talud, se colocaron unos soportes, lo cual lo permite realizar el mismo software, posterior a esto se ejecutó nuevamente el análisis y el factor de seguridad mínimo encontrado se incrementó a 0.974 en una pequeña parte del talud, pero en su mayoría, el soporte en el talud ayuda contra el deslizamiento del mismo, presentando factores de seguridad mayores a 1.5, el cual es considerado como factor de seguridad mínimo para que se considere que el talud es estable, esto de acuerdo a experiencias en la práctica, ya que en México aún no existe una normativa clara sobre el valor del factor de seguridad en un talud.

Es importante mencionar que los análisis presentados en este trabajo se realizaron sin tomar en cuenta la carga que representan varias casas-habitación construidas sobre el talud, lo cual incrementa el riesgo. Y, así mismo, las propiedades mecánicas de los suelos utilizadas en el análisis fueron a partir de correlaciones empíricas.

Por último, es importante mencionar que también debe realizarse un estudio sobre la mejor alternativa que disminuya el riesgo del talud, ya que la construcción de anclajes (soportes) podría ser la alternativa de mayor costo, por lo que se proponen también como alternativas de solución, retirar todo el material de relleno y realizar bermas a lo largo del talud.

## REFERENCIAS

- Barragán Trinidad , R., Cuevas Sandoval, A., Ortega Mendoza, R., Trujillo Martínez , G., Sánchez Tizapa, S., Sánchez Calvo , M., & Zúñiga Martínez , M. (2016). Evaluación de laderas potencialmente inestables debido a la remoción de masas en la ciudad de Chilpancingo Guerrero, México y propuestas de solución; casos: Barranca El Tule y Barranca Pezuapa. *Tlamati*, 7(3), 39-45.
- Bishop , A. (1955). The use of the slip circle in the stability analysis of slopes. *Geotechnique*.
- CFE. (2008). *Regionalización sísmica de la República Mexicana*. CFE.
- Cuevas Ochoa, H. (2011). *Estudio de mecánica de suelos para determinar las características estratigráficas y propiedades índice de los suelos, de las barrancas del Tule y Pezuapa, ubicadas al Nor-Poniente y Sur-Este de la ciudad de Chilpancingo Guerrero*. Estudio Mecánica de Suelos , Mecánica de suelos y cimentaciones S.A. de C.V.
- Fellenius, B. (1972). *Canadian geotechnical journal* (Vol. 9). The national research council of Canada.
- García Reyna, O. (2018). *Modelación del riesgo a deslizamientos de laderas inducidas por sismos en áreas vulnerables de la ciudad de Chilpancingo, Gro.* Tesis Doctoral, Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Chilpancingo.
- Gerscovich, D. (2013). Estabilidad de Taludes. Sao Paulo: Oficina de Textos.
- Grades, J., Contreras, I., & Grases, G. (1997). *Vulnerabilidad de los Sistemas de Agua Potable Frente a Deslizamientos*. Caracas: CEPIS.
- Janbú, N. (1968). *Slope stability computation* (Vol. I). Technical University of Norway, Trondheim.
- Lomoschitz Mora-Figueroa, A. (1994). Caracterización Geotécnica del Terreno, con ejemplos de Gran Canaria y Tenerife. Las Palmas de G.C.
- Lowe, J., & Karafiath, R. (1960). Stability of dam upon drawdown. *Journal of the Soils Mechanics and Foundations Division*, 93(4), 1-33.
- Muñiz Barrera, R., Zúñiga Martínez, M., Vázquez Jiménez, R., & Carranza Bello, J. (2020). Análisis de vulnerabilidad de deslizamientos de laderas en la ciudad de Chilpancingo, Gro. *Academia Journals 2020*, (págs. 375-385). Chetumal, Qro.
- Sanhueza Plaza, C., & Rodríguez Cinfuentes, L. (2013). Análisis comparativo de métodos de cálculo de estabilidad de taludes finitos aplicados a laderas naturales. *Revista de la Construcción*, 3, 26-70.
- Skempton, A. (1969). Stability of natural slopes and embankment foundations.
- Spencer, E. (1967). A method of Analysis of the stability of embankments, Assuming Parallel Interslice Forces. En *Géotechnique* (Vol. 17, págs. 11-26).