

## ÍNDICE GENERAL

|   |    |
|---|----|
| <b>CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN</b> .....  | 1  |
| 1.1 INTRODUCCIÓN .....  | 1  |
| 1.2. JUSTIFICACIÓN .....  | 3  |
| 1.3 DISEÑO TEÓRICO.....   | 3  |
| 1.3.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....  | 3  |
| 1.4. DISEÑO METODOLÓGICO.....   | 7  |
| 1.4.1. COMPONENTES .....  | 7  |
| 1.4.2 POBLACIÓN.....  | 7  |
| 1.4.3 MUESTRA.....  | 7  |
| 1.4.4 MUESTREO .....  | 7  |
| 1.4.5 MÉTODOS Y TÉCNICAS EMPLEADAS .....  | 8  |
| 1.4.6. METODOLOGÍA .....  | 10 |
| 1.4.7 TÉCNICAS DE MUESTREO .....  | 12 |
| 1.4.8. DESCRIPCIÓN DE EQUIPOS E INSTRUMENTOS .....                                | 12 |
| 1.4.9. PROCEDIMIENTO DE APLICACIÓN .....  | 14 |
| 1.5. PROCEDIMIENTO PARA EL ANÁLISIS Y LA INTERPRETACIÓN DE LA<br>INFORMACIÓN..... | 16 |
| 1.6. ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN .....  | 17 |
| <b>CAPÍTULO II: ESTADO DE CONOCIMIENTO SOBRE ESTABILIDAD DE<br/>TALUDES</b> ..... | 18 |
| 2.1. GENERALIDADES .....  | 18 |
| 2.2. COMPONENTES DE LOS TALUDES .....   | 18 |
| 2.3. TIPOS DE LOS TALUDES.....  | 20 |
| 2.3.1. TALUDES.....   | 20 |

|  |    |
|--|----|
| 2.3.2. ESTABILIZACIÓN .....  | 21 |
| 2.3.3. ESTRUCTURAS DE CONTENCIÓN .....                                 | 23 |
| 2.4. FACTORES QUE INTERVIENEN EN LA INESTABILIDAD DEL TERRENO<br>..... | 24 |
| 2.4.1. FACTORES CONSTANTES .....                                       | 25 |
| 2.4.2. FACTORES VARIABLES .....  | 28 |
| 2.5. MATERIALES QUE COMPONEN EL TALUD .....                            | 33 |
| 2.5.1. CARACTERÍSTICAS .....   | 33 |
| 2.5.2. CLASIFICACIÓN .....   | 34 |
| 2.6. EQUILIBRIO LÍMITE Y FACTOR DE SEGURIDAD .....                     | 34 |
| 2.7. FACTOR DE SEGURIDAD.....  | 37 |
| 2.7.1. MÉTODOS DE ANÁLISIS .....                                       | 39 |
| 2.7.2. MÉTODO ORDINARIO O DE FELLENIOUS Y JANBÚ .....                  | 43 |
| 2.8. ANÁLISIS DE RIESGO DE INESTABILIDAD EN TALUDES .....              | 48 |
| 2.8.1. RIESGO .....  | 51 |
| <b>CAPÍTULO III: RELEVAMIENTO DE INFORMACIÓN</b> .....                 | 60 |
| 3.1. UBICACIÓN.....  | 60 |
| 3.2. CARACTERÍSTICAS DE LOS COMPONENTES DEL TALUD.....                 | 62 |
| 3.2.1. DE MUESTREO.....  | 68 |
| 3.2.2. ENSAYOS DE LABORATORIO .....                                    | 70 |
| 3.2.3 GRANULOMETRÍA.....   | 71 |
| 3.2.4. LÍMITES .....   | 76 |
| 3.2.5. PERMEABILIDAD .....   | 80 |
| 3.2.6. PESO ESPECÍFICO RELATIVO.....                                   | 84 |
| 3.2.7 CORTE DIRECTO .....  | 88 |

|   |            |
|---|------------|
| 3.3. DETERMINACIÓN DEL FACTOR DE SEGURIDAD MÉTODO<br>ORDINARIO O DE FELLENIOUS..... | 98         |
| 3.3.1. SUELO SIN SATURAR METODO<br>JANBÚ.....                                       | 99         |
| 3.4. DETERMINACIÓN DE LOS RIESGOS EN LOS TALUDES DEL ÁREA DE<br>ESTUDIO.....        | 103        |
| 3.5. ANÁLISIS DE RESULTADOS .....   | 130        |
| 3.6. PLANTEAMIENTO DE ACCIONES.....   | 135        |
| <b>CAPÍTULO IV CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>                             | <b>138</b> |
| 4.1. CONCLUSIONES .....   | 138        |
| 4.2. RECOMENDACIONES .....  | 141        |

## **BIBLIOGRAFÍA**

## **ANEXOS**

ANEXO 1: CLASIFICACIÓN DE LOS SUELOS

ANEXO 2: DETERMINACIÓN DEL FACTOR DE SEGURIDAD MÉTODO  
ORDINARIO O DE FELLENIOUS

## **CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN**

### **1.1 INTRODUCCIÓN**

Este trabajo trata de dar respuestas y soluciones a problemas, tales como la estabilización, cortes y rellenos. No hay duda que el talud constituye una estructura compleja de analizar debido a que en su estudio coinciden los problemas de mecánica de suelos y de mecánica de rocas, sin olvidar el papel básico que la geología aplicada desempeña en la formulación de cualquier criterio. El deslizamiento de un talud puede ser a menudo catastrófico, con la pérdida de considerables bienes y muchas vidas, esto depende de los tipos de suelos existentes en el terreno, las condiciones hidrológicas, profundidad de excavación o altura de relleno, inclinación, peso de la estructura y muchos otros factores, que tomando en cuenta estos, podrían ser necesarias la colocación de algún tipo de sostenimiento.

Los muros de gravedad y contención han existido siempre y para construirlos se han tomado en cuenta importantes variables, como la conveniencia de su utilización, las condiciones originales del terreno, la ubicación del mismo, costo esfuerzo y tiempo.

El autor en este trabajo pretende el ahorro de dos elementos: tiempo y dinero, y ha llevado a la búsqueda de nuevos materiales de construcción que satisfagan las mencionadas expectativas. Precisamente, para alcanzar estos objetivos, se considera conveniente la utilización de geo sintéticos como muros de gravedad, tierra armada, anclajes, hormigón lanzado, estructuras de protección, aptos para cumplir la función que de ellos se espera para alcanzar la prolongada duración, para ser realizados en el menor tiempo posible y con una inversión más reducida.

El objetivo principal de un estudio de estabilidad de taludes o laderas es el de establecer medidas de prevención y control para reducir los niveles de amenaza y riesgo.

Generalmente, los beneficios más importantes desde el punto de vista de reducción de amenazas y riesgos es la prevención.

Este trabajo usa una gran variedad de conceptos que engloban la estabilidad de un talud, sus riesgos y soluciones. Los materiales y métodos de estabilización han despertado gran interés en la construcción actual porque además de las ventajas de orden económico y de tiempo, ofrecen maleabilidad, variedad de usos, aplicaciones y beneficios sociales.

## **1.2. JUSTIFICACIÓN**

En las zonas elegidas dentro de la mancha urbana de la ciudad se tiene problemas en torno a los deslizamientos de masas, especialmente en épocas de lluvia, las cuales ocasionan problemas e interrupciones en el tránsito vehicular, por lo que es necesario hacer un análisis para evitar que la calzada sufra daños.

Se analizarán las alternativas que se aplicaran a los taludes, para ello se darán a conocer conceptos y características necesarias para la ejecución de las metodologías, es importante contar con buenas carreteras que permitan el libre tránsito de una zona a otra, especialmente en la zona urbana de la ciudad de Tarija.

## **1.3 DISEÑO TEÓRICO**

### **1.3.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

#### **1.3.1.1. SITUACIÓN PROBLEMÁTICA**

En la ciudad de Tarija existen muchos taludes y laderas en distintos puntos que necesitan un control de estabilidad en los cuales algunos en su plataforma superior ya se construyeron estructuras como parques, casas, miradores, cementerios, edificios, etc., sin ningún estudio de suelos y estabilización previo que garantice la seguridad de construcción estando así expuestos a cualquier fenómeno natural como sismos, lluvias, cambios de temperatura, gravedad y los elementos biológicos, que a lo largo y ancho de la masa del talud es posible que se originen grietas y movimientos de asentamientos que pongan en riesgo y deterioro dichas laderas.

En épocas de lluvia dependiendo de cuan intensa sea, se observa varios lugares que en las calles o avenidas caen piedras, terrones, vegetación que obstaculiza el libre tránsito, peligrando de esta forma automóviles y personas que circulan en esos momentos sean afectados, es por esta razón que es necesario hacer una evaluación y control de estabilidad de taludes en riesgo utilizando las técnicas de contención más usuales para evitar pérdidas humanas y materiales en la ciudad de Tarija.

### **1.3.1.2. PROBLEMA**

¿Cómo se puede establecer cuáles son las mejores alternativas de control preventivo que permitan la seguridad en el sostenimiento y estabilidad de taludes urbanos en riesgo en la ciudad de Tarija?

### **1.3.1.3. OBJETIVOS**

#### **1.3.1.3.1. OBJETIVO GENERAL**

Evaluar los taludes en riesgo de inestabilidad, mediante la selección de técnicas óptimas apropiadas que permitan prevenir deslizamientos y derrumbamientos en la zona de estudio, de tal manera se garantice la seguridad y estabilidad de personas y vehículos que circulen cercanos a dichos taludes.

#### **1.3.1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Analizar los conocimientos que se tienen como alternativas de solución para problemas de inestabilidad de taludes.
- Ubicar e identificar taludes para aplicar el método y establecer los resultados de estabilidad y control.
- Hacer un estudio de suelos necesario para obtener información sobre los taludes.
- Desarrollar los cálculos necesarios para determinar la seguridad de los taludes en estudio.
- Evaluar las conclusiones y recomendaciones de la investigación realizada sobre el control de estabilidad de taludes en riesgo en nuestro medio.

#### **1.3.1.4. HIPÓTESIS**

Si evaluamos e identificamos los riesgos de estabilidad en los taludes de la zona de estudio aplicando una técnica apropiada entonces obtenemos la información necesaria para plantear acciones que nos permitan garantizar que los taludes sean más estables.

### **1.3.1.5. DEFINICIÓN DE VARIABLES INDEPENDIENTES Y DEPENDIENTES**

#### **Variable Independiente**

- Estabilidad de taludes.

#### **Variable Dependiente**

- Riesgo.



### 1.3.1.5.1 CONCEPTUALIZACIÓN Y OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

**Tabla 1.1** *Definición operacional*

| <b>DEFINICIÓN OPERACIONAL</b>                               |  |  |   |                        |
|---|--|--|---|------------------------|
| <b>Variable</b>   | <b>Conceptualización</b>   | <b>Dimensión</b>   | <b>Indicador</b>  | <b>Valor o Acción</b>  |
| <b>Variable dependiente</b><br>riesgo                       | Posibilidad de que se produzca un contratiempo o una desgracia, de que alguien o algo sufra perjuicio o daño | definición del alcance<br>identificación de la amenaza<br>estimación de riesgo | análisis de frecuencia<br>análisis de consecuencia<br>Su integración. | medición y ensayos     |
| <b>Variable independiente</b><br>estabilidad de los taludes | Posición estable de la masa del suelo o roca en una inclinación dada   | según el método estabilidad  | estable o inestable   | calculo de estabilidad |

**Fuente:** *Elaboración Propia*

## 1.4. DISEÑO METODOLÓGICO

### 1.4.1. COMPONENTES

#### 1.4.1.1. UNIDADES DE ESTUDIO Y DECISIÓN MUESTRAL

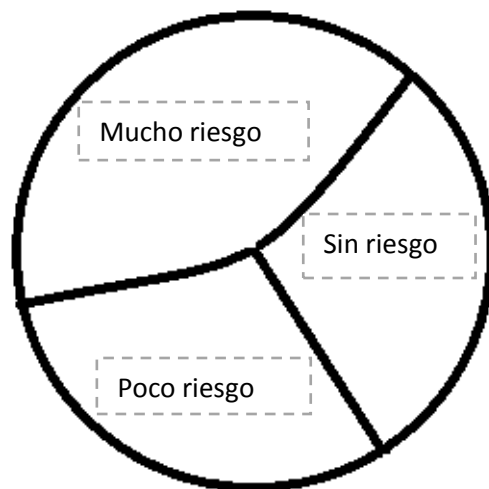
#### 1.4.1.2. UNIDAD DE ESTUDIO

Estabilidad de taludes en vías urbanas.

### 1.4.2 POBLACIÓN

Taludes de las vías que tengan riesgo de inestabilidad.

**Figura 1 Población**



### 1.4.3 MUESTRA

Mucho riesgo

### 1.4.4 MUESTREO

- Se realizara una clasificación de las características del tipo de suelo, realizare ensayos de granulometría, juego de tamices, limite líquido y plástico.
- Como ensayos sacare segmentos del talud de la base, del cuerpo y de la cabecera de los 5 taludes a analizar.
- Se realizara ensayos de permeabilidad y corte directo para determinar el riesgo.

## 1.4.5 MÉTODOS Y TÉCNICAS EMPLEADAS

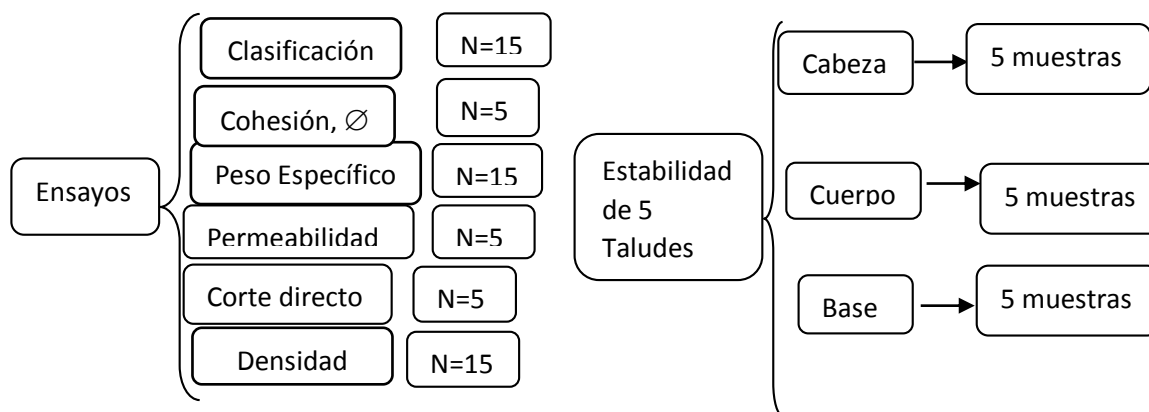
### 1.4.5.1 SELECCIÓN DE MÉTODOS Y TÉCNICAS

#### 1.4.5.1.1 MÉTODO

Para mi proyecto el método que usare es el método inductivo, sin dudas, es uno de los métodos más populares a la hora de la investigación científica y del pensamiento, en tanto, su característica más saliente y distintiva es que llega a la obtención de conclusiones o teorías sobre diversos aspectos a través del análisis de casos particulares, Esto supone que, tras una primera etapa de observación, análisis y clasificación de los hechos, se logra postular una hipótesis que brinda una solución al problema planteado. Una forma de llevar a cabo el método inductivo es proponer, mediante diversas observaciones de los sucesos u objetos en estado natural, una conclusión que resulte general para todos los eventos de la misma clase.

#### 1.4.5.2. TÉCNICA

La técnica es experimental es un tipo de método de investigación en el que el investigador controla deliberadamente las variables para delimitar relaciones entre ellas, está basado en la metodología científica. En este método se recopilan datos para comparar las mediciones de comportamiento, con las mediciones de un grupo experimental. Las variables que se utilizan pueden ser variables dependientes (las que queremos medir o el objeto de estudio del investigador) y las variables independientes (las que el investigador manipula para ver la relación con la dependiente).



Según el esquema anterior se prevé sacar 3 muestras de cada talud, de cabeza, cuerpo y de base. Así también se denota que se harán 3 ensayos de clasificación de cada talud en total 15, para determinar el tipo de suelo, 3 ensayos de límites de Atterberg-Plasticidad de cada talud en total 15, un ensayo de cohesión y ángulo de fricción  $\phi$  con dos pesos distintos a cada talud, 3 de peso específico para cada talud en total 15, de permeabilidad se harán ensayos de cada talud y de densidad se harán 3 ensayos de cabeza, medio y pie de cada talud, en total 15 ensayos.

#### **1.4.6. METODOLOGÍA**

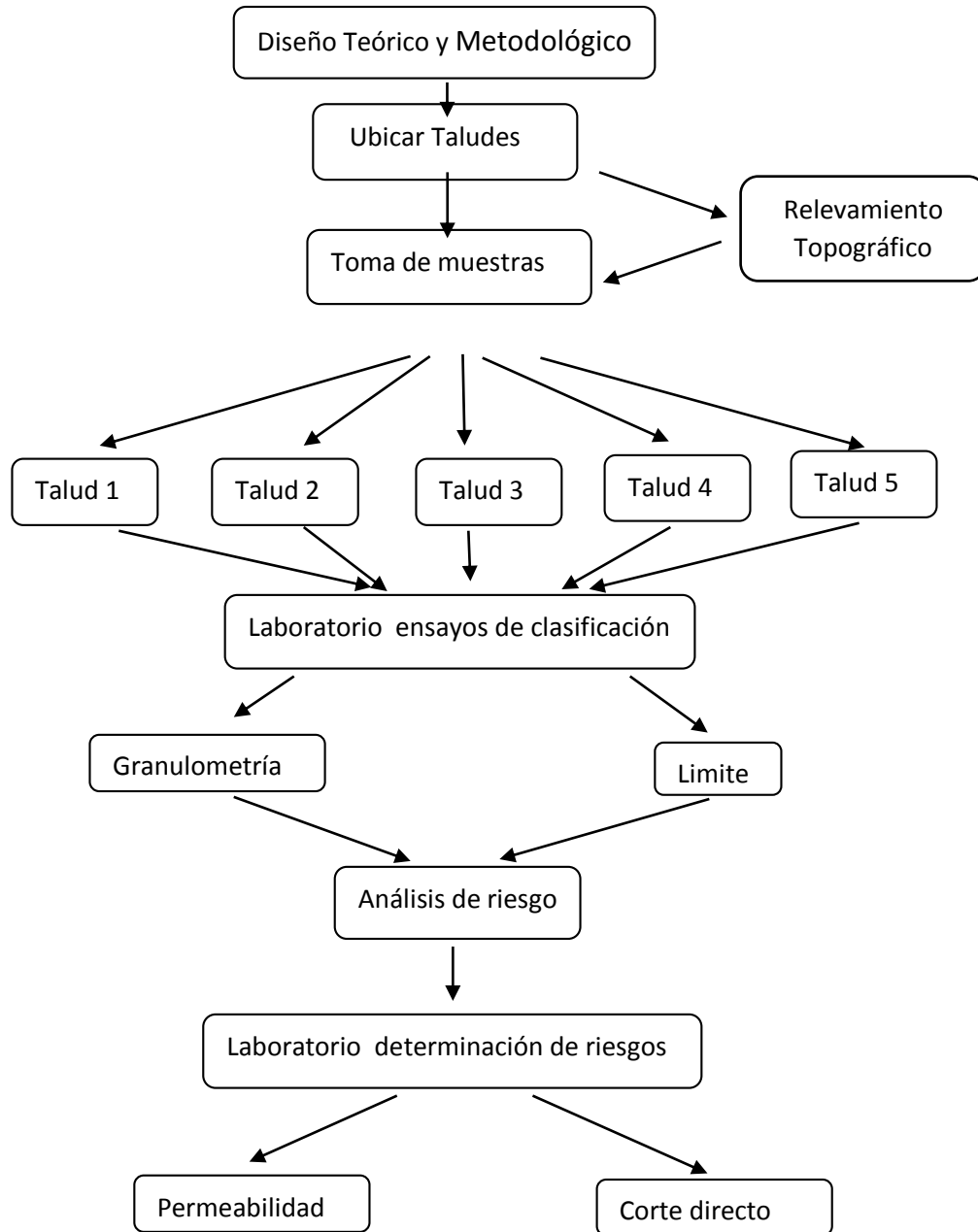
Para el presente proyecto de investigación se llevara a cabo tanto ensayos como mediciones y trabajo en gabinete, que se detallará a continuación:

Primeramente se llevará a cabo la selección del material que se necesitara para la elaboración de los ensayos, se sacaran muestras de la cabeza, medio y pie de cada talud, posteriormente se deberá realizar la granulometría de suelos de estos materiales.

También se realizara los ensayos de límites de Atterberg - Plasticidad, clasificación de suelos, peso específico, densidad in situ de cada parte de los taludes.

Concluida la caracterización se determinaran los tipos de suelos que tiene cada talud y se realizara el ensayo de corte directo y permeabilidad para determinar los datos necesarios para sacar los factores de seguridad de cada talud en estudio y así obtener de forma más precisa la estabilidad o no de estos taludes.

Realizados todos los ensayos se deberá realizar el trabajo en gabinete donde se analizara los resultados y llegar a conclusiones y recomendaciones del trabajo de investigación.

**Esquema 1.1 Esquema lógico estructural**

## **1.4.7 TÉCNICAS DE MUESTREO**

### **1.4.7.1. NO PROBABILÍSTICAS**

El muestreo es no probabilístico se aplica porque es una población pequeña de taludes a estudiar ubicados los taludes en la subida al hotel los Parrales que corresponde a una zona urbana.

## **1.4.8. DESCRIPCIÓN DE EQUIPOS E INSTRUMENTOS**

### **Para la caracterización de los agregados**

Para la clasificación del suelo:

- a. Horno Eléctrico.-El horno eléctrico es utilizado para el secado de los agregados de aportación, y debe contar con una temperatura constante de 100 a 110 °C.
- b. Balanza.- La balanza es usada para obtener los distintos pesos que se requiera, con una sensibilidad de 0.1 gr.
- c. Juego de Tamices.- El juego de tamices debe seguir la norma ASTM E-11, lo cual contiene los tamices 3", 2 1/2", 2", 1 1/2", 1", 3/4", 1/2", 3/8", No. 4, No. 10, No. 40, No. 200, tapa y fondo.
- d. Límite Líquido.- Esta propiedad se mide en laboratorio mediante una mezcla de suelo y agua, capaz de ser moldeada, se deposita en la Cuchara de Casagrande o Copa de Casagrande, y se golpea consecutivamente contra la base de la máquina, haciendo girar la manivela, hasta que el surco que previamente se ha recortado, se cierre en una longitud de 12.7 mm (1/2"). Si el número de golpes para que se cierre el surco es 25, la humedad del suelo (razón peso de agua/peso de suelo seco) corresponde al límite líquido.
- e. Recipientes. Para las muestras de contenido de humedad.
- f. recipiente para hacer el ensayo de límite líquido con herramienta para hacer ranura.
- g. placa de vidrio (cerámica) para realizar la prueba de límite plástico

### **Determinación del Peso específico**

Es la relación, a una temperatura estable, de la masa en el aire de un volumen unitario de material, a la masa del mismo volumen de agua a temperaturas indicadas.

Materiales y equipos:

Balanza, hornilla, frasco volumétrico con marca de enrase, termómetro con aproximación de 0,01° C, pipeta, accesorios de baño maría.

### **Para el permeámetro**

El permeámetro es un aparato que sirve para medir la permeabilidad de los materiales ante el paso de fluidos a través de ellos. Es un método directo de medir el coeficiente de permeabilidad, el dispositivo se trata de un cilindro donde se coloca la muestra con el estado de compactación programado, el agua se hace pasar a través de la muestra con la diferencia de niveles,  $h$ , a la entrada y a la salida hasta que el gasto permanece constante, mediante la probeta graduada y un cronómetro se mide el volumen de agua, que atraviesa el suelo en un tiempo obteniendo así el gasto.

### **Para el ensayo de corte directo**

La finalidad de los ensayos de corte, es determinar la resistencia de una muestra de suelo, sometida a fatigas y / o de formaciones que simulen las que existe no existirán en terreno producto de la aplicación de una carga.

Para conocer una de estas resistencias en laboratorio se usa el aparato de corte directo, siendo el más típico una caja de sección cuadrada o circular dividida horizontalmente en dos mitades. Dentro de ella se coloca la muestra de suelo con piedras porosas en ambos extremos, se aplica una carga vertical de confinamiento y luego una carga horizontal creciente que origina el desplazamiento de la mitad móvil de la caja originando el corte de la muestra.



### 1.4.9. PROCEDIMIENTO DE APLICACIÓN

#### a. Extracción de la muestra del talud

Se procede a visitar el lugar para realizar una previa inspección y ubicar los puntos de donde se obtendrán las muestras, una vez determinado el punto exacto se procede a extraer las muestras, las mismas serán llevadas al laboratorio de suelos y hormigón de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho.

#### b. Caracterización de los agregados

Para caracterizar los agregados, se deben someter al horno el secado y luego someterlo a la serie de tamices, con trillado constante en el RopTap por unos quince minutos aproximadamente, luego de este tiempo proceder al pesaje del material que contiene cada tamiz, con estos valores obtener las curvas granulométricas, analizar las curvas granulométricas y compensar los porcentajes, de tal manera que se obtenga una nueva curva granulométrica dependiendo del tipo de suelo.

#### c. Ensayo de cohesión

La cohesión del terreno es la cualidad por la cual las partículas del terreno se mantienen unidas en virtud de fuerzas internas, que dependen, entre otras cosas, del número de puntos de contacto que cada partícula tiene con sus vecinas. En consecuencia, la cohesión es mayor cuanto más finas son las partículas del terreno.

#### d. Ensayo de peso específico

El peso específico relativo de los sólidos de un suelo se determina en laboratorio haciendo uso de un frasco con marca de enrase. El peso específico se determina mediante la siguiente formula:

$$\gamma = \frac{W_s}{W_{fw} + W_s - W_{fsw}}$$

$\gamma$  = Peso específico relativo de un suelo

$W_s$  = Peso del suelo seco

$W_{fs}$  = Peso del frasco lleno de agua

$W_{fsw}$  = Peso del frasco con suelo y agua

**e. Ensayos de permeámetro carga constante**

Para el ensayo del permeámetro de carga constante se deben usar las muestras del talud obtenidas y medir el coeficiente de permeabilidad, esto se determina saturando el frasco de suelo y luego midiendo hasta donde baja el agua mediante una manguera de agua, se hará 3 ensayos de cada talud.

**f. Ensayos de corte directo**

Se obtiene una muestra cuadrada de acuerdo al tamaño necesario para la caja de corte. Se ensambla la caja de corte, se obtiene la sección (A) de la muestra y se coloca la arena en la caja junto al pistón de carga y la piedra porosa. Se aplica la carga vertical ( $P_v$ ) y se coloca el dial para determinar el desplazamiento vertical. En ensayos consolidados se comienza cuando el asentamiento se ha detenido, en suelos no cohesivos esto puede hacerse a partir de la aplicación de  $P_v$ . Se separa la caja de corte, se fija el bloque de carga y se ajusta el deformímetro para medir el desplazamiento cortante, luego se comienza a aplicar una carga horizontal midiendo desde los deformímetros de carga, de cambio de volumen y de desplazamiento cortante. Si el ensayo es del tipo deformación controlada se toman las lecturas a desplazamientos horizontales de 5, 10 y cada 10 o 20 unidades. La tasa de deformación unitaria debe ser del orden de 0,5 a no más de 2 mm/min. Y deberá ser tal que la muestra falle entre 3 y 5 minutos. Se repite el procedimiento por lo menos en 2 muestras utilizando un valor distinto de carga vertical.

### 1.4.9.1. PREPARACIÓN PREVIA

Dentro de la preparación previa a los ensayos, es necesario contar con tablas que permitan la tabulación de datos, donde especifique el lugar de obtención, el tipo de muestra, el ensayo a realizar, la numeración respectiva y los datos que se van a necesitar para cada tipo de ensayo.

Junto con lo anterior debe ir un cronograma de actividades para que permita el fácil desarrollo de las actividades o acciones a realizar.

### 1.5. PROCEDIMIENTO PARA EL ANÁLISIS Y LA INTERPRETACIÓN DE LA INFORMACIÓN

Una vez obtenidos los resultados de la caracterización y de las pruebas de riesgo, se procede al tabulado y si es necesario corregir los resultados obtenidos de cada ensayado.

Con los ensayos de caracterización determinamos el cumplimiento de requisitos mínimos según las normas de clasificación de suelos SUCS y clasificación AASHTO.

El análisis estadístico se realizara según el procesamiento de la información obtenida para determinar parámetros estadísticos se utilizarán las siguientes ecuaciones:

#### Media Aritmética

La media aritmética es el valor obtenido al sumar todos los datos y dividir el resultado entre el número total de datos

$$\bar{X} = \frac{X_1 + X_2 + X_3 + \dots + X_n}{N}$$

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{N}$$

## **1.6. ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN**

El presente trabajo tiene el objeto de destacar algunos de los sistemas constructivos actuales, más usuales, de contención y estabilización de taludes y laderas que han perdido su equilibrio por alguna acción natural (nivel freático, sismos, etc.) o provocados externamente (excavaciones, construcciones, etc.).

En resumen el alcance que tendrá este trabajo es la evaluación y control de taludes en riesgo de inestabilidad en la ciudad de Tarija más propiamente en los cinco lugares determinados para el estudio, los cuales detallo a continuación:

Talud 1.- Gallinaso subida a San Jacinto

Talud 2.- Subida al hotel los parrales

Talud 3.- Barrio Carlos Warner

Talud 4.- Av. Integración

Talud 5.- Barrio San Antonio

En el primer capítulo Introducción, se describe de manera general de que trata y que contiene la investigación.

El segundo capítulo Estado de conocimiento sobre estabilidad de taludes, comprende la parte teórica, para controlar el riesgo de inestabilidad de taludes y los factores que intervienen.

El tercer capítulo Relevamiento de la información, se describe los medios para obtener los datos que luego son procesados y estudiados para obtener un análisis. Aplicación práctica, comprende forma de determinación de riesgo en los taludes, también se hace un análisis de resultados.

El cuarto capítulo Conclusiones y recomendaciones, se verifica si se cumplió o no con los objetivos planteados en el presente perfil, y las recomendaciones para la correcta ejecución de este trabajo.

## **CAPÍTULO II: ESTADO DE CONOCIMIENTO SOBRE ESTABILIDAD DE TALUDES**

### **2.1. GENERALIDADES**

Un talud es cualquier superficie inclinada con respecto a la horizontal adoptando esa posición de forma temporal o permanente y con estructura de suelo o de roca.

Los deslizamientos son uno de los procesos geológicos más destructivos que afectan a los humanos, causando miles de muertes y daño en las propiedades por valor de decenas de billones de dólares cada año en diferentes países; sin embargo, muy pocas personas son conscientes de su importancia. El 90% de las pérdidas por deslizamientos son evitables si el problema se identifica con anterioridad y se toman medidas de prevención o control.

Las zonas montañosas tropicales son muy susceptibles a sufrir problemas de deslizamientos de tierra debido a que generalmente, se reúnen cuatro de los elementos más importantes para su ocurrencia tales como son la topografía, sismicidad, meteorización y lluvias intensas.

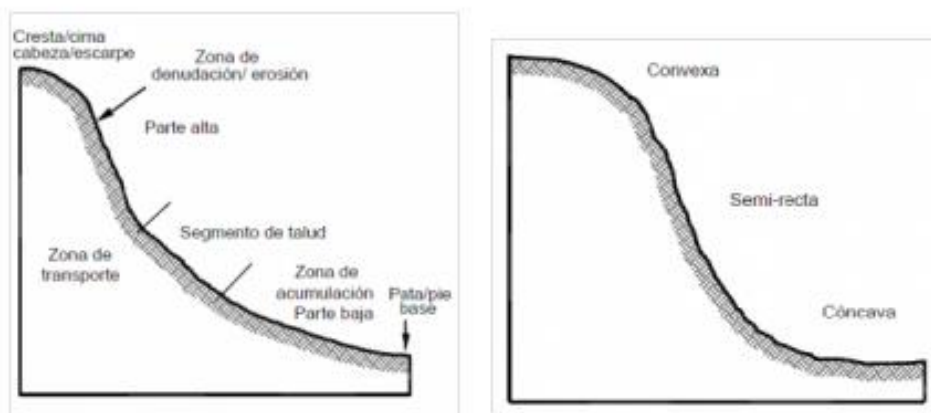
### **2.2. COMPONENTES DE LOS TALUDES**

- Naturales: son formados por la naturaleza a través de la historia geológica
- Artificiales: necesitan de la intervención del hombre y son ejecutados para construir: carreteras, represas ferrocarriles, etc. “taludes, cortes, terraplenes.

### Partes de un Talud.

Existen algunos términos para definir las partes de un talud. El talud comprende una parte alta o superior convexa con una cabeza, cima, cresta o escarpe, donde se presentan procesos de denudación o erosión; una parte intermedia semi-recta y una parte baja o inferior cóncava con un pie, pata o base, en la cual ocurren principalmente procesos de depositación (Figura 2.1).

**Figura 2.1** Partes generales de un talud o ladera



**Fuente:** GERMÁN CUJAR CHAMORRO. *Estabilidad de taludes*. Colombia: Popayán Colombia, universidad del cauca; diciembre 1992. (385 pág.)

En un talud o ladera se definen los siguientes elementos constitutivos:

- Pie, pata o base. El pie corresponde al sitio de cambio brusco de la pendiente en la parte inferior del talud o ladera. La forma del pie de una ladera es generalmente cóncava.
- Cabeza, cresta, cima o escarpe. Cabeza se refiere al sitio de cambio brusco de la pendiente en la parte superior del talud o ladera. Cuando la pendiente de este punto hacia abajo es semi- vertical o de alta pendiente, se le denomina Escarpe.

Los escarpes pueden coincidir con coronas de deslizamientos. La forma de la cabeza generalmente es convexa.

- **Altura.** Es la distancia vertical entre el pie y la cabeza, la cual se presenta claramente definida en taludes artificiales, pero es complicada de cuantificar en las laderas debido a que el pie y la cabeza generalmente no son accidentes topográficos bien marcados.
- **Altura de nivel freático.** Es la distancia vertical desde el pie del talud o ladera hasta el nivel de agua (la presión en el agua es igual a la presión atmosférica). La altura del nivel freático se acostumbra medirla debajo de la cabeza del talud.
- **Pendiente.** Es la medida de la inclinación de la superficie del talud o ladera. Puede medirse en grados, en porcentaje o en relación m:1, en la cual m es la distancia horizontal que corresponde a una unidad de distancia vertical. Ejemplo:  $45^\circ = 100\% = 1H:1V$ . Los suelos o rocas más resistentes generalmente forman laderas de mayor pendiente y los materiales de baja resistencia o blandos, tienden a formar laderas de baja pendiente.

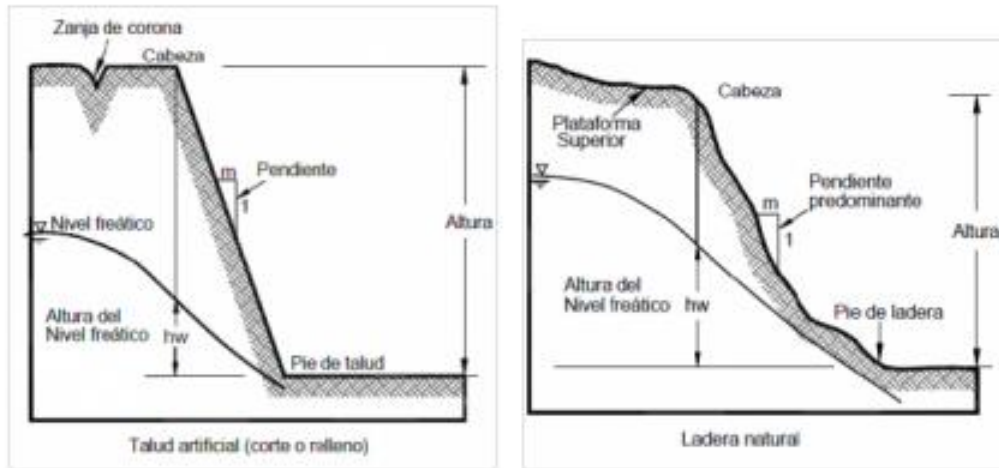
## **2.3. TIPOS DE LOS TALUDES**

### **2.3.1. TALUDES**

Un Talud o ladera es una masa de tierra que no es plana sino que presenta una pendiente o cambios significativos de altura. En la literatura técnica se define como Ladera cuando su conformación actual tuvo como origen un proceso natural y Talud cuando se conformó artificialmente (Figura 2.2). Los taludes se pueden agrupar en tres categorías generales: los terraplenes, los cortes de laderas naturales y los muros de contención. Se pueden presentar combinaciones de los diversos tipos de taludes y laderas. Las laderas o taludes que han permanecido estables por muchos años, pueden fallar debido a cambios topográficos, sísmicos, a los flujos de agua subterránea, a los cambios en la resistencia del suelo, la meteorización o a factores de tipo antrópico o

natural que modifiquen su estado natural de estabilidad. Un talud estable puede convertirse en un Deslizamiento.

**Figura 2.2 Nomenclatura de taludes y laderas**



**Fuente:** GERMÁN CUJAR CHAMORRO. *Estabilidad de taludes*. Colombia: Popayán Colombia, universidad del cauca; diciembre 1992. (Cap. 1. 2 pág.)

### 2.3.2. ESTABILIZACIÓN

Se entiende por estabilidad a la seguridad de una masa de tierra contra la falla o movimiento. Es necesario definir criterios de estabilidad de taludes, como cual sera la inclinacion apropiada en un corte o en un terraplen; casi siempre la mas apropiada sera la mas escarpada que se sostenga el tiempo necesario sin caerse. Este es el centro del problema y la razón de estudio.

A diferentes inclinaciones del talud corresponden diferentes masas de material terreo por mover y por lo tanto diferentes costos. Podria imaginarse un caso en que por alguna razón el talud mas conveniente fuese muy tendido y en tal caso no habria motivos para pensar en problemas de estabilidad de taludes, pero lo normal es que cualquier talud funcione satisfactoriamente desde todos los puntos de vista excepto el economico, de



manera que las consideraciones de costo presiden la selección del idoneo, que resultara ser aquel al que corresponda la mínima masa de tierra movida, o lo que es lo mismo el talud mas empinado.

Los problemas relacionados con la estabilidad de laderas naturales difieren radicalmente de los que se presentan en taludes construidos por el ingeniero. Dentro de estos deben verse como esencialmente distintos los problemas de los cortes de laderas y los de los terraplenes. Las diferencias importantes radican, en primer lugar, en la naturaleza de los materiales involucrados y, en segundo, en todo un conjunto de circunstancias que dependen de cómo se formo el talud y de su historia geologica, de las condiciones climaticas que primaron a lo largo de tal historia y de la influencia del hombre que ejerce en la actualidad o haya ejercido en el pasado. Esta historia y genesis de la formacion de laderas y taludes, la historia de esfuerzos a que estuvieron sometidos y la influencia de condiciones climaticas o, en general, ambientes, definen aspectos tan importantes como configuracion de los suelos y las rocas, o el flujo de las aguas subterranas a traves de los suelos que forman la ladera o el talud, el cual influye decisivamente en sus condiciones de estabilidad.

La estabilización de un talud comprende los siguientes factores:

1. Determinar el sistema o combinación de sistemas de estabilización más apropiados, teniendo en cuenta todas las circunstancias del talud estudiado.
2. Diseñar en detalle el sistema a emplear, incluyendo planos y especificaciones de diseño.
3. Instrumentación y control durante y después de la estabilización.

### 2.3.3. ESTRUCTURAS DE CONTENCIÓN

Métodos en los cuales se van a colocar fuerzas externas al movimiento aumentando las fuerzas resistentes, sin disminuir las actuantes.

Las estructuras de contención son obras generalmente masivas, en las cuales el peso de la estructura es un factor importante y es común colocar estructuras ancladas en las cuales la fuerza se transmite al deslizamiento por medio de un cable o varilla de acero.

Cada tipo de estructura tiene un sistema diferente de trabajo y se deben diseñar de acuerdo a su comportamiento particular.

Métodos de estructuras de contención

- Relleno o berma de roca o suelo en la base del deslizamiento

Ventajas: Efectivos en deslizamientos no muy grandes especialmente en los rotacionales actuando como contrapeso.

Desventajas: Se requiere una cimentación competente para colocar el relleno.

- Muros de contención convencionales, de tierra armada etc.

Ventajas: Útiles para estabilizar masas relativamente pequeñas.

Desventajas: Se requiere una buena calidad de cimentación. Son poco efectivos en taludes de gran altura.

- Pilotes

Ventajas: Se requiere una buena calidad de cimentación. Son poco efectivos en taludes de gran altura.

Desventajas: No son efectivos en deslizamientos profundos o cuando aparece roca o suelo muy duro debajo de la superficie de falla. Pocos efectivos en deslizamientos rotacionales.

- Anclajes o pernos

Ventajas: Efectivos en roca, especialmente cuando es estratificada.

Desventajas: se requieren equipos especiales y son usualmente costosos.

- Pantallas ancladas

Ventajas: útiles como estructuras de contención de masas de tamaño pequeño o mediano.

Desventajas: Existen algunas incertidumbres sobre su efectividad en algunos casos, especialmente, cuando hay aguas subterráneas y son generalmente costosas.

## **2.4. FACTORES QUE INTERVIENEN EN LA INESTABILIDAD DEL TERRENO**

Para que se produzca la inestabilidad y puesta en movimiento de una masa de terreno deben intervenir y modificarse de forma conjunta varios factores. Aunque las formas de la superficie terrestre se pueden considerar como resultantes de un sistema evolutivo y, por tanto, en continuo cambio, a la escala de tiempo en la que se producen estos movimientos del terreno, a algunos de los factores que intervienen en ellos se les puede conceptualizar como constantes o con poca variabilidad a lo largo del tiempo y, a otros, como factores variables que sufren modificaciones con cierta periodicidad.

Los primeros, serían de carácter pasivo y condicionarían y conformarían el tipo de rotura y su mecanismo. De otro lado, los factores variables o activos interferirían sobre los anteriores, modificándolos y desencadenando la inestabilidad y puesta en movimiento del terreno, además de determinar, en muchos casos, la magnitud del proceso. El conjunto de estos factores comprende la siguiente relación:

- Factores constantes
  - Naturaleza de los materiales
  - Relación estructura-ladera
  - Pendiente topográfica y morfología de la ladera
  - Vegetación

- Factores variables
- Climatología
- Meteorización
- Agua
- Erosión fluvial y costera
- Sismicidad de la zona
- Acciones antrópicas

#### **2.4.1. FACTORES CONSTANTES**

- Naturaleza de los materiales

La litología de los materiales aflorantes y su grado de alteración condicionará sus características físico-mecánicas y, por tanto, su estabilidad potencial, por lo que el comportamiento variará de unos materiales a otros aún cuando actúen sobre ellos con igual intensidad los mismos factores.

Los parámetros resistivos dependerán de la composición mineralógica y de la textura, compactación, tamaño, forma y cementación de las partículas que formen la roca o sedimento. Por tanto, materiales poco cementados, con tamaños de grano fino (limo-arcilla o arenas limo-arcillosas), o de un amplio rango granulométrico (derrubios de ladera) son litologías más propensas al deslizamiento.

La influencia de la composición mineralógica de los materiales es, en ocasiones, determinante para que se produzcan inestabilidades. En sedimentos con abundancia de minerales de la arcilla del tipo montmorillonita, se puede producir, en épocas de lluvia, un hinchamiento de estos minerales por la absorción de agua en su estructura molecular y posterior dilatación, lo que provoca una expansión del terreno, con aumentos de volumen que son problemáticos si alcanzan el 5% y que, en casos excepcionales, pueden llegar al 50%. Asimismo, el lavado de las sales contenidas en determinadas

arcillas marinas conduce a un reordenamiento en la estructura de las partículas, pasando de floculadas a dispersas y dando lugar a una reducción de la resistencia al corte.

También, la alternancia o intercalación de materiales de distinta naturaleza, y por tanto, con resistencia, compactación y permeabilidades diferentes, producirá heterogeneidades en el comportamiento global de la masa, que según la tipología de aquéllas, tendrá una respuesta variable a los factores externos que se manifiesten, lo que favorece la aparición de fenómenos de inestabilidad. Del mismo modo, el espesor de los diferentes materiales podrá determinar que el movimiento sea superficial o profundo.

- Relación estructura-ladera

Otro aspecto de gran importancia a considerar frente a la estabilidad es la relación y combinación de la disposición geométrica de los materiales aflorantes, con respecto a la orientación, pendiente y altura de la ladera natural o talud artificial. En este sentido, deberán observarse las discontinuidades presentes (planos de estratificación, fallas, diaclasas, esquistosidad), atendiendo a su inclinación, orientación, número, densidad, naturaleza y morfología. Estas características tienen gran importancia en el caso de materiales rocosos (calizas, areniscas, etc.), que serían estables de no ser por la fisuración y disgregación que produce la existencia e intersección de estas discontinuidades, al modificar las propiedades de los materiales, lo que provoca que el macizo rocoso, en su conjunto, adquiera una resistencia menor que la roca inicial.

Asimismo, cuando la dirección de la estructura de los materiales con respecto a la del terreno natural o talud artificial es paralela - y, por tanto,- coincidente, y dichos materiales tienen una inclinación ladera abajo, se facilita el desencadenamiento de inestabilidades, que será mayor cuanto más pequeño sea el ángulo de intersección que formen ambas inclinaciones.

Estas circunstancias se verán favorecidas por la circulación del agua de infiltración a través de las discontinuidades, que pueden actuar durante los periodos de lluvia como superficies de despegue.

Las diferencias del estado tensional dentro de un macizo rocoso conllevan que dentro de un mismo sector geográfico, la disposición y el número de discontinuidades no sea constante y, por tanto, las condiciones de inestabilidad puedan variar.

- Pendiente topográfica y morfología de la ladera

La pendiente topográfica y la altura de las laderas son factores que condicionan el desarrollo de procesos de deslizamiento por su contribución a la inestabilidad de los materiales; tanto es así que son parámetros utilizados sistemáticamente en la mayoría de los métodos de cálculo de estabilidad de taludes. En terrenos homogéneos, cada tipo de material tendrá una altura crítica y un ángulo máximo, a partir de los cuales se producirá un desequilibrio gravitacional, siendo posible la rotura. No obstante, en zonas muy húmedas, la morfología no tiene por qué ser necesariamente abrupta para que materiales arcillosos, debido a la saturación, puedan generar movimientos rápidos, de tipo flujo, con velocidad considerable. También, las características morfológicas de la ladera aumentarán o disminuirán su equilibrio, y ya que estas formas son además el resultado de un proceso evolutivo, nos servirán también como indicadores de inestabilidad. Una topografía abrupta, con valles profundos, grandes diferencias de altura entre vaguadas, alto gradiente hidráulico, relieve escarpado, red de drenaje densa y encajada, formas acarcavadas y laderas con morfología cóncava, es indicativa de zonas con alto potencial de inestabilidad.

De este modo, mediante la combinación de determinados índices morfológicos y morfométricos del terreno, tales como la morfología, altura y pendiente topográfica, la superficie y longitud de la cuenca superficial y de los conos de deyección, etc., se han desarrollado métodos para determinar la susceptibilidad de rotura de una ladera.

- Vegetación

Es éste un factor controvertido, tanto en su uso como parámetro a intervenir en la estabilidad, como en el papel que desempeña. Esto es debido tanto a las distintas circunstancias que se producen en la presencia de la amplia variedad de especies vegetales existentes, dentro de las cuales algunas tienen un marcado carácter estacional, como a los efectos que en ellas se manifiestan.

Aunque es el factor menos constante de los hasta ahora reseñados y no llega ser determinante para la estabilidad global de una masa de terreno, sí condiciona de forma notable la acción de otros factores.

El efecto positivo que produce la vegetación es el de mantener la estabilidad superficial del terreno y evitar su degradación, ya que las raíces cohesionan las partículas del suelo y disminuyen la disgregación de los niveles superficiales. La presencia de una cobertera vegetal también favorece el drenaje por la absorción del agua superficial del terreno, al tiempo que disminuye el efecto producido por la erosión hídrica. Como contribución negativa, está la producida por el efecto de cuña realizado por algunas raíces al desagregar el suelo, provocando los consiguientes efectos mecánicos en grietas y fracturas.

#### **2.4.2. FACTORES VARIABLES**

- Climatología

Las causas que intervienen en los movimientos del terreno están muy influidas por las características climatológicas de la zona, que deben ser consideradas como agentes que influyen en la formación del relieve por su repercusión en los procesos geomorfológicos.

Los efectos del clima se derivan principalmente de la pluviometría y temperatura. Por lo que respecta a las precipitaciones, no sólo influye el volumen total anual, sino también la distribución estacional, el régimen y su intensidad.

De esta manera, cuando las lluvias son torrenciales, el impacto físico de las gotas de agua ataca enérgicamente el suelo y provoca la disgregación y removilización de las

partículas superficiales, que son arrastradas por el agua. A su vez, la cantidad de lluvia caída en tan poco tiempo, excede la capacidad de infiltración en el terreno, por lo que se produce una escorrentía superficial que intensifica el efecto erosivo del agua sobre las laderas durante el transporte del sedimento y forma depósitos característicos al pie de las pendientes. Si, por el contrario, el agua de lluvia se infiltra lentamente, se produce un mayor grado de saturación del terreno, que puede llegar a formar un nivel de agua subterránea.

En general existe una buena correlación entre la frecuencia de deslizamientos y la estación del año, correspondiendo un mayor número de aquéllos a los meses más lluviosos. Este fenómeno se incrementa en zonas muy húmedas y durante los periodos con lluvias más extensas e intensas aumenta también la magnitud de los movimientos, ya que el terreno presenta un elevado grado de saturación como consecuencia de lluvias anteriores. Por lo que respecta a las temperaturas, parámetro de menor importancia, cuanto más altas y más extremas sean, mayor será su influencia sobre los ciclos de humedad-sequedad del suelo. Los cambios de temperatura originarán procesos de expansión y contracción de los poros del terreno, con los consiguientes efectos sobre su grado de esponjamiento y saturación.

- Meteorización

Este factor produce una alteración de la roca o del sedimento original de la ladera, cambiando su resistencia y permeabilidad. Las transformaciones químicas, mineralógicas y texturales que se generan durante el desarrollo de este proceso, por la acción de reacciones de disolución, oxidación, hidrólisis, etc., destruyen el empaquetamiento de los materiales, disgregan el conjunto y generan una pérdida de la cohesión, lo que lleva en definitiva a una disminución de su resistencia.



- Agua

El agua es el agente que contribuye con mayor peso a la modificación de las condiciones de estabilidad de una ladera. Por una parte, provoca la disgregación física de la estructura de las partículas del suelo, así como su alteración química mediante procesos de disolución, oxidación, etc. Todo ello genera cambios mineralógicos, composicionales y texturales, lo que da como resultado, en ambos casos, una disminución de sus parámetros resistivos. Por otra parte, cuando el agua se infiltra y percola en el subsuelo a través de poros y fisuras, puede formarse un nivel de saturación variable, con un drenaje y un flujo determinado. A nivel intuitivo, puede pensarse entonces, que el papel desestabilizador del agua procede del efecto lubricante que ésta produce sobre las partículas y discontinuidades del terreno.

Sin embargo, su acción desestabilizadora proviene tanto de la sobrecarga proporcionada por el peso del agua al ocupar poros y fisuras antes vacíos, como de las presiones intersticiales. Al tener un suelo saturado, constituido por partículas sólidas y agua, los esfuerzos son absorbidos en diferente proporción por ambos elementos. Como el agua no puede soportar esfuerzos cortantes, se disminuyen las tensiones efectivas del terreno, y se incrementa el esfuerzo de corte, lo que afecta, por tanto, a la estabilidad. Esto es de gran importancia cuando el terreno está compuesto por una alternancia de capas permeables e impermeables, ya que las primeras son capaces de desarrollar presiones intersticiales considerables.

- Erosión fluvial y costera

Las laderas escarpadas de las riberas de los valles fluviales se ven afectadas por el caudal y nivel de agua. Durante las crecidas se modifican las condiciones geométricas y erosivas y puede cambiar la posición y extensión del cauce, al tiempo que aumenta la carga hidráulica y la capacidad erosiva del río. De este modo, se induce una socavación lateral en las márgenes y cambia la morfología inicial de las vertientes, aumentando su verticalidad. Todo ello genera una disminución de su soporte por la

base, desarrollándose deformaciones elásticas e incrementándose el esfuerzo de corte sobre los materiales.

El mismo efecto de socavación se produce en la base de los acantilados costeros por la acción del violento choque de las olas durante los periodos de tormenta, lo que actúa como factor modificador y desestabilizador del relieve y de la línea de costa.

- Sismicidad de la zona

Los movimientos sísmicos son factores que pueden acelerar y desencadenar grandes movimientos de masa como resultado de la generación de una serie de vibraciones que se asocian a un incremento de la aceleración vertical y horizontal. Estas oscilaciones provocan una sacudida del suelo, desplazan de su vertical a la componente de peso de una ladera e inducen una mayor tensión tangencial de cizalla en el plano de rotura. Además, como resultado de la alteración del empaquetamiento de los granos del terreno, se disminuye la cohesión, lo que en materiales poco compactados y saturados se traduce en fenómenos de licuefacción, generados por la compactación y el aumento de la presión intersticial producida por las vibraciones.

- Acciones antrópicas

Las actividades humanas pueden modificar parte de los factores que se han tratado anteriormente. La intervención en laderas naturales o la construcción de taludes artificiales, tenderá a variar las condiciones de equilibrio iniciales, y podrá originar procesos de inestabilidad.

Estas actividades pertenecen principalmente al campo de la obra civil y a las actuaciones urbanas, sobre todo en aquellos municipios ubicados en zonas de montaña.

Una ladera en equilibrio estricto puede ponerse en movimiento cuando se sobrecarga en su parte superior, situación que se ocasiona por la construcción de edificios,

depósitos de agua o carreteras sobre materiales que no pueden mantenerse estables bajo las nuevas condiciones de carga adicional.

A su vez, una excavación en la base de una vertiente natural disminuye las tensiones estabilizadoras normales y aumenta las restantes. Esta circunstancia se produce en las construcciones al pie de un talud o, con mucha más frecuencia, en el caso de la ejecución de obras lineales, principalmente carreteras, cuyo trazado tiene una alta probabilidad de atravesar zonas con desprendimientos y deslizamientos activos o antiguos, además de ser la causa de la generación de dichos movimientos.

También en las acumulaciones artificiales de materiales, tales como vertederos de residuos urbanos, inertes y escombreras de mina pueden desencadenarse movimientos de masa si no se han construido atendiendo a las condiciones de estabilidad y seguridad que requiere la geometría y la naturaleza del relleno.

En las obras públicas, las inestabilidades de ladera pueden constituir un grave problema en las boquillas de los túneles, que además pueden generar subsidencia en zonas urbanas. El nivel de agua en embalses puede estar sometido a importantes variaciones estacionales. Cuando las presas son sometidas a un desembalse rápido tras un periodo de aguas altas, el nivel del vaso desciende con más rapidez que el del agua existente en los poros de los materiales circundantes, por lo que las zonas que antes se encontraban bajo el agua pueden deslizar dentro del embalse. Al perder parte del sustento por la base, los materiales que quedan por encima pierden apoyo, desarrollándose deslizamientos ladera arriba.

Por lo que respecta a las actuaciones urbanísticas, la edificación en zonas de pendiente elevada comporta la ejecución de muros de contención, a veces con drenaje insuficiente, que produce un efecto de retención sobre las aguas de infiltración. La expansión urbanística conlleva, de modo paralelo a la edificación, la ejecución de redes de abastecimiento, saneamiento y pluviales, cuyas fugas provocan una infiltración directa y continua en el terreno. A estas infiltraciones puede unirse el riego de zonas ajardinadas, con lo que, en su conjunto, se supera creces la infiltración pluvial anual.

Si estas fugas provocan movimientos del terreno, las conducciones rígidas enterradas pueden fisurarse, y el fenómeno se autoalimenta de nuevo.

La actividad humana modifica las condiciones hidrogeológicas del área urbanizada. Al estar ocupada por edificaciones y pavimento la práctica totalidad del suelo urbano, no queda casi superficie para que se produzca una infiltración de agua de lluvia y un drenaje natural. Por tanto, la alimentación principal de las aguas subterráneas se produce por las fugas antes señaladas, generando una humedad continua del terreno subsuperficial. Además, esta infiltración no se lleva a cabo por toda la superficie del suelo, sino que se localiza en determinados puntos, provocando heterogeneidades en el comportamiento del subsuelo. A esto se suma que en épocas de lluvia, ya que el agua queda recogida por la red de alcantarillado, la inyección directa producida por los eventuales escapes de la red sea muy elevada, lo cual puede producir movimientos de masa repentinos. Estas circunstancias aconsejan que en las urbanizaciones realizadas sobre zonas escarpadas, las redes de drenaje sean diseñadas, proyectadas y ejecutadas atendiendo a las características naturales del terreno.

## **2.5. MATERIALES QUE COMPONEN EL TALUD**

### **2.5.1. CARACTERÍSTICAS**

Cada formación geológica posee una susceptibilidad específica a los deslizamientos y los mapas de inventario de deslizamientos presentan densidades de número o tamaño de los movimientos que son característicos de determinadas áreas dentro de cada formación geológica.

Cuando un talud está formado por varios tipos de roca, el comportamiento geotécnico del conjunto es diferente al de cada material por separado. Deben estudiarse las propiedades de cada tipo, las características de sus discontinuidades y a su vez la interacción de las propiedades y discontinuidades dentro del conjunto.

## 2.5.2. CLASIFICACIÓN

Tabla 2.1. *Clasificación del tipo de material*

| Tipo de material             | Formación  | Características  | Detalles prioritarios   |
|------------------------------|--|--|---|
| Roca                         | Ignea<br>Metamórfica   | Rocas formadas por cristales de minerales  | Estructura geológica.<br>Fracturas.   |
|                              | Sedimentaria (debe definirse el tipo de roca en la forma más detallada posible). | Rocas formadas por granos cementados, depositados en capas.  | Planos de estratificación.  |
| Roca meteorizada (saprolito) | Ignea<br>Metamórfica<br>Sedimentaria   | Permanecen algunos rasgos de la roca pero ésta se encuentra descompuesta, en las discontinuidades. | Estructura geológica<br>Discontinuidades<br>Estado de meteorización.                        |
| Suelo                        | Residual   | Roca meteorizada en la cual ya no aparecen las características físicas de la roca.                 | Estructura geológica.<br>Discontinuidades.<br>Propiedades fisicoquímicas.                   |
|                              | Aluvial<br>Coluvial.<br>Glacial<br>Loess   | Grupos de partículas o bloques de suelo o roca.  | Propiedades físicas.  |
| Materiales heterogéneos      | Roca, roca meteorizada, suelo.   | Mezcla de diversos materiales en un mismo perfil.  | Estructura geológica.<br>Discontinuidades.<br>Meteorización.<br>Propiedades fisicoquímicas. |

**Fuente:** GERMÁN CUJAR CHAMORRO. *Estabilidad de taludes. Colombia: Popayán Colombia, universidad del cauca; diciembre 1992. (Cap. 5. 151 pág.)*

## 2.6. EQUILIBRIO LÍMITE Y FACTOR DE SEGURIDAD

El análisis de los movimientos de los taludes o laderas durante muchos años se ha realizado utilizando las técnicas del equilibrio límite. Este tipo de análisis requiere información sobre la resistencia del suelo, pero no se requiere sobre la relación esfuerzo-deformación.

El sistema de equilibrio límite supone que en el caso de una falla, las fuerzas actuantes y resistentes son iguales a lo largo de la superficie de falla equivalentes a un factor de seguridad de 1.0.

El análisis se puede realizar estudiando directamente la totalidad de la longitud de la superficie de falla o dividiendo la masa deslizada en tajadas o dovelas. Cada día se han mejorado los sistemas de Dovelas desarrollados a inicios del siglo XX y existe Software muy fácil de utilizar. Generalmente, los métodos son de iteración y cada uno de los métodos posee un cierto grado de precisión.

**Tabla 2.2. Métodos de análisis de estabilidad de taludes**

| Método  | Superficies de falla                       | Equilibrio  | Características  |
|---|--|-------------|--|
| Ordinario o de Fellenius (Fellenius 1927)             | Circulares                                 | De fuerzas  | Este método no tiene en cuenta las fuerzas entre las dovelas y no satisface equilibrio de fuerzas, tanto para la masa deslizada como para dovelas individuales. Sin embargo, este método es muy utilizado por su procedimiento simple. Muy impreciso para taludes planos con alta presión de poros. Factores de seguridad bajos. |
| Bishop simplificado (Bishop 1955)                     | Circulares                                 | De momentos | Asume que todas las fuerzas de cortante entre dovelas son cero. Reduciendo el número de incógnitas. La solución es sobredeterminada debido a que no se establecen condiciones de equilibrio para una dovela.   |
| Janbú Simplificado (Janbú 1968)                       | Cualquier forma de superficie de falla.    | De fuerzas  | Al igual que Bishop asume que no hay fuerza de cortante entre dovelas. La solución es sobredeterminada que no satisface completamente las condiciones de equilibrio de momentos. Sin embargo, Janbú utiliza un factor de corrección $F_0$ para tener en cuenta este posible error. Los factores de seguridad son bajos.          |
| Sueco Modificado. U.S. Army Corps of Engineers (1970) | Cualquier forma de la superficie de falla. | De fuerzas  | Supone que las fuerzas tienen la misma dirección que la superficie del terreno. Los factores de seguridad son generalmente altos.  |
| Lowe y Karafiath (1960)                               | Cualquier forma de la superficie de falla. | De fuerzas  | Asume que las fuerzas entre partículas están inclinados a un ángulo igual al promedio de la superficie del terreno y las bases de las dovelas. Esta simplificación deja una serie de incógnitas y no satisface el equilibrio de momentos. Se considera el más preciso de los métodos de equilibrio de fuerzas.                   |

|                            |  |                                    |  |
|----------------------------|--|------------------------------------|--|
| Spencer (1967)             | Cualquier forma de la superficie de falla. | Momentos y fuerzas                 | Asume que la inclinación de las fuerzas laterales son las mismas para cada tajada. Rigurosamente satisface el equilibrio estático asumiendo que la fuerza resultante entre tajadas tiene una inclinación constante pero desconocida.   |
| Morgenstern y Price (1965) | Cualquier forma de la superficie de falla. | Momentos y fuerzas                 | Asume que las fuerzas laterales siguen un sistema predeterminado. El método es muy similar al método Spencer con la diferencia que la inclinación de la resultante de las fuerzas entre dovelas se asume que varía de acuerdo a una función arbitraria.  |
| Sarma (1973)               | Cualquier forma de la superficie de falla. | Momentos y fuerzas                 | Asume que las magnitudes de las fuerzas verticales siguen un sistema predeterminado. Utiliza el método de las dovelas para calcular la magnitud de un coeficiente sísmico requerido para producir la falla. Esto permite desarrollar una relación entre el coeficiente sísmico y el factor de seguridad. El factor de seguridad estático corresponde al caso de cero coeficiente sísmico. Satisface todas las condiciones de equilibrio; sin embargo, la superficie de falla correspondiente es muy diferente a la determinada utilizando otros procedimientos más convencionales. |
| Elementos finitos          | Cualquier forma de la superficie de falla. | Analiza esfuerzos y deformaciones. | Satisface todas las condiciones de esfuerzo. Se obtienen esfuerzos y deformaciones en los nodos de los elementos, pero no se obtiene un factor de seguridad.   |
| Espiral logarítmica        | Espiral logarítmica                        | Momentos y fuerzas.                | Existen diferentes métodos con diversas condiciones de equilibrio.   |

**Fuente:** GERMÁN CUJAR CHAMORRO. *Estabilidad de taludes. Colombia: Popayán Colombia, universidad del cauca; diciembre 1992. (Cap. 4. 122 pág.)*

### Determinación de la cohesión y ángulo de fricción

Para determinar la cohesión y ángulo de fricción se hizo el ensayo de corte directo con la muestra de suelo de cada talud sin saturación de agua.

Este ensayo busca determinar la resistencia al corte del suelo en un plano inducido. Para lo anterior se cuenta con una caja de sección cuadrada dividida horizontalmente en dos mitades. Dentro de ella se coloca la muestra de suelo, se aplica una carga vertical de confinamiento ( $F_v$ ) y luego una carga horizontal ( $F_h$ ) creciente que origina el desplazamiento de la mitad móvil de la caja, originando el corte de la muestra.

El ensayo induce la falla a través de un plano determinado. Sobre este plano de falla actúan dos esfuerzos:

- Un esfuerzo normal ( $\sigma_n$ ), aplicado externamente debido a la carga vertical ( $P_v$ ).
- Un esfuerzo cortante ( $\tau$ ), debido a la aplicación de la carga horizontal

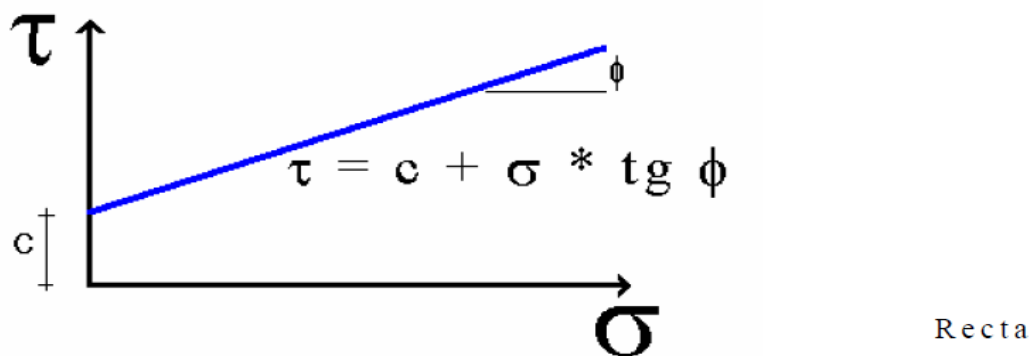
Estos esfuerzos se calculan dividiendo las respectivas fuerzas por el área (A) de la muestra o de la caja de corte y deberían satisfacer la ecuación de coulomb:

$$Tf = C + \sigma n * \tan(\varphi)$$

Según esta ecuación la resistencia al corte depende de la cohesión © y la fricción interna del suelo ( $\phi$ ).

Al aplicar la fuerza horizontal se van midiendo las deformaciones y con estos valores es posible graficar la tensión de corte ( $\tau$ ), en función de la deformación ( $\epsilon$ ) en el plano de esta tensión de corte. De la gráfica es posible tomar el punto máximo de tensión de corte como la resistencia al corte del suelo.

Los valores de  $\tau$  se llevan a un gráfico en función del esfuerzo normal ( $\sigma n$ ), obteniendo la recta donde  $\tau$  va como ordenada y  $\sigma n$  como abscisa. El ángulo que forma esta recta con el eje horizontal es el ángulo  $\phi$  y el intercepto con el eje  $\tau$ , la cohesión C.



Fuente: Espinace R., 1979

## 2.7. FACTOR DE SEGURIDAD

El Factor de Seguridad es empleado por los Ingenieros para conocer cual es el factor de amenaza de que el talud falle en las peores condiciones de comportamiento para el



cual se diseña. Fellenius (1927) presentó el factor de seguridad como la relación entre la resistencia al corte real, calculada del material en el talud y los esfuerzos de corte críticos que tratan de producir la falla, a lo largo de una superficie supuesta de posible falla:

$$FS = \frac{\textit{Resistencia al corte}}{\textit{Esfuerzo al cortante}}$$

En superficies circulares donde existe un centro de giro y momentos resistentes y actuantes:

$$FS = \frac{\textit{Momento resistente}}{\textit{Momento actuante}}$$

Existen, además, otros sistemas de plantear el factor de seguridad, tales como la relación

de altura crítica y altura real del talud y método probabilístico.

Se estudia un cuerpo libre en equilibrio, partiendo de las fuerzas actuantes y de las fuerzas resistentes que se requieren para producir el equilibrio. Calculada esta fuerza resistente, se compara con la disponible del suelo o roca y se obtiene una indicación del Factor de Seguridad.

Otro criterio es el de dividir la masa a estudiar en una serie de tajadas, dovelas o bloques y considerar el equilibrio de cada tajada por separado. Una vez realizado el análisis de cada tajada se analizan las condiciones de equilibrio de la sumatoria de fuerzas o de momentos.

$$FS = \frac{\Sigma \textit{Resistencias al corte}}{\Sigma \textit{Esfuerzos al cortante}}$$

Valores de factores de seguridad:

F.S.= 1 Equilibrio

F.S.< 1 inestable

F.S.= 1-1.25 Seguridad cuestionable

F.S.= 1.25-1.40 Seguridad Relativa

F.S.=1.50 Satisfactorio

- Consideraciones especiales

La FHWA recomienda los siguientes factores de seguridad mínimos para la estabilidad de los terraplenes, usando el método circular:

A largo paso F.S.= 1.5

### **2.7.1. MÉTODOS DE ANÁLISIS**

A continuación se presentan algunos métodos de análisis universalmente conocidos para el cálculo del Factor de Seguridad.

Para taludes simples homogéneos se han desarrollado tablas que permiten un cálculo rápido del Factor de Seguridad. Existe una gran cantidad de tablas desarrolladas por diferentes Autores. La primera de ellas fue desarrollada por Taylor en 1937 y 1948, las cuales son aplicables solamente para análisis de esfuerzos totales, debido a que no considera presiones de poro. Desde entonces varias tablas han sido sucesivamente presentadas por Bishop y Morgenstern (1960), Hunter y Schuster (1968), Janbú (1968), Morgenstern (1963), Spencer (1967), Terzaghi y Peck (1967) y otros, las cuales se resumen en la tabla 2.

**Tabla 2.3. Listado de tablas para cálculo de estabilidad de taludes disponibles en la literatura**

| Autor                        | Parámetros              | Inclinación de talud | Método analítico utilizado        | Observaciones  |
|------------------------------|-------------------------|----------------------|-----------------------------------|--|
| Taylor (1948)                | $c_u$<br>$c, \phi$      | 0-90°<br>0-90°       | $\phi = 0$<br>Círculo de fricción | Análisis no drenado. Taludes secos solamente.  |
| Bishop y Morgenstern (1960)  | $c, \phi, r_u$          | 11-26.5°             | Bishop                            | Primero en incluir efectos del agua.   |
| Gibsson y Morgenstern (1960) | $c_u$                   | 0-90°                | $\phi = 0$                        | Análisis no drenado con cero resistencia en la superficie y $c_u$ aumenta linealmente con la profundidad.        |
| Spencer (1967)               | $c, \phi, r_u$          | 0-34°                | Spencer                           | Círculos de pie solamente.   |
| Janbú (1968)                 | $c_u$<br>$c, \phi, r_u$ | 0-90°                | $\phi = 0$<br>Janbú GPS           | Una serie de tablas para diferentes efectos de movimiento de agua y grietas de tensión.                          |
| Hunter y Schuster (1968)     | $c_u$                   | 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 (1971)          | $c, \phi$               | 20-90°               | Análisis límite                   |  |
| O'Connor y Mitchell (1977)   | $c, \phi, r_u$          | 11-26°               | Bishop                            | Bishop y Morgenstern (1960) extendido para incluir $N_c = 0.1$   |
| Hoek y Bray (1977)           | $c, \phi$<br>$c, \phi$  | 0-90°<br>0-90°       | Círculo de fricción<br>Cuña       | Incluye agua subterránea y grietas de tensión. Análisis de bloque en tres dimensiones.                           |
| Cousins (1978)               | $c, \phi$               | 0-45°                | Círculo de fricción               | Extensión del método de Taylor (1948).   |
| Charles y Soares (1984)      | $\phi$                  | 26-63°               | Bishop                            | Envolvente de falla no lineal de Mohr-Coulomb.   |
| Barnes (1991)                | $c, \phi, r_u$          | 11-63°               | Bishop                            | Extensión de Bishop y Morgenstern (1960) para un rango mayor de ángulos del talud.                               |

**Fuente:** GERMÁN CUJAR CHAMORRO. *Estabilidad de taludes. Colombia: Popayán Colombia, universidad del cauca; diciembre 1992. (Cap. 4. 124 pág.)*

Se basan exclusivamente en las leyes de la estática para determinar el estado de equilibrio de una masa de terreno potencialmente inestable. No tienen en cuenta las deformaciones del terreno. Suponen que la resistencia al corte se moviliza total y simultáneamente a lo largo de la superficie de corte. Se pueden clasificar a su vez en dos grupos:

- Métodos exactos.
- Métodos no exactos.

Métodos exactos:

La aplicación de las leyes de la estática proporciona una solución exacta del problema con la única salvedad de las simplificaciones propias de todos los métodos de equilibrio límite (ausencia de deformaciones, factor de seguridad constante en toda la superficie de rotura, etc.). Esto sólo es posible en taludes de geometría sencilla, como por ejemplo la rotura planar y la rotura por cuñas.

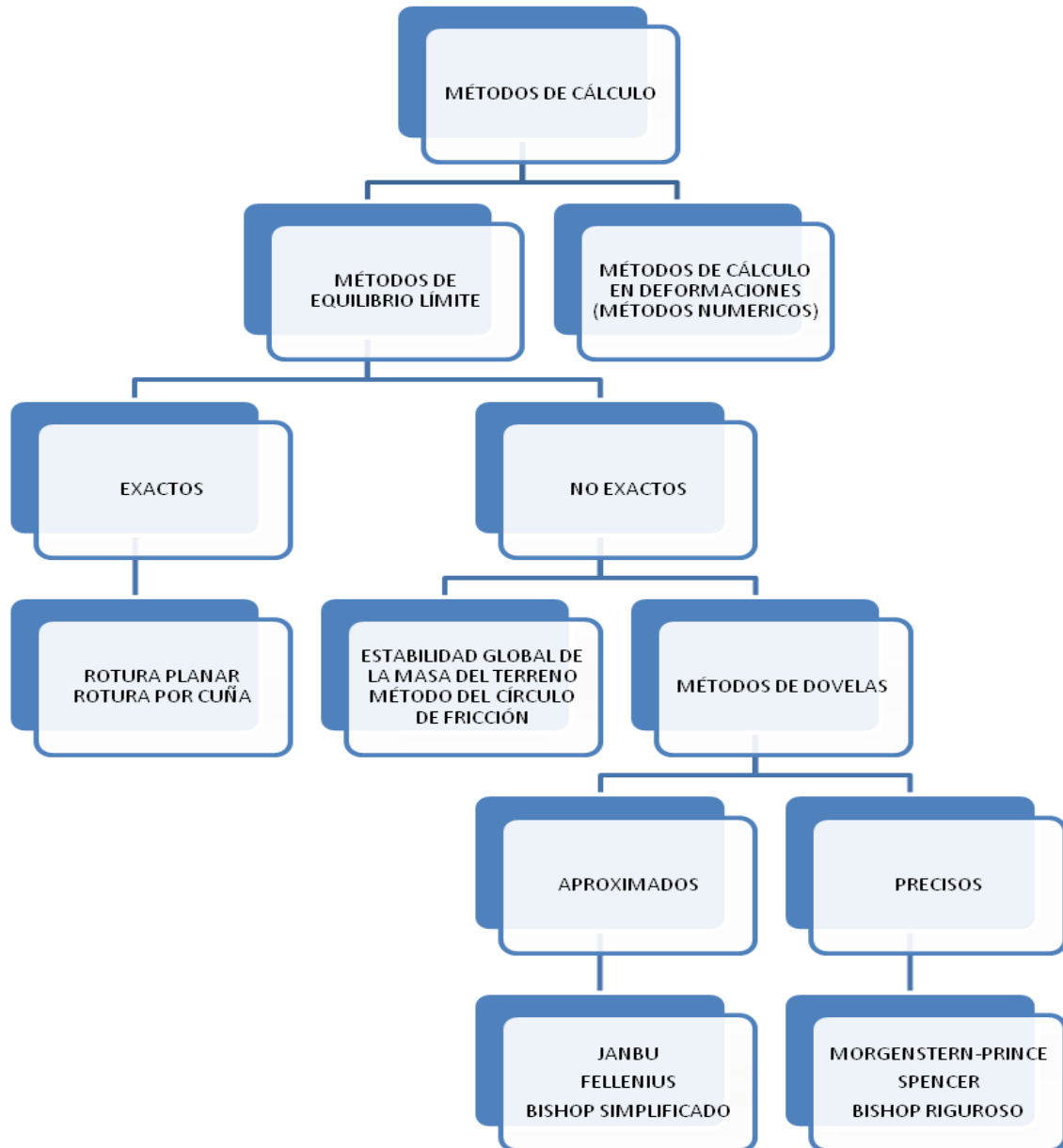
Métodos no exactos:

En la mayor parte de los casos la geometría de la superficie de rotura no permite obtener una solución exacta del problema mediante la única aplicación de las leyes de la estática. El problema es hiperestático y ha de hacerse alguna simplificación o hipótesis previa que permita su resolución. Se pueden considerar así los métodos que consideran el equilibrio global de la masa deslizante, hoy en desuso, y los métodos de las dovelas o rebanadas, que consideran a la masa deslizante dividida en una serie de fajas verticales.

Los métodos de las dovelas o rebanas pueden clasificarse en dos grupos:

- Métodos aproximados: no cumplen todas las ecuaciones de la estática. Se pueden citar por ejemplo los métodos de Fellenius, Janbu y Bishop simplificado.
- Métodos precisos o completos: cumplen todas las ecuaciones de la estática. Los más conocidos son los de Morgenstern-Price, Spencer y Bishop riguroso.(Fernando Rodríguez, 2000).

Figura 2.3. *Métodos de cálculos*



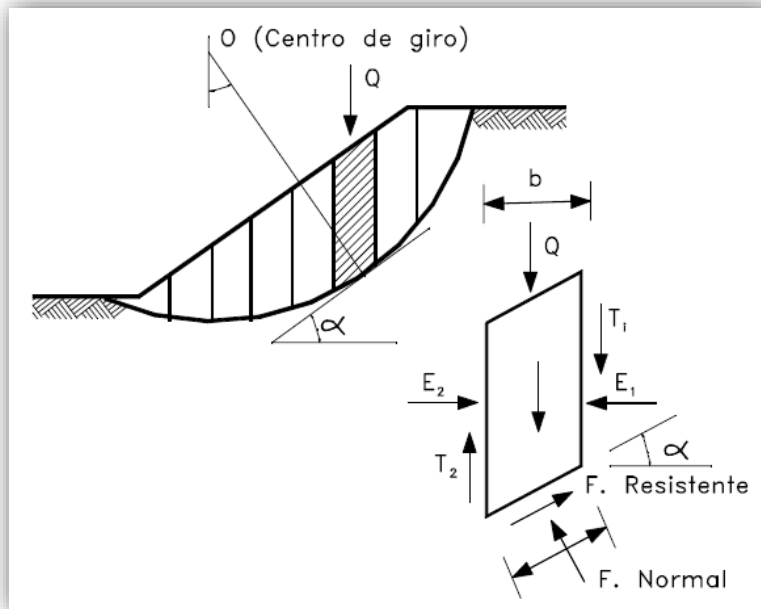
### 2.7.2. MÉTODO ORDINARIO O DE FELLENIUS Y JANBÚ

Conocido también como método Sueco, método de las Dovelas o método U.S.B.R.

Este método asume superficies de falla circulares, divide el área de falla en tajadas verticales, obtiene las fuerzas actuantes y resultantes para cada tajada y con la sumatoria de estas fuerzas obtiene el Factor de Seguridad. Las fuerzas que actúan sobre una dovela son (Figura 2.4):

- El peso o fuerza de gravedad, la cual se puede descomponer en una tangente y una normal a la superficie de falla.
- Las fuerzas resistentes de cohesión y fricción que actúan en forma tangente a la superficie de falla.

**Figura 2.4.** *Fuerzas que actúan sobre una dovela en los métodos de dovelas.*



**Fuente:** GERMÁN CUJAR CHAMORRO. *Estabilidad de taludes. Colombia: Popayán Colombia, universidad del cauca; diciembre 1992. (Cap. 4. 131 pág.)*

El método de Fellenius calcula el Factor de seguridad con la siguiente expresión:

$$FS = \frac{\sum [C b + (W \cos \alpha - u b) \tan \phi]}{\sum W \operatorname{sen} \alpha}$$

$\alpha$  = Angulo del radio del círculo de falla con la vertical bajo el centroide en cada tajada.

W = Peso total de cada tajada.

u = Presión de poros =  $\gamma_w h_w$

b = Ancho de la tajada

C',  $\phi$  = Parámetros de resistencia del suelo.

### Método de Janbú

El método Janbu es un método general de cortes realizados en la base del equilibrio límite. Debe satisfacer equilibrio de fuerzas y momentos actuando en bloques individuales (El único que no se satisface es el momento de equilibrio en el último bloque superior). Los bloques son creados dividiendo el suelo sobre la superficie terrestre dividiendo planos.

El método de Janbú solamente satisface el equilibrio de esfuerzos y no satisface el equilibrio de momentos. De acuerdo con Janbú (ecuación modificada):

$$FS = \frac{f_0 \sum \left\{ [c' b + (W - ub) \tan \phi] \frac{1}{\cos \alpha m \alpha} \right\}}{\sum W \tan \alpha}$$

Donde:

$f_0$  = depende de la curvatura de la superficie de falla

$$m \alpha = \cos \alpha \left( 1 + \frac{\tan \alpha \tan \phi}{FS} \right)$$

b = Ancho de la Dovela

W = Peso de cada dovela

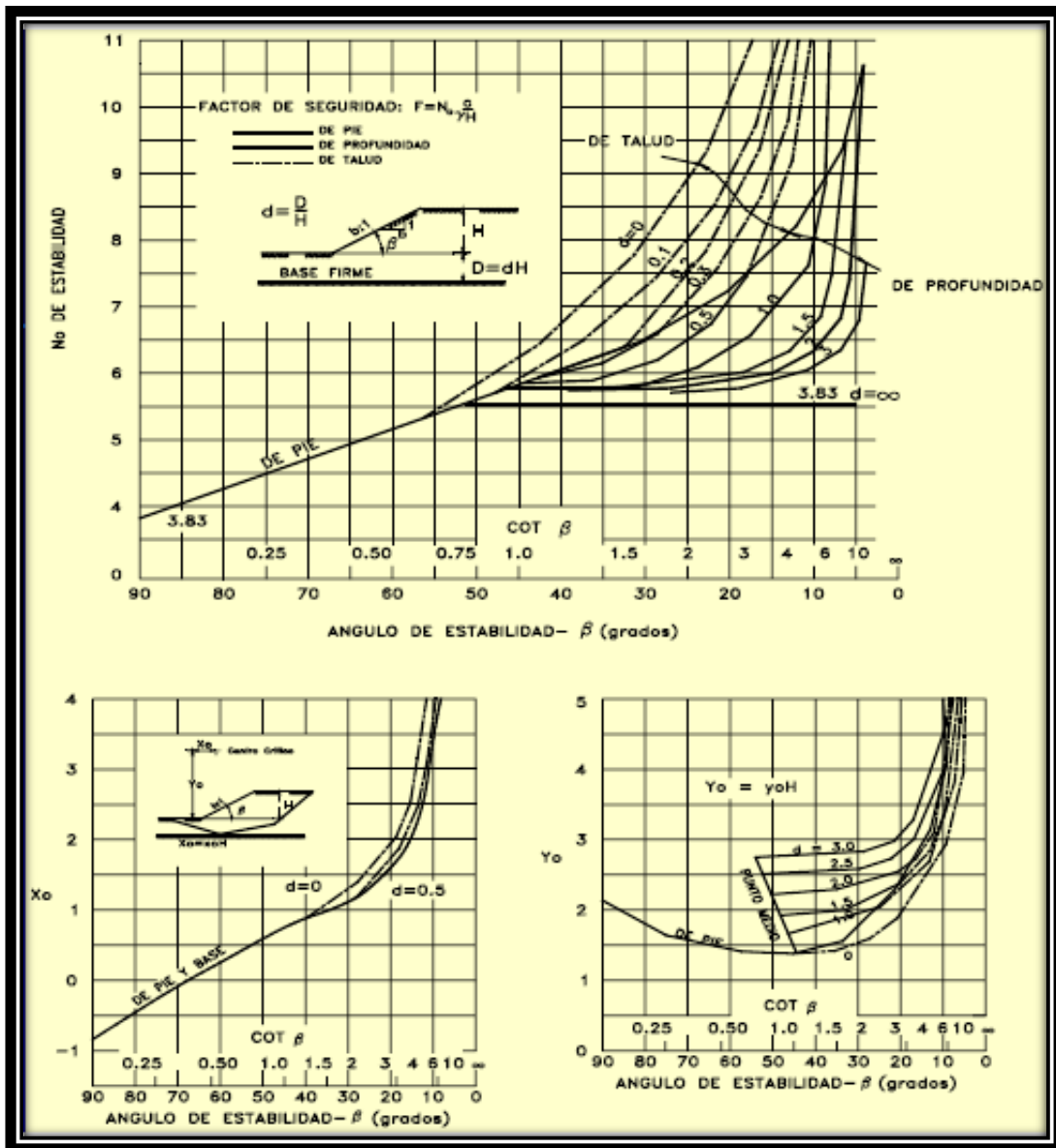
$C', \phi$  = Parámetros de resistencia del suelo.

$u$  = Presión de poros en la base de cada dovela =  $\gamma x$

$\alpha$  = Angulo del radio y la vertical en cada dovela.

(Jaime Suarez, 2002).

Tambien existen tablas del método de Janbu las cuales se muestran a continuación:





a) Para suelos  $\varphi = 0$

El Factor de Seguridad se obtiene por la siguiente expresión:

$$FS = N_o * \frac{C}{\gamma H}$$

Donde

$N_o$  = Número de estabilidad que se obtiene de la tabla

$c$  = Cohesión

$\gamma$  = Peso unitario del suelo

$H$  = Altura del talud

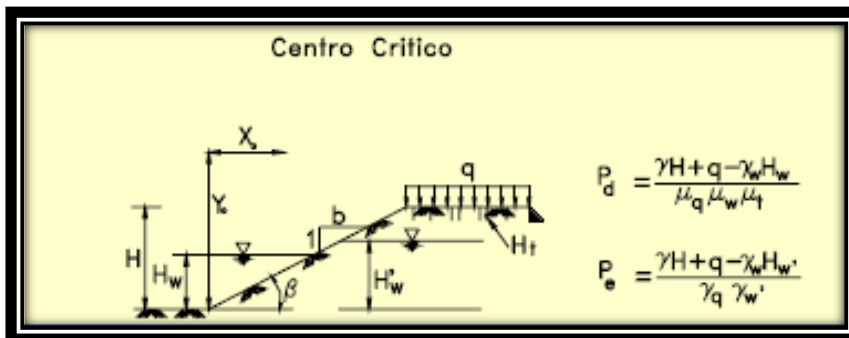
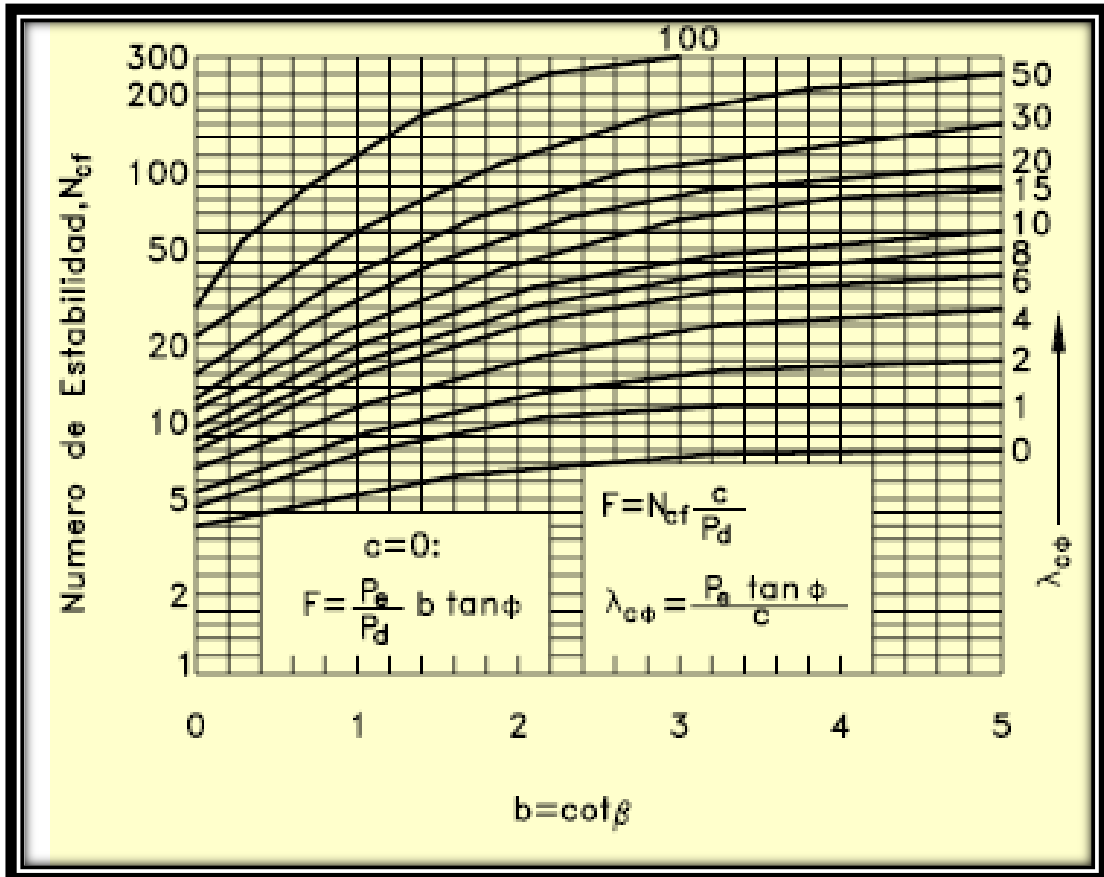
b) Para suelos  $\varphi > 0$

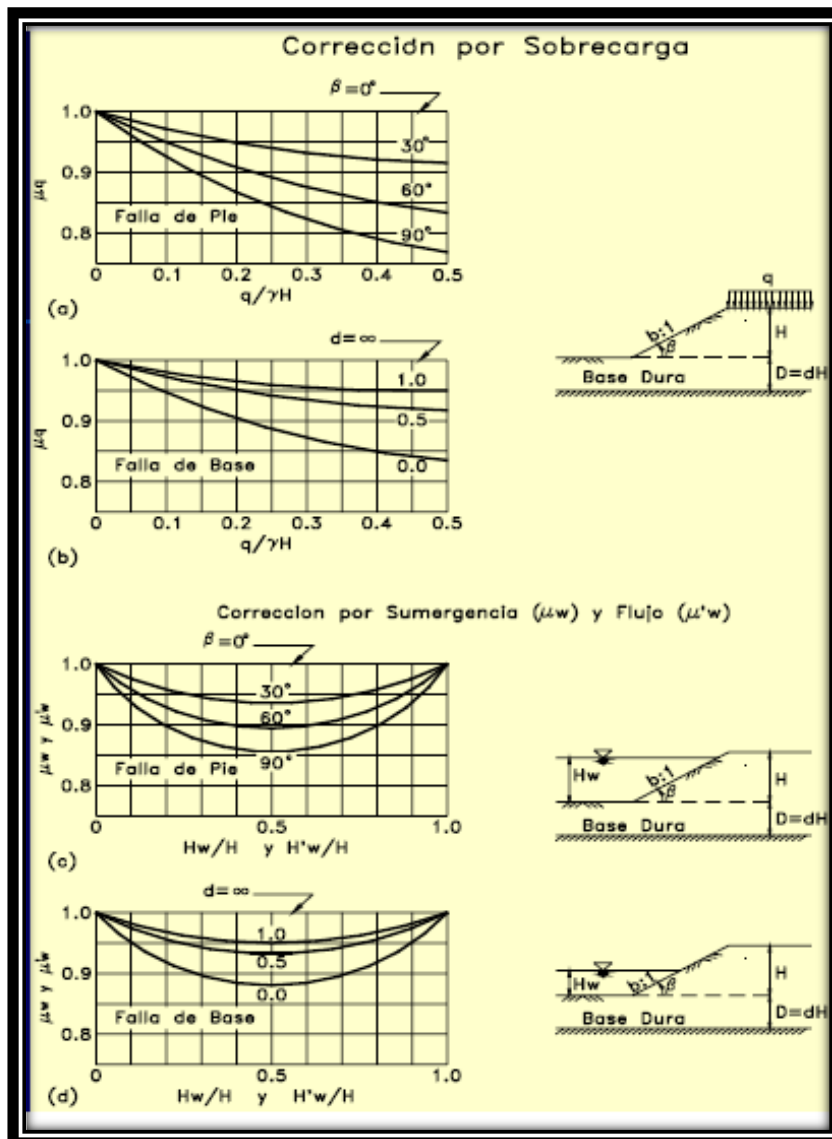
El factor de seguridad  $F$  es calculado por la expresión:

$$FS = N_{cf} * \frac{c}{Pd}$$

Donde:

$N_{cf}$  y  $Pd$  son los obtenidos en las gráficas y  $C$  es la cohesión promedio





*Jaime Suarez Díaz Bucaramanga—Colombia. Calculo del factor de seguridad de un talud*

## 2.8. ANÁLISIS DE RIESGO DE INESTABILIDAD EN TALUDES

El campo de 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 civil, siendo un aspecto directamente relacionado con la ingeniería geológica

- geotécnica. La inestabilidad de un talud, se puede producir por un desnivel, que tiene lugar por diversas razones:

- Razones geológicas: laderas posiblemente inestables, orografía acusada, estratificación, meteorización, etc.
- Variación del nivel freático: situaciones estacionales, u obras realizadas por el hombre.
- Obras de ingeniería: rellenos o excavaciones tanto de obra civil, como de minería.

Los taludes además serán estables dependiendo de la resistencia del material del que estén compuestos, los empujes a los que son sometidos o las discontinuidades que presenten. Los taludes pueden ser de roca o de tierras. Ambos tienden a estudiarse de forma distinta

### **AMENAZA**

Amenaza natural es la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno potencialmente destructor, en un área específica dentro de un determinado período de tiempo. (Varnes –1984).

La amenaza a los deslizamientos generalmente, se muestra en planos que indican la distribución espacial de los diversos tipos de amenaza.

La zonificación de amenazas requiere tener en cuenta varios elementos:

1. Un inventario detallado de los deslizamientos y procesos de inestabilidad que han ocurrido en el pasado.
2. Un conocimiento detallado de los procesos y de los factores que los producen.
3. El análisis de la susceptibilidad a la ocurrencia de esos fenómenos, relacionada con las condiciones ambientales existentes.

**Pesos de los diferentes factores a tener en cuenta en la evaluación de amenazas a deslizamientos (ambalagan (1992))**

Tabla 2.4. Factores geológicos

| FACTORES GEOLOGICOS                                 |   |                               |      |  |
|---|---|-------------------------------|------|--|
| Factor  | Descripción   | Categoría                     | Peso | Observaciones  |
| Litología   | Tipo de material  | Tipo I                        |      | Muy meteorizada  |
|   |   | Cuarcita y Caliza             | 0.2  | multiplicar por 4.   |
|   |   | Granito y Gaugo               | 0.3  | Algo meteorizada   |
|   |   | Neiss                         | 0.4  | multiplicar por 3.<br>Poco meteorizada<br>multiplicar por 2.   |
|   |   | Tipo II                       |      | Muy meteorizada  |
|   |   | Areniscas                     | 1.0  | multiplicar por 1.5  |
|   |   | Areniscas con algo de lutitas | 1.3  | Algo meteorizada<br>multiplicar por 1.25.<br>Poco meteorizada<br>multiplicar por 1.1                                       |
|   |   | Tipo III                      |      |  |
|   |   | Pizarra y Filita              | 1.2  |  |
|   |   | Esquisto                      | 1.3  |  |
| Lutitas no arcillosas                               | 1.8   |                               |      |  |
| Lutitas, esquistos o filitas muy meteorizadas.      | 2.0   |                               |      |  |
| Materiales aluviales antiguos muy bien consolidados | 0.8   |                               |      |  |
| Suelos arcillosos                                   | 1.0   |                               |      |  |
| Suelos arenosos, blandos                            | 1.4   |                               |      |  |
| Coluviones antiguos                                 | 1.2   |                               |      |  |
| Coluviones jóvenes                                  | 2.0   |                               |      |  |
| Estructura  | Relación de paralelismo entre el talud y las discontinuidades                   | Más de 30°                    | 0.20 | Se mide el ángulo que forman la dirección del talud y la dirección de las discontinuidades más representativas.            |
|   |   | 21° a 30°                     | 0.25 |  |
|   |   | 11° a 20°                     | 0.30 |  |
|   |   | 6° a 10°                      | 0.40 |  |
|   |   | Menos de 5°                   | 0.50 |  |
|   | Relación entre el buzamiento de las discontinuidades y la inclinación del talud | Más de 10°                    | 0.3  | Si el del buzamiento es mayor que el del talud el ángulo es positivo y si es menor que el del talud el ángulo es negativo. |
|   |   | 0° a 10°                      | 0.5  |  |
|   |   | 0°                            | 0.7  |  |
|   |   | 0° a -10°                     | 0.8  |  |
|   | Buzamiento de la discontinuidad   | Más de -10°                   | 1.0  |  |
|   |   | Menos de 15°                  | 0.20 |  |
|   |   | 16° a 25°                     | 0.25 |  |
|   |   | 26° a 35°                     | 0.30 |  |
|   |   | 36° a 45°                     | 0.40 |  |
|   | Espesor de la capa de suelo   | Más de 45°                    | 0.50 |  |
| Menos de 5 metros                                   |   | 0.65                          |      |  |
| 6 a 10 metros                                       |   | 0.85                          |      |  |
| 11 a 15 metros                                      |   | 1.30                          |      |  |
| 16 a 20 metros                                      |   | 2.00                          |      |  |
| Más de 20 metros                                    | 1.20  |                               |      |  |

**Fuente:** GERMÁN CUJAR CHAMORRO. *Estabilidad de taludes. Colombia: Popayán Colombia, universidad del cauca; diciembre 1992. (Cap. 11. 363 pág.)*

**Tabla 2.5. Factores topográficos y ambientales**

| FACTORES TOPOGRAFICOS Y AMBIENTALES  |                     |                   |
|--|---------------------|-------------------|
| Factor   | Categoría           | Peso              |
| Morfometría<br>Pendiente de los taludes  | Más de 45°          | 2.0               |
|  | 36° a 45°           | 1.7               |
|  | 26° a 35°           | 1.2               |
|  | 16° a 25°           | 0.8               |
|  | Menos de 15°        | 0.5               |
| Relieve relativo<br>Diferencia de altura entre la<br>divisoria de aguas y el valle | Menos de 100 metros | 0.3               |
|  | 101 a 300 metros    | 0.6               |
|  | Más de 300 metros   | 1.0               |
| Uso de la Tierra   | Area Urbana         | 2.00              |
|  | Cultivos anuales    | 2.00              |
|  | Vegetación intensa  | 0.80              |
|  | Vegetación moderada | 1.20              |
|  | Vegetación escasa   | 1.50              |
|  | Terrenos áridos     | 2.00              |
| Aguas subterráneas   | Inundable           | 1.0               |
|  | Pantanosos          | 0.8               |
|  | Muy húmedo          | 0.5               |
|  | Húmedo              | 0.2               |
|  | Seco                | 0.0               |
| SUMATORIA O AMENAZA TOTAL  |                     |                   |
| Amenaza total  | Descripción         | Suma de los pesos |
| I  | Amenaza muy baja    | 3.5               |
| II   | Amenaza baja        | 3.5 a 5           |
| III  | Amenaza moderada    | 5.1 a 6.0         |
| IV   | Amenaza alta        | 6.1 a 7.5         |
| V  | Amenaza muy alta    | 7.5               |

**Fuente:** GERMÁN CUJAR CHAMORRO. *Estabilidad de taludes. Colombia: Popayán Colombia, universidad del cauca; diciembre 1992. (Cap. 11. 364 pág.)*

4. El estudio de las probabilidades reales de que se presenten, las condiciones para la ocurrencia de los fenómenos. (Por ejemplo, de que ocurra una lluvia o un sismo de tal magnitud que pueda activar los posibles deslizamientos de tierra).

La zonificación es el resultado de la aplicación de un modelo en el que se involucren todos los factores que intervienen en el fenómeno.

### 2.8.1. RIESGO

Riesgo es el número esperado de vidas humanas perdidas, personas heridas, daño a la propiedad, y pérdidas económicas relacionadas con la ocurrencia de un determinado fenómeno (Varnes 1984).

Para la implementación de medidas de prevención y control es conveniente identificar los niveles de riesgo. El análisis de riesgo se fundamenta en la observación y registro de los indicadores tanto naturales como los producidos por acción antrópica, analizados desde el punto de vista de las consecuencias resultantes en el caso de formación o progreso de procesos de deslizamiento. Estas consecuencias deben analizarse no solamente para las áreas urbanizadas sino teniendo en cuenta la posibilidad de ocupación o urbanización de las áreas aledañas.

Para el análisis de riesgo es importante que sean definidos los tipos y procesos, sus parámetros de formación y progreso y la previsión de las consecuencias resultantes. A partir de este procedimiento es posible caracterizar las situaciones de riesgo incluyendo sus dimensiones.

En este sentido se puede concluir que se trata de varias situaciones de riesgo localizado, afectando solamente a algunos sitios específicos del área ocupada o una situación de riesgo generalizado que afecta a toda el área ocupada. Esta caracterización es fundamental para definir la mejor forma de enfrentar un problema de deslizamientos.

### **Análisis cualitativo del riesgo**

Esta es la forma más simple de realizar un estudio de riesgo a deslizamientos, el cual incluye el adquirir el conocimiento de las amenazas, los elementos en riesgo y sus vulnerabilidades, pero expresando los resultados en forma cualitativa. Los diversos atributos pueden clasificarse o calificarse en tal forma que se expresa el riesgo en una forma prácticamente verbal.

### **Análisis cuantitativo del Riesgo**

El análisis cuantitativo del Riesgo incluye las siguientes actividades:

a. Análisis de las amenazas

Se determina la distribución probable de los deslizamientos en términos del número y características de los taludes y deslizamientos para un proyecto particular. Este puede realizarse como una distribución frecuencia – magnitudes.

#### b. Elementos en riesgo

El objetivo es determinar la distribución probable del número, la naturaleza y características de los elementos en riesgo (personas y propiedades). Debe tenerse en cuenta la localización de los elementos en riesgo con relación a la amenaza (por ejemplo si se encuentran abajo del deslizamiento); si el elemento en riesgo está en una posición fija (ejemplo una casa) o es móvil (ejemplo personas o automóviles) y la posibilidad de medidas de mitigación como sistemas de alarma, etc.

#### c. Análisis de vulnerabilidad

El objetivo es medir el grado de daño o probabilidad de pérdida de vidas debida a la interacción del elemento en riesgo cuando el deslizamiento.

#### d. Análisis de Riesgo

El objetivo es determinar la distribución probable de las consecuencias del deslizamiento. El cálculo primario es una operación matemática basada en la amenaza, los elementos en riesgo y la vulnerabilidad de esos elementos, utilizando álgebra probabilística o métodos de simulación.

Un estudio completo de riesgo debe definir el número de personas amenazadas así como las propiedades. Bergren (1992) propone una tabla para evaluar el valor total del riesgo de acuerdo a la posición de las personas o propiedades, con relación al deslizamiento en la forma indicada en la tabla.

### **Mitigación del Riesgo**

El análisis del riesgo es a menudo interactivo con los efectos de las medidas de mitigación del riesgo que se valoren. Esto puede influenciar la probabilidad o características de los deslizamientos (ejemplo reducir su volumen a velocidad), elementos en riesgo (ejemplo sistemas de alarma) o la vulnerabilidad. La efectividad de las medidas de mitigación del riesgo puede valorarse en un sentido económico o en una reducción potencial de muertes.



### Limitaciones del análisis y valoración del riesgo

En grupo de Deslizamientos del IUGS (1997) indica una serie de limitaciones al análisis y valoración del riesgo para taludes y deslizamientos, los cuales se indican a continuación:

- a. El contenido de criterio o prejuicio en los datos utilizados para el análisis puede resultar en que los valores de los riesgos valorados tengan una incertidumbre inherente.
- b. La variedad de formas en que se puede analizar los problemas puede significar una diferencia muy grande en los resultados si el mismo problema es considerado por diferentes profesionales.

**Tabla 2.6. Análisis de riesgo con relación a las personas (Bergren-1992)**

| Población afectada  | A<br>Número de<br>Personas | B<br>Factor de<br>Presencia | Población<br>amenazada<br>= Ax B |
|---|----------------------------|-----------------------------|----------------------------------|
| <b>Residentes</b>   |                            |                             |                                  |
| Personas que viven permanentemente                                      |                            | 1                           |                                  |
| Personas que vienen los fines de semana (cabañas)                       |                            | 0.3                         |                                  |
| Personas que permanecen en hoteles (Número de camas)                    |                            | 0.5                         |                                  |
| Pacientes en Hospitales (Número de camas)                               |                            | 1                           |                                  |
| Pacientes en Ancianatos (Número de camas)                               |                            | 1                           |                                  |
| <b>Visitantes de Día</b>  |                            |                             |                                  |
| Número de Empleados de Oficinas o Fábricas, alumnos y niños en colegios |                            | 0.35                        |                                  |
| Número promedio de clientes de almacenes y Centros comerciales          |                            | 0.008                       |                                  |
| Otros visitantes ocasionales  |                            | 0.008                       |                                  |
| <b>Personas en Automóviles y autobuses</b>                              |                            |                             |                                  |
| Más de 5000 vehículos promedio por día                                  |                            | 0.01                        |                                  |
| 500 a 5000 vehículos por día  |                            | 0.005                       |                                  |
| Menos de 500 vehículos por día  |                            | 0.001                       |                                  |

**Fuente:** GERMÁN CUJAR CHAMORRO. *Estabilidad de taludes. Colombia: Popayán Colombia, universidad del cauca; diciembre 1992. (Cap. 11. 372 pág.)*

**Tabla 2.7. Análisis de riesgo con relación a propiedades (bergren-1992)**

| Propiedades Afectadas                                | Número de unidades | Factor de Cálculo        | Valor de las propiedades amenazadas en dólares |
|--|--------------------|--------------------------|--|
| <b>Casas</b>   |                    | Valor unitario           |  |
| Casas de área menor a 90 m <sup>2</sup>              |                    |                          |  |
| Casas de área de 90 a 130 m <sup>2</sup>             |                    |                          |  |
| Casas de área de 130 a 200 m <sup>2</sup>            |                    |                          |  |
| Casas de área de más de 200 m <sup>2</sup>           |                    |                          |  |
| <b>Edificios</b>                                     |                    | Valor por m <sup>2</sup> |  |
| Metros cuadrados de Edificios de vivienda            |                    |                          |  |
| Metros cuadrados de Escuelas, Oficinas y Almacenes   |                    |                          |  |
| Metros cuadrados de Bodegas y Edificios Industriales |                    |                          |  |
| <b>Estructuras Especiales</b>                        |                    | Valor unitario           |  |
| Puentes  |                    |                          |  |
| Estaciones Eléctricas                                |                    |                          |  |
| Instalaciones de Agua, Gas, Tuberías diversas, etc.  |                    |                          |  |
| <b>Áreas diversas</b>                                |                    | Valor hectárea           |  |
| Jardines   |                    |                          |  |
| Calles, parqueaderos y áreas duras                   |                    |                          |  |
| Bosques  |                    |                          |  |
| Áreas agrícolas                                      |                    |                          |  |

**Fuente:** GERMÁN CUJAR CHAMORRO. *Estabilidad de taludes. Colombia: Popayán Colombia, universidad del cauca; diciembre 1992. (Cap. 11. 372 pág.)*

- c. La revisión de una valoración puede traer un cambio significativo en los resultados debido a que existe cada día mayor información.
- d. La inhabilidad para reconocer una amenaza conduce a una subestimación del riesgo.
- e. Los resultados de una valoración rara vez son verificables.
- f. Las metodologías generalmente, no son ampliamente aceptadas y muchas veces existe aversión a su utilización.
- g. Es muy posible que el costo de la valoración puede superar el beneficio de la

técnica en la elaboración de la decisión, especialmente cuando se requiere información muy compleja de obtener.

h. Los criterios de riesgo aceptable y tolerable para taludes y deslizamientos no están bien establecidos.

i. Es difícil valorar con precisión el riesgo para eventos de baja probabilidad.

#### Situación legal frente al riesgo

Los municipios y las entidades territoriales según el caso tienen el deber legal de prevenir los riesgos especialmente contra eventos previsibles, a veces producto de la ineficiencia de los servicios públicos a su cargo. Con base en los resultados de los análisis de riesgo los municipios, corporaciones, empresas de servicios públicos, etc., deben tomar las medidas administrativas o judiciales con el objeto de minimizar o eliminar el riesgo a la pérdida de vidas humanas o bienes materiales.

En una situación de riesgo inminente debido a lluvias intensas por ejemplo, se puede obligar a un morador a salir de su casa de habitación incluso con el uso de la policía, si es necesario y el Municipio debe velar por la seguridad de los bienes abandonados en virtud de esta relocalización para prevenir saqueos, por ejemplo. Superada la situación de riesgo el Municipio debe autorizar el regreso de los moradores y exigir la realización de las obras de seguridad, de acuerdo a las responsabilidades de cada entidad o personas.

Generalmente estas obras deben ser realizadas por los propios Municipios. En el caso de riesgo grave se puede recurrir a declaratoria de “Emergencia Manifiesta”, la cual le da herramientas administrativas que permiten agilidad en la contratación de consultoría y construcción de obras de prevención y control.

- Caracterización y manejo del riesgo

La caracterización entre otras cosas debe definir la existencia de situaciones de riesgo localizado o generalizado.

En el caso de una situación de emergencia se deben tomar decisiones en forma inmediata para eliminar o reducir determinada situación de riesgo localizado, debido a la inminencia de los procesos de inestabilización, especialmente cuando la emergencia coincide con el periodo lluvioso.

Las soluciones pueden estar destinadas a relocalizar preventivamente a los habitantes o a construir obras inmediatas de emergencia, las cuales dependen de la claridad técnica que se tenga de la amenaza y la posibilidad técnica o material para la construcción de obras adecuadas de control.

En el caso de una situación de riesgo permanente o a largo plazo se deben establecer las medidas definitivas adecuadas para controlar los fenómenos, los cuales pueden estar directamente ligados a la ocurrencia de lluvias. Esto significa que puede existir un tiempo suficiente para un análisis detallado, diseño de obras, contratación, etc.

Para las situaciones de riesgo generalizado para un grupo grande de población, las decisiones de evacuación o la construcción de obras de control requieren de una ponderación mucho más exigente, los cuales deben ser analizados en forma interdisciplinaria por los diversos profesionales que tienen la responsabilidad de la toma de decisiones. En estos casos las situaciones pueden salirse de la posibilidad física de manejo por parte de los municipios y puede ser conveniente acudir a la Oficina Nacional para la Prevención de Desastres o al Gobierno Nacional.

El manejo del riesgo puede significar el vivir con el riesgo en ese caso el riesgo debe manejarse y evaluarse para permitir su manejo. Lo cual equivale, a que el mapeo es una de las herramientas más importantes. Las soluciones a los casos de riesgo, no tienen una receta única y las soluciones ideales generalmente, no existen.

La inestabilidad de taludes y laderas es un problema de alta complejidad y todavía muy poco entendido y es difícil definir una dirección correcta de manejo. El mapeo de zonas de riesgo todavía es una evaluación tipo ejercicio y aunque es indispensable en muchos casos, no provee información suficiente para el diseño de las soluciones. (Leroi, 1996).

## Otros métodos para analizar el Riesgo

### Método Fine

| VALORACIÓN DEL RIESGO SEGÚN MÉTODO FINE  |   |  |
|--|---|--|
| FACTOR   | CLASIFICACIÓN   | VALOR  |
| 1 Consecuencias (C)<br>(resultado más probable de un accidente)                            | 1. Catástrofe: numerosas muertes, daño extenso                                    | 100  |
|  | 2. Múltiples víctimas mortales  | 50   |
|  | 3. Muerte   | 25   |
|  | 4. Lesiones extremadamente graves (amputación, discapacidad permanente)           | 15   |
|  | 5. Lesiones con baja  | 5  |
|  | 6. Heridas leves, contusiones, golpes, pequeños daños                             | 1  |
| 2 Exposición (E)<br>(Frecuencia con que ocurre la situación de riesgo)                     | 1. Continuamente (muchas veces al día)  | 10   |
|  | 2. Frecuentemente (aprox. una vez al día)   | 6  |
|  | 3. Ocasionalmente (de una vez por semana a una vez al mes)                        | 3  |
|  | 4. De forma extraordinaria (de una vez al mes a una vez al año)                   | 2  |
|  | 6. Raramente (se sabe que ocurre)   | 1  |
|  | 7. Remotamente posible (no se sabe que haya ocurrido)                             | 0,5  |
|  | 3 Probabilidad (P)<br>(Probabilidad de que la secuencia de accidente se complete) | 1. Es el resultado más probable y esperado si la situación de riesgo tiene lugar |
| 2. Es completamente posible, nada extraño, tiene una probabilidad del 50%                  |   | 6  |
| 3. Sería una secuencia o coincidencia rara   |   | 3  |
| 4. Sería una coincidencia remotamente posible. Se sabe que ha ocurrido.                    |   | 1  |
| 5. Extremadamente remota pero concebible. (Nunca ha sucedido en muchos años de exposición) |   | 0,5  |
| 6. Secuencia o coincidencia prácticamente imposible (probabilidad de una entre un millón)  |   | 0,1  |

| GRADO DE RIESGO | CLASIFICACIÓN DEL RIESGO            | ACTUACIÓN                                 |
|-----------------|-------------------------------------|---|
| Mayor de 400    | Riesgo Muy Alto (grave e inminente) | Detención inmediata de la actividad       |
| Entre 200 y 400 | Riesgo Alto                         | Corrección inmediata                      |
| Entre 70 y 200  | Riesgo Notable                      | Corrección necesaria urgente              |
| Entre 20 y 70   | Riesgo Moderado                     | Debe corregirse pero no es una emergencia |
| Menos de 20     | Riesgo Aceptable                    | Puede omitirse corrección                 |

## Factores para la obtención del riesgo por el método del IGECC

| CATEGORÍA                 | FACTORES                   |                                | 3                 |
|---------------------------|----------------------------|--------------------------------|-------------------|
|                           | Características del talud  | Altura del talud               |                   |
| Mantenimiento/Limpieza    |                            | Menor                          |                   |
| Ángulo                    |                            | Suelo                          | < 30°             |
|                           |                            | Roca                           | Categoría < 2     |
|                           |                            | Irregularidades                | Ninguna           |
| Tipo de sección del corte |                            | Cajón                          |                   |
| Área de Captación         |                            | Clase 1. 95 % a 100 %          |                   |
| Veget.                    |                            | Cuerpo                         | Poblado/Arbustivo |
|                           |                            | Corona                         | Poblado/Arbóreo   |
| Clima                     |                            | Precipitación media anual (mm) |                   |
|                           | Infiltración/Agua presente |                                | Sin humedad       |

| PUNTUACIONES                              |  |                                  |
|---|--|----------------------------------|
| 9   | 27   | 81                               |
| 5 m a 10 m                                | > 10 m a 20 m                              | > 20 m                           |
| Moderado                                  | Alto                                       | Muy alto                         |
| 30° ≤ ángulo ≤ 40°                        | 40° < ángulo ≤ 60°                         | > 60°                            |
| 2 ≤ Categoría < 4                         | 4 ≤ Categoría ≤ 8                          | Categoría > 8                    |
| Menor                                     | Moderada                                   | Mayor                            |
| Cajón con fallas en pav.                  | Balcón                                     | Balcón con fallas en pav.        |
| Clase 2. 65 % a 94 %                      | Clase 3. 30 % a 64 %                       | Clase 4. < 30%                   |
| Poblado/Herbáceo                          | Semidesnudo/Herbáceo                       | Desnudo                          |
| Poblado/Arbustivo,<br>Semidesnudo/Arbóreo | Poblado/Herbáceo,<br>Semidesnudo/Arbustivo | Desnudo,<br>Semidesnudo/Herbáceo |
| 200 < Precipitación ≤ 500                 | 500 < Precipitación ≤ 850                  | > 850                            |
| Humedo/mojado                             | Goteando                                   | Agua escurriendo                 |

## Puntuaciones para cada factor causante de riesgo

| Puntuaciones | Nivel    |
|--------------|----------|
| 3            | Bajo     |
| 9            | Medio    |
| 27           | Alto     |
| 81           | Muy alto |

Fuente:

[www.ccoo.cat/pdf\\_documents/SL%202022%20Evaluación%20de%20Riesgos.pdf](http://www.ccoo.cat/pdf_documents/SL%202022%20Evaluación%20de%20Riesgos.pdf)





**Figura 3.2 Ubicación de taludes en la ciudad**



**Fuente:** *google earth*

Talud 1.-Gallinazo subida a San Jacinto.- se encuentra ubicado a una latitud:  $21^{\circ}33'03.47''S$  y longitud:  $64^{\circ}44'13.59''O$ , a una elevación de 1912 metros.

Talud 2.- Subida al hotel Los Parrales.- se encuentra ubicado a una latitud:  $21^{\circ}31'18.69''S$  y longitud:  $64^{\circ}45'21.13''O$ , a una elevación de 1919 metros.

Talud 3.- Barrio Carlos Warner.- se encuentra ubicado a una latitud:  $21^{\circ}30'09.78''S$  y longitud:  $64^{\circ}45'12.07''O$ , a una elevación de 1952 metros.

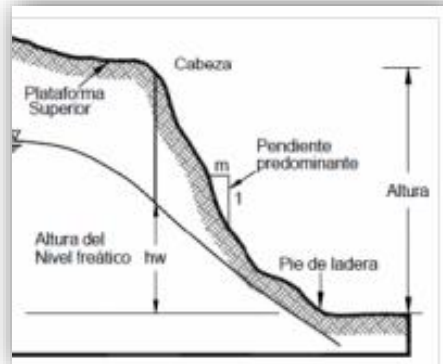
Talud 4.- Av. Integración.- se encuentra ubicado a una latitud:  $21^{\circ}30'50.81''S$  y longitud:  $64^{\circ}44'58.27''O$ , a una elevación de 1912 metros.

Talud 5.- Barrio San Antonio.- se encuentra ubicado a una latitud:  $21^{\circ}31'51.70''S$  y longitud:  $64^{\circ}44'58.80''O$ , a una elevación de 1909 metros.



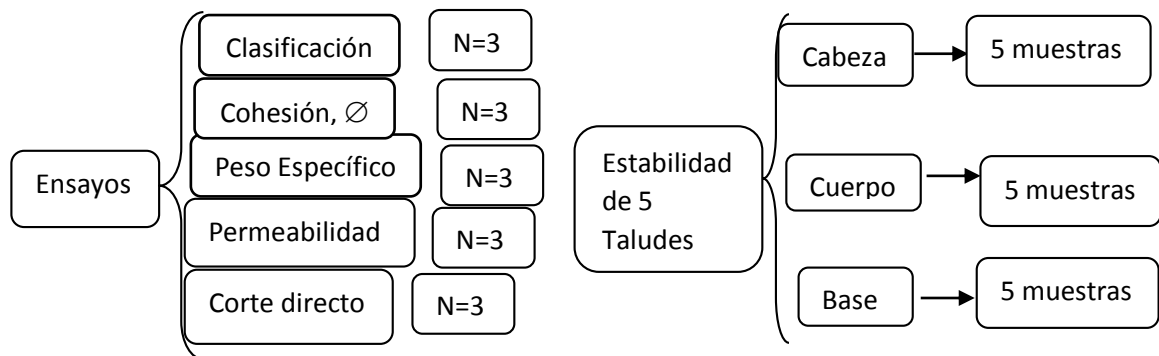
### 3.2. CARACTERÍSTICAS DE LOS COMPONENTES DEL TALUD

Teniendo reconocido los lugares a analizar, sacar las muestras de cada talud, 5 kg del pie, 5 kg del medio y 5 kg de la cabeza de cada talud identificado anteriormente.



Con estas muestras sacadas de suelo llevo a laboratorio de suelos de la universidad autónoma Juan Misael Saracho y comienzo el análisis requerido para establecer el riesgo de los taludes.

#### *Esquema 3.1 prácticas realizadas*



Estos son los ensayos que se harán en el laboratorio de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho.

**Talud 1.-** El gallinazo subida a San Jacinto

**Figura 3.3 Talud 1**



Este talud esta ubicado en el barrio German Bush carretera a San Jacinto llamado el gallinazo, es una zona muy transitada en algunas epocas del año porque el lago San Jacinto es un lugar turístico de la ciudad de Taija y hay eventos como la exposur q se realizan en el campo ferial o ferias en Tolomasa, Tablada, Pampa Redonda y tambien hay colegios que se sitúan en esta zona que provoca la masiva transitabilidad de personas por este lugar.

Forma geométrica.- el gallinaso tiene un agulo de  $\alpha = 81.5^\circ$ , una altura de 9 metros.

Material y condiciones geológicas.- es un suelo arenoso muy suelto y en la cabeza del talud cuenta con vegetación en la cabeza del talud.

Posibles riesgos.- existe riesgo de pequeños deslizamientos lo que muestra en las imágenes algunas piedras y suelo en las orillas de la calzada.

**Talud 2.-** Subida al Hotel Los Parrales**Figura 3.4 Talud 2**

El siguiente talud está ubicado en el barrio San Antonio, subida al hotel Los Parrales, Forma geométrica.- con un ángulo de  $\alpha = 73,85^\circ$  y una altura de 7,3 metros

Material y condiciones geológicas.- es un suelo arcilloso con vegetación en la cabeza del talud, encima del talud se encuentra un depósito de máquinas que proporciona peso en el talud, en la acera se encontraron piedras y terrones de suelo que caen del talud.

Posibles riesgos.- existe riesgo de pequeños deslizamientos, un análisis cuidadoso de las condiciones geológicas en el escenario de la planificación del terreno, antes de empezar el desarrollo, puede ayudar a reducir los riesgos de cada uno de los peligros naturales.

**Talud 3.-** Barrio Carlos Warner

**Figura 3.5** *Talud 3*



Este talud se encuentra en el barrio Carlos Warner

Forma geométrica.- con un ángulo de  $\alpha = 85,35^\circ$  y una altura considerable de 15,16 metros,

Material y condiciones geológicas.- es un suelo arcilloso en su granulometría se analizará a profundidad.

Posibles riesgos.- es el talud con más riesgo que se puede visualizar porque en el pie del talud están 2 casas sin ninguna protección y al ras del talud, una de estas casas es una ladrillería que utiliza este talud como su material principal para su ejecución, en el medio del talud existen excavaciones que hicieron éstos para utilizar el material haciendo uso indiscriminado y riesgoso de este talud que tiene una gran altura.

**Talud 4.- Av. Integración****Figura 3.6 Talud 4**

Forma geométrica.- Este talud tiene un ángulo de  $\alpha = 72,93^\circ$  una altura de 10,42 metros está ubicado casi al final de la avenida Integración donde se une con la avenida Circunvalción.

Material y condiciones geológicas.- también es un suelo arcilloso

Posibles riesgos.- se ve que es un talud más estable porque tiene una cuneta antes de la acera y no se ven muchos rastros de suelo y piedras caídas. En la cabeza del talud hicieron un botadero de basura que da una mala impresión del barrio que se ubica en esa zona, en otro sector de la cabeza del talud se encuentra un parque para niños.



**Talud 5.- San Antonio****Figura 3.7 Talud 5**

Forma geométrica.- Ubicado en el barrio San Antonio con un ángulo de  $\alpha = 73,74^\circ$  y una altura de 4,8 metros.

Material y condiciones geológicas.- un suelo arcilloso con mucha piedra en su parte exterior.

Posibles riesgos.- tiene dos curvas bastantes cerradas, y se observa mucha piedra en el pie del talud y en la misma calzada, es una zona peligrosa por la visibilidad en las curvas, hay una casa encima del talud que proporciona fuerzas externas.

### 3.2.1. DE MUESTREO

**Proceso de muestreo:** Lo primero que se debe hacer es definir el área a muestrear, en este caso se trata de 5 taludes dentro de la ciudad de Tarija y la extracción de muestras se realizara de cada talud, cuerpo, medio y base

**Color:** La muestra extraída depende del suelo de cada talud puede ser orgánico o inorgánico.

**Textura:** La textura de las muestras extraídas en cada talud tiene que ser parecidas, ya que se trata de un mismo talud.

Después de seleccionar el área del muestreo, se establece la profundidad de muestreo de acuerdo con el tipo de estudio a realizar, en nuestro caso se extrae el suelo de una profundidad de 30 cm. Para analizar con granulometría.

#### **Materiales y herramientas:**

Se recomienda que los materiales y herramientas utilizadas en el muestreo se encuentren limpios y libres de contaminantes que afecten la muestra tomada.

1. Bolsas limpias de yute y negras nailon para recolectar

**Figura 3.8 Suelo del Talud extraído**



2. Pala para remover y realizar la excavación de suelos.
3. Marcador de tinta permanente para identificar las muestras.

4. cinta métrica para medir alturas y longitudes del talud.

**Figura 3.9** *Realización de la extracción del material*



**Fuente:** *Elaboración Propia.*

En cada talud señalado anteriormente saque medidas de longitud, altura y angulos con ayuda de una cinta metrica y con una pala saque la muestra de suelo del pie del talud, del medio y cabeza del talud para llevar al laboratorio y analizarla.

Instrucciones de muestreo

- Subir a la cabeza del talud para sacar la muestra necesaria.



- Con la picota se realizara una excavación de aproximadamente 30 a 40cm de profundidad para extraer la muestra.
- Se recogerá la muestra con la pala sin contaminar con otro tipo de material, y se las depositara en las bolsas.
- Con un marcador se registrara en la bolsa con la muestra extraída de cada parte del talud.

### 3.2.2. ENSAYOS DE LABORATORIO

Todas las muestras sacadas de los taludes mencionados anteriormente son arcillas y limos.

Los laboratorios realizados son:

Peso específico

Granulometría

Límites

Clasificación de suelos

Densidad in situ



estos ensayos se los realizó de cada una de las muestras sacadas de los taludes (pie, medio, cabeza)

Y para los siguientes ensayos se hizo 5 muestras una de cada talud una vez analizada la clasificacion de suelos.

- Corte directo
- Permeabilidad

### 3.2.3 GRANULOMETRÍA

Objetivo.-

Obtener el porcentaje de material que pasa en cada tamiz, para luego graficar una curva granulometrica y asi tener una vision de la distribucion del tamaño de los grano presentes en una masa de suelo.

Material.-

Los materiales que se utilizaron fueron los siguientes:

- Muestra de suelo
- Juego de tamices
- Balanza de sensibilidad 0.1 gr.
- Bandejas

**Figura 3.10** *Realización de la granulometría método de lavado*





Elaboración Propia

**El procedimiento y la descripción de la práctica se verán en el ANEXO 1**

### 3.2.3.1. Resultados de Granulometría de los 5 Taludes

**Tabla 3.1 Granulometría Talud 1 Gallinazo Subida a San Jacinto**

| <b>Talud 1</b>         | <b>Cabeza</b>                       | <b>Medio</b>                        | <b>Pie</b>                          |
|------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| <b>Tamaño<br/>(mm)</b> | <b>% Que<br/>Pasa<br/>del Total</b> | <b>% Que<br/>Pasa<br/>del Total</b> | <b>% Que<br/>Pasa<br/>del Total</b> |
| 75                     | 100,00                              | 100,00                              | 100,00                              |
| 63,5                   | 100,00                              | 100,00                              | 100,00                              |
| 50                     | 100,00                              | 100,00                              | 100,00                              |
| 37,50                  | 100,00                              | 100,00                              | 100,00                              |
| 25,00                  | 100,00                              | 100,00                              | 100,00                              |
| 19,00                  | 100,00                              | 100,00                              | 100,00                              |
| 12,50                  | 100,00                              | 100,00                              | 100,00                              |
| 9,50                   | 100,00                              | 100,00                              | 100,00                              |
| 4,75                   | 100,00                              | 100,00                              | 100,00                              |
| 2,00                   | 99,28                               | 99,51                               | 99,31                               |
| 0,425                  | 91,68                               | 92,36                               | 91,12                               |
| 0,075                  | 18,11                               | 15,30                               | 23,54                               |

**Tabla 3.2 Granulometría Talud 2 Subida al hotel los parrales**

| <b>Talud 2</b>         | <b>Cabeza</b>                       | <b>Medio</b>                        | <b>Pie</b>                          |
|------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| <b>Tamaño<br/>(mm)</b> | <b>% Que<br/>Pasa<br/>del Total</b> | <b>% Que<br/>Pasa<br/>del Total</b> | <b>% Que<br/>Pasa<br/>del Total</b> |
| 75                     | 100,00                              | 100,00                              | 100,00                              |
| 63,5                   | 100,00                              | 100,00                              | 100,00                              |
| 50                     | 100,00                              | 100,00                              | 100,00                              |
| 37,50                  | 100,00                              | 100,00                              | 100,00                              |
| 25,00                  | 100,00                              | 100,00                              | 100,00                              |
| 19,00                  | 100,00                              | 100,00                              | 100,00                              |
| 12,50                  | 100,00                              | 100,00                              | 100,00                              |
| 9,50                   | 100,00                              | 100,00                              | 100,00                              |
| 4,75                   | 100,00                              | 100,00                              | 100,00                              |
| 2,00                   | 92,97                               | 95,47                               | 92,09                               |
| 0,425                  | 78,50                               | 82,61                               | 76,09                               |
| 0,075                  | 53,10                               | 51,14                               | 42,77                               |

**Tabla 3.3 Granulometría Talud 3 Barrio Carlos Warner**

| <b>Talud 3</b>         | <b>Cabeza</b>                       | <b>Medio</b>                        | <b>Pie</b>                          |
|------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| <b>Tamaño<br/>(mm)</b> | <b>% Que<br/>Pasa<br/>del Total</b> | <b>% Que<br/>Pasa<br/>del Total</b> | <b>% Que<br/>Pasa<br/>del Total</b> |
| 75                     | 100,00                              | 100,00                              | 100,00                              |
| 63,5                   | 100,00                              | 100,00                              | 100,00                              |
| 50                     | 100,00                              | 100,00                              | 100,00                              |
| 37,50                  | 100,00                              | 100,00                              | 100,00                              |
| 25,00                  | 100,00                              | 100,00                              | 100,00                              |
| 19,00                  | 100,00                              | 100,00                              | 100,00                              |
| 12,50                  | 100,00                              | 100,00                              | 100,00                              |
| 9,50                   | 100,00                              | 100,00                              | 100,00                              |
| 4,75                   | 100,00                              | 100,00                              | 100,00                              |
| 2,00                   | 99,51                               | 99,07                               | 98,07                               |
| 0,425                  | 86,13                               | 81,71                               | 75,15                               |
| 0,075                  | 54,61                               | 55,79                               | 53,10                               |

**Tabla 3.4 Granulometría Talud 4 Av. Integración**

| <b>Talud 4</b>         | <b>Cabeza</b>                       | <b>Medio</b>                        | <b>Pie</b>                          |
|------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| <b>Tamaño<br/>(mm)</b> | <b>% Que<br/>Pasa<br/>del Total</b> | <b>% Que<br/>Pasa<br/>del Total</b> | <b>% Que<br/>Pasa<br/>del Total</b> |
| 75                     | 100,00                              | 100,00                              | 100,00                              |
| 63,5                   | 100,00                              | 100,00                              | 100,00                              |
| 50                     | 100,00                              | 100,00                              | 100,00                              |
| 37,50                  | 100,00                              | 100,00                              | 100,00                              |
| 25,00                  | 100,00                              | 100,00                              | 100,00                              |
| 19,00                  | 100,00                              | 100,00                              | 100,00                              |
| 12,50                  | 100,00                              | 100,00                              | 100,00                              |
| 9,50                   | 100,00                              | 100,00                              | 100,00                              |
| 4,75                   | 100,00                              | 100,00                              | 100,00                              |
| 2,00                   | 99,71                               | 99,67                               | 100,00                              |
| 0,425                  | 86,25                               | 89,78                               | 92,84                               |
| 0,075                  | 65,63                               | 56,90                               | 62,38                               |

**Tabla 3.5 Granulometría Talud 5 Barrio San Antonio**

| <b>Talud 5</b>         | <b>Cabeza</b>                       | <b>Medio</b>                        | <b>Pie</b>                          |
|------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| <b>Tamaño<br/>(mm)</b> | <b>% Que<br/>Pasa<br/>del Total</b> | <b>% Que<br/>Pasa<br/>del Total</b> | <b>% Que<br/>Pasa<br/>del Total</b> |
| 75                     | <b>25,00</b>                        | <b>75,00</b>                        | <b>100,00</b>                       |
| 63,5                   | <b>36,50</b>                        | <b>63,50</b>                        | <b>100,00</b>                       |
| 50                     | <b>50,00</b>                        | <b>50,00</b>                        | <b>100,00</b>                       |
| 37,50                  | <b>62,50</b>                        | <b>37,50</b>                        | <b>100,00</b>                       |
| 25,00                  | <b>75,00</b>                        | <b>25,00</b>                        | <b>100,00</b>                       |
| 19,00                  | <b>81,00</b>                        | <b>19,00</b>                        | <b>100,00</b>                       |
| 12,50                  | <b>87,50</b>                        | <b>12,50</b>                        | <b>100,00</b>                       |
| 9,50                   | <b>90,50</b>                        | <b>9,50</b>                         | <b>100,00</b>                       |
| 4,75                   | <b>95,25</b>                        | <b>4,75</b>                         | <b>100,00</b>                       |
| 2,00                   | <b>98,00</b>                        | <b>2,00</b>                         | <b>99,79</b>                        |
| 0,425                  | <b>99,58</b>                        | <b>0,42</b>                         | <b>84,07</b>                        |
| 0,075                  | <b>99,93</b>                        | <b>0,08</b>                         | <b>60,83</b>                        |

**Fuente:** *Elaboración Propia*

La granulometría de los 5 taludes nos muestra que son suelos finos, materiales limo arcillosos mas de 35% del total pasa el tamiz N°200, consiste en su mayor parte en minerales arcillosos, tacto suave, se secan lentamente y se pegan en los dedos.

El talud N°1 que pertenece al gallinazo en la subida a San Jacinto es el unico suelo de arena fina, particulas visibles, en general no plásticas.

### 3.2.4. LÍMITES

Límite líquido (LL).- Es un contenido de humedad (%), que presenta un suelo cuando a los 25 golpes del aparato de casagrande, se cierra la abertura hecha con un ranurador que se encuentra normalizado.

LÍMITE PLÁSTICO LP.- Es un contenido de humedad (%), que tiene el suelo cuando el mismo empieza a producir grietas y desmoronamientos, al construir con la mano pequeños cilindros de 3mm de diámetro.

Objetivo.-

Saber usar los equipos y aprender la metodología que sirve para la determinación de los índices de plasticidad que presentan los suelos a consecuencia de los efectos que tiene la humedad en mismos.

**Figura 3.11 Procedimiento para límite líquido**



Preparación del material aumentando agua



Material listo para llevar al horno

**Fuente:** *Elaboración Propia*

**El procedimiento y la descripción de la práctica se verán en el ANEXO 1**

**Figura 3.12** *Procedimiento para límite Plástico*



**Fuente:** *Elaboración Propia*



### 3.2.4.1. RESULTADOS DE LÍMITES DE LOS TALUDES

Talud 5 Barrio San Antonio (cabeza)

|                            |
|----------------------------|
| Límite Líquido (LL)        |
| <b>45,19</b>               |
| Límite Plástico (LP)       |
| <b>16,12</b>               |
| Índice de plasticidad (IP) |
| <b>29,07</b>               |
| Índice de Grupo (IG)       |
| <b>17</b>                  |

CLASIFICACION AASHTO:  
Corresponde a un suelo A-7  
CLASIFICACION SUCS:  
Corresponde a un CL

Talud 5 Barrio San Antonio (medio)

|                            |
|----------------------------|
| Límite Líquido (LL)        |
| <b>43,21</b>               |
| Límite Plástico (LP)       |
| <b>14,11</b>               |
| Índice de plasticidad (IP) |
| <b>29,10</b>               |
| Índice de Grupo (IG)       |
| <b>16</b>                  |

CLASIFICACION AASHTO:  
Corresponde a un suelo A-7  
CLASIFICACION SUCS:  
Corresponde a un CL

Talud 5 Barrio San Antonio (Pie)

|                            |
|----------------------------|
| Límite Líquido (LL)        |
| <b>48,12</b>               |
| Límite Plástico (LP)       |
| <b>16,98</b>               |
| Índice de plasticidad (IP) |
| <b>31,14</b>               |
| Índice de Grupo (IG)       |
| <b>30</b>                  |

CLASIFICACION AASHTO:  
Corresponde a un suelo A-7  
CLASIFICACION SUCS:  
Corresponde a un CH

**Tabla 3.6 Resultados de límites**

|                | Límite Líquido         | Límite Plástico | Índice de plasticidad | Clasificación AASTHO | Clasificación SUCS |
|----------------|------------------------|-----------------|-----------------------|----------------------|--------------------|
| talud 1 Cabeza | Arena fina sin límites |                 |                       |                      |                    |
| talud 1 medio  |                        |                 |                       |                      |                    |
| talud 1 Pie    |                        |                 |                       |                      |                    |
| talud 2 Cabeza | 32,49                  | 20,01           | 12,48                 | A - 6                | ML                 |
| talud 2 medio  | 36,54                  | 21,5            | 15,04                 | A - 6                | ML                 |
| talud 2 Pie    | 38,02                  | 16,78           | 21,24                 | A - 6                | ML                 |
| talud 3 Cabeza | 23,81                  | 18,47           | 5,34                  | A - 4                | ML                 |
| talud 3 Medio  | 24,93                  | 15,92           | 9,01                  | A - 4                | ML                 |
| talud 3 Pie    | 18,31                  | 12,63           | 5,68                  | A - 4                | ML                 |
| talud 4 Cabeza | 24,03                  | 12,78           | 11,25                 | A - 6                | CL                 |
| talud 4 Medio  | 23,59                  | 12,29           | 11,3                  | A - 6                | ML                 |
| talud 4 Pie    | 42,92                  | 11,76           | 31,16                 | A - 7                | CH                 |
| talud 5 Cabeza | 45,19                  | 16,12           | 29,07                 | A - 7                | CL                 |
| talud 5 Medio  | 43,21                  | 14,11           | 29,1                  | A - 7                | CL                 |
| talud 5 Pie    | 48,12                  | 16,98           | 31,14                 | A - 7                | CH                 |

**Fuente:** *Elaboración Propia*

Para los límites los suelos plásticos son suelos finos, arcillas, se deforma bajo la acción de una fuerza, todos los taludes tienen límite líquido y límite plástico con excepción del talud N°1 que no tiene plasticidad por ser un suelo de arena fina.

### 3.2.5. PERMEABILIDAD

La permeabilidad es la capacidad que tiene un material de permitirle a un flujo que lo atraviese sin alterar su estructura interna. Se afirma que un material es permeable si deja pasar a través de él una cantidad apreciable de fluido en un tiempo dado, e impermeable si la cantidad de fluido es despreciable.

La velocidad con la que el fluido atraviesa el material depende de tres factores básicos:

- la porosidad del material;
- la densidad del fluido considerado, afectada por su temperatura;
- la presión a que está sometido el fluido.

Para ser permeable, un material debe ser poroso, es decir, debe contener espacios vacíos o poros que le permitan absorber fluido. A su vez, tales espacios deben estar interconectados para que el fluido disponga de caminos para pasar a través del material.

La permeabilidad en los suelos juega un papel preponderante en el drenaje del mismo, es por eso que para hacer un diagnóstico es necesario medir la permeabilidad en los estratos de un suelo.

Existen dos métodos generales de laboratorio para determinar directamente el coeficiente de permeabilidad de un suelo. Éstos son el método de carga constante y el método de carga variable.

**Figura 3.13 Permeámetro de carga constante**



- en este caso 25 golpes en cada capa para compactar.

- saturarlo y dejarlo saturado 24 horas.



**Fuente:** *Elaboración propia.*

**El procedimiento y la descripción de la práctica se verán en el ANEXO 1**

El valor del coeficiente de permeabilidad  $K$  varia ampliamente para diferentes suelos. En la tabla se dan algunos valores típicos para suelos saturados. La permeabilidad de suelos no saturados es menor y crece rapidamente con el grado de saturación.

**Tabla 3.7** *Valores típicos de permeabilidad para suelos saturados*

| Tipo de suelo  | k (cm/s)        |
|----------------|-----------------|
| Grava limpia   | 100 - 1         |
| Arena gruesa   | 1 - 0,01        |
| Arena fina     | 0,01 - 0,001    |
| Arcilla limosa | 0,001 - 0,00001 |
| Arcilla        | 0,000001        |

**Fuente:** BRAJA M. DAS. *Fundamentos de la ingeniería Geotécnica* (84 pag.)

### 3.2.5.1. ANÁLISIS DEL LOS PROCESOS DEL RELEVAMIENTO

*Tabla 3.8 Resultados del permeámetro de carga constante*

| Talud 1         | kt (cm/s)    |
|-----------------|--------------|
|                 | 1,531E-02    |
|                 | 1,274E-02    |
|                 | 1,186E-02    |
|                 | 1,655E-02    |
| <b>Promedio</b> | <b>0,014</b> |

| Talud 2         | kt (cm/s)     |
|-----------------|---------------|
|                 | 1,107E-04     |
|                 | 8,432E-05     |
| <b>Promedio</b> | <b>0,0001</b> |

| Talud 3         | kt (cm/s)     |
|-----------------|---------------|
|                 | 1,344E-04     |
|                 | 1,215E-04     |
| <b>Promedio</b> | <b>0,0001</b> |

| Talud 4         | kt (cm/s)     |
|-----------------|---------------|
|                 | 5,560E-05     |
|                 | 7,287E-05     |
| <b>Promedio</b> | <b>0,0001</b> |

| Talud 5         | kt (cm/s)      |
|-----------------|----------------|
|                 | 2,248E-05      |
|                 | 2,957E-05      |
| <b>Promedio</b> | <b>0,00003</b> |

**Fuente:** *Elaboración propia.*

La permeabilidad de los taludes está en el rango de acuerdo a la tabla 3.7 valores típicos de permeabilidad para suelos saturados, toda la elaboración de la práctica se verá en anexos.

### 3.2.6. PESO ESPECÍFICO RELATIVO

El peso específico relativo o gravedad específica de un suelo se toma como el valor promedio para los granos del suelo. Este valor es necesario para calcular la relación de vacíos de un suelo, se utiliza también en el análisis de hidrómetro y es útil para predecir el peso unitario de un suelo.

Objetivo.-

El objetivo principal del ensayo es aprender la metodología para obtener el peso específico relativo de un suelo utilizando las magnitudes de la fórmula principal.

Equipo utilizado.-

Frasco Volumétrico, con marca de enrase. Con curva de calibración.

Termómetro con aproximación de  $0,01^{\circ}\text{C}$

Balanza con aproximación de 0,01 o 0,1 gramos

Accesorios para baño maría

Pipeta

**Figura 3.14** *Realización del ensayo de peso específico*



**Fuente:** *Elaboración propia.*

**El procedimiento y la descripción de la práctica se verán en el ANEXO 1**

|  |  |
|--|--|
| <b>Proyecto: Evaluación de taludes en riesgo de inestabilidad en la ciudad de Tarija</b> | Identificación: talud 1 medio<br>laboratorista: Adriana Gareca Velasquez |
|--|--|

| Numero de ensayo                    | 1           | 2           | 3           | 4           | 5           | 6           | 7           | Promedio    |
|-------------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Temperatura ensayada °C             | 35,00       | 45,00       | 60,00       | 45,00       | 35,00       | 25,00       | 15,00       | <b>2,23</b> |
| Peso del suelo seco Ws              | 80,00       | 80,00       | 80,00       | 80,00       | 80,00       | 80,00       | 80,00       |             |
| Peso del frasco + agua Wfw          | 672,41      | 672,64      | 672,98      | 672,64      | 672,41      | 672,18      | 671,95      |             |
| Peso del frasco + agua + suelo Wfws | 720,77      | 719,82      | 719,20      | 720,56      | 722,70      | 724,85      | 726,79      |             |
| Peso especifico                     | 2,529       | 2,438       | 2,368       | 2,494       | 2,693       | 2,928       | 3,180       |             |
| Factor de corrección K= 0,99791     | 0,99791     | 0,99791     | 0,99791     | 0,99791     | 0,99791     | 0,99791     | 0,99791     |             |
| Peso específico corregido           | <b>2,53</b> | <b>2,44</b> | <b>2,37</b> | <b>2,50</b> | <b>2,70</b> | <b>2,93</b> | <b>3,19</b> |             |

(g/cm<sup>3</sup>)

|  |   |
|--|---|
| <b>Proyecto: Evaluación de taludes en riesgo de inestabilidad en la ciudad de Tarija</b> | Identificación: talud 1 cabeza<br>laboratorista: Adriana Gareca Velasquez |
|--|---|

| Numero de ensayo                    | 1           | 2           | 3           | 4           | 5           | 6           | 7           | Promedio    |
|-------------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Temperatura ensayada °C             | 35,00       | 45,00       | 60,00       | 45,00       | 35,00       | 25,00       | 15,00       | <b>2,29</b> |
| Peso del suelo seco Ws              | 80,00       | 80,00       | 80,00       | 80,00       | 80,00       | 80,00       | 80,00       |             |
| Peso del frasco + agua Wfw          | 672,41      | 672,64      | 672,98      | 672,64      | 672,41      | 672,18      | 671,95      |             |
| Peso del frasco + agua + suelo Wfws | 722,67      | 721,57      | 720,34      | 721,87      | 722,85      | 724,00      | 725,98      |             |
| Peso especifico                     | 2,690       | 2,575       | 2,451       | 2,600       | 2,707       | 2,839       | 3,081       |             |
| Factor de corrección K= 0,99791     | 0,99791     | 0,99791     | 0,99791     | 0,99791     | 0,99791     | 0,99791     | 0,99791     |             |
| Peso específico corregido           | <b>2,70</b> | <b>2,58</b> | <b>2,46</b> | <b>2,61</b> | <b>2,71</b> | <b>2,85</b> | <b>3,09</b> |             |

(g/cm<sup>3</sup>)



|  |  |
|--|--|
| <b>Proyecto: Evaluación de taludes en riesgo de inestabilidad en la ciudad de Tarija</b> | Identificación: talud1Pie<br>laboratorista: Adriana Gareca Velasquez |
|--|--|

| Numero de ensayo                    | 1           | 2           | 3           | 4           | 5           | 6           | 7           | Promedio    |
|-------------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Temperatura ensayada °C             | 35,00       | 45,00       | 60,00       | 45,00       | 35,00       | 25,00       | 15,00       |             |
| Peso del suelo seco Ws              | 80,00       | 80,00       | 80,00       | 80,00       | 80,00       | 80,00       | 80,00       |             |
| Peso del frasco + agua Wfw          | 672,41      | 672,64      | 672,98      | 672,64      | 672,41      | 672,18      | 671,95      |             |
| Peso del frasco + agua + suelo Wfws | 723,20      | 722,40      | 719,20      | 722,80      | 727,70      | 728,50      | 729,7       |             |
| Peso especifico                     | 2,739       | 2,646       | 2,368       | 2,681       | 3,238       | 3,379       | 3,596       |             |
| Factor de corrección K= 0,99791     | 0,99791     | 0,99791     | 0,99791     | 0,99791     | 0,99791     | 0,99791     | 0,99791     |             |
| Peso específico corregido           | <b>2,74</b> | <b>2,65</b> | <b>2,37</b> | <b>2,69</b> | <b>3,24</b> | <b>3,39</b> | <b>3,60</b> | <b>2,32</b> |

(g/cm<sup>3</sup>)

promedio talud 1 = 2,28

El peso específico de los taludes se lo analizo con la tabla que se muestra, los ensayos de los demas taludes se muestran en anexos, donde nos da valores aceptables para los suelos que caracteriza cada talud, el talud N°4 tiene el mayor peso específico de 2,36 gr/cm<sup>3</sup> y el talud N° 3 tiene el valor mas pequeño con un peso específico de 1,86 gr/cm<sup>3</sup>.

### 3.2.6.1 ANÁLISIS DEL LOS PROCESOS DEL RELEVAMIENTO PESO ESPECIFICO

**Tabla 3.9 Resultados del ensayo de peso específico**

|                | Peso específico (g/cm <sup>3</sup> ) | Peso específico promedio |
|----------------|--------------------------------------|--------------------------|
| talud 1 Cabeza | 2,23                                 | 2,28                     |
| talud 1 medio  | 2,29                                 |                          |
| talud 1 Pie    | 2,32                                 |                          |
| talud 2 Cabeza | 2,22                                 | 2,35                     |
| talud 2 medio  | 2,33                                 |                          |
| talud 2 Pie    | 2491                                 |                          |
| talud 3 Cabeza | 1,83                                 | 1,83                     |
| talud 3 Medio  | 1,94                                 |                          |
| talud 3 Pie    | 1,72                                 |                          |
| talud 4 Cabeza | 2,37                                 | 2,36                     |
| talud 4 Medio  | 2,19                                 |                          |
| talud 4 Pie    | 2,52                                 |                          |
| talud 5 Cabeza | 2,04                                 | 2,31                     |
| talud 5 Medio  | 2,34                                 |                          |
| talud 5 Pie    | 2,54                                 |                          |

**Fuente:** *Elaboración propia.*

**El procedimiento y la descripción de la práctica se verán en el ANEXO 1**

### 3.2.7 CORTE DIRECTO

La finalidad de los ensayos de corte, es determinar la resistencia de una muestra de suelo, sometida a fatigas y / o de formaciones que simulen las que existe no existirán en terreno producto de la aplicación de una carga.

Para conocer una de estas resistencias en laboratorio se usa el aparato de corte directo, siendo el más típico una caja de sección cuadrada o circular dividida horizontalmente en dos mitades. Dentro de ella se coloca la muestra de suelo con piedras porosas en ambos extremos, se aplica una carga vertical de confinamiento y luego una carga horizontal creciente que origina el desplazamiento de la mitad móvil de la caja originando el corte de la muestra.

La caja está cortada horizontalmente en dos partes. La fuerza normal sobre el espécimen se aplica desde la parte superior de la caja de corte. El esfuerzo normal sobre los especímenes debe ser tan grande como 1000 KN/m<sup>2</sup>. La fuerza cortante es aplicada moviendo una mitad de la caja respecto de la otra para generar la falla en el espécimen del suelo.

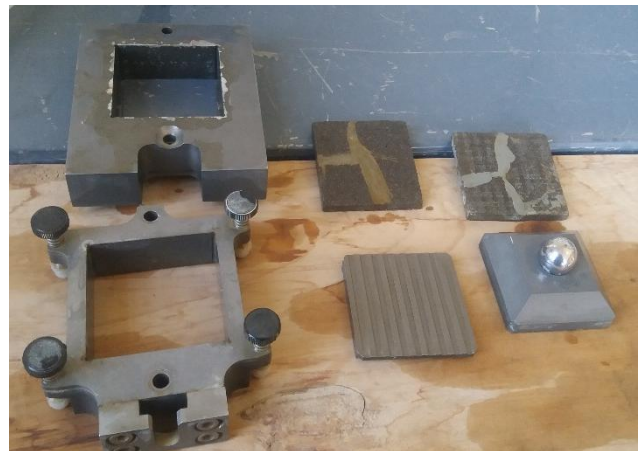
Dependiendo del equipo la prueba de corte puede ser controlada por el esfuerzo o por la deformación unitaria. En las pruebas controladas por el esfuerzo, la cortante es aplicada en incrementos iguales hasta que el espécimen falla, lo cual tiene lugar a lo largo del plano de separación de la caja de corte. Después de la aplicación de cada incremento de carga, el desplazamiento cortante de la mitad superior de la caja se mide por medio de un micrómetro horizontal. El cambio en la altura del espécimen (y por tanto el cambio de su volumen) durante la prueba se obtiene a partir de las lecturas del micrómetro que mide el movimiento vertical de la placa superior de carga.

En pruebas controladas por la deformación unitaria se aplica una razón constante de desplazamiento cortante a una mitad de la caja por medio de un motor que actúa a través de engranes. La tasa constante de desplazamiento cortante se mide con un micrómetro horizontal. La fuerza cortante resistente del suelo correspondiente a cualquier desplazamiento cortante se mide por medio de un anillo de ensaye horizontal o con una celda de carga. El cambio de volumen durante la prueba se

obtiene de manera similar a las pruebas controladas por el esfuerzo. En la fotografía se muestra el equipo utilizado.

La ventaja de las pruebas por deformación unitaria controlada es que, en el caso de arena densa se observa y grafica la resistencia cortante pico (es decir, en la falla) así como resistencias cortantes menores (es decir, en un punto después de la falla llamado resistencia ultima). En las pruebas por esfuerzo controlado, solo la resistencia cortante pico se observa y gráfica. Note que la resistencia cortante pico en las pruebas controladas por el esfuerzo solo es aproximada, debido a que la falla ocurre a un nivel de esfuerzo situado entre el incremento de carga de pre falla y el incremento de carga de falla.

**Figura 3.15** *Equipo de corte directo*





Las 3 agujas del aparato de corte directo



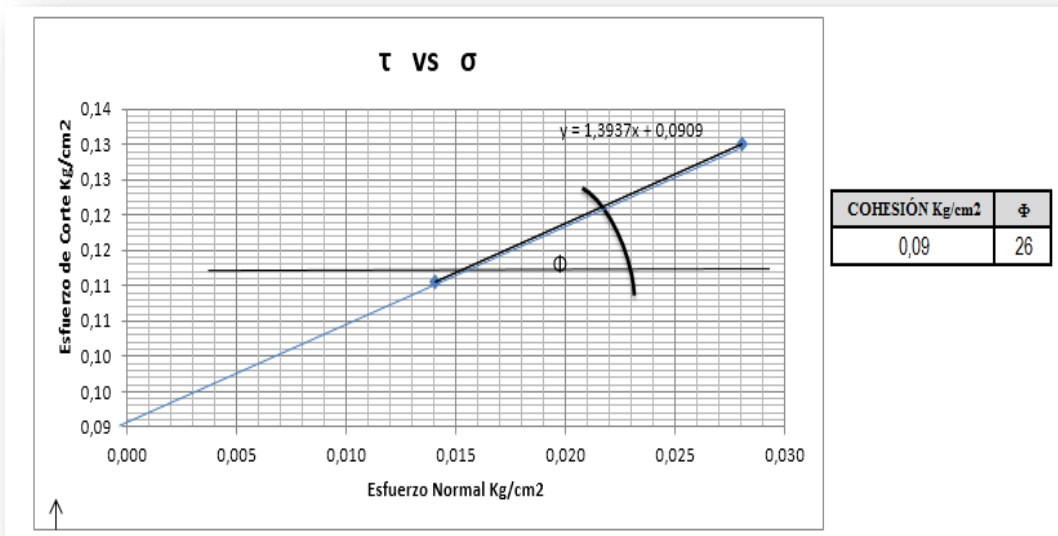
La caja que realiza el corte

**Fuente:** *Elaboración propia.*

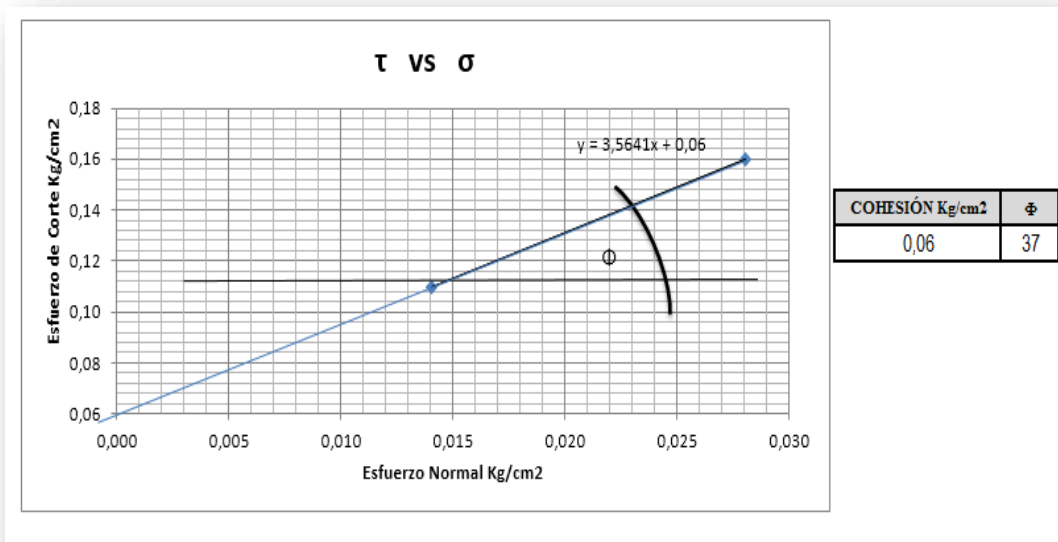
**El procedimiento y la descripción de la práctica se verán en el ANEXO 1**

- Suelo saturado cuatro días (96 horas)

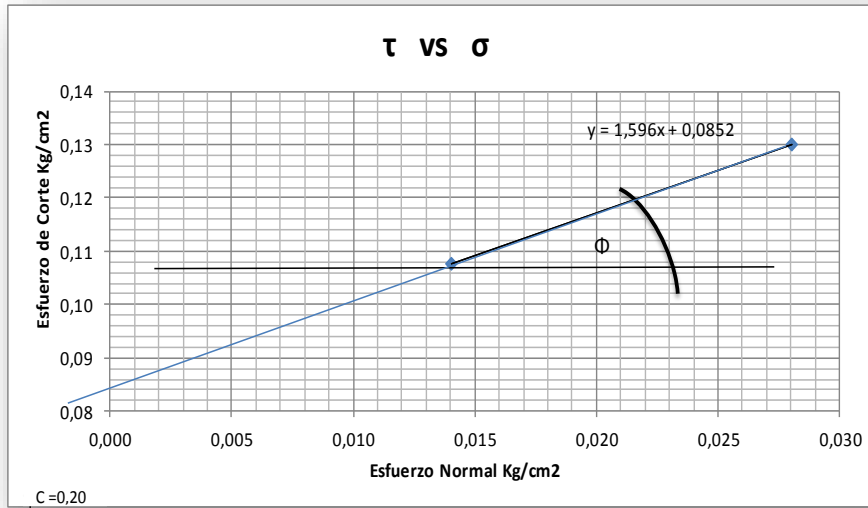
**Talud 1.- Gallinaso subida a San Jacinto**



**Talud 2.- Subida al hotel Los Parrales**

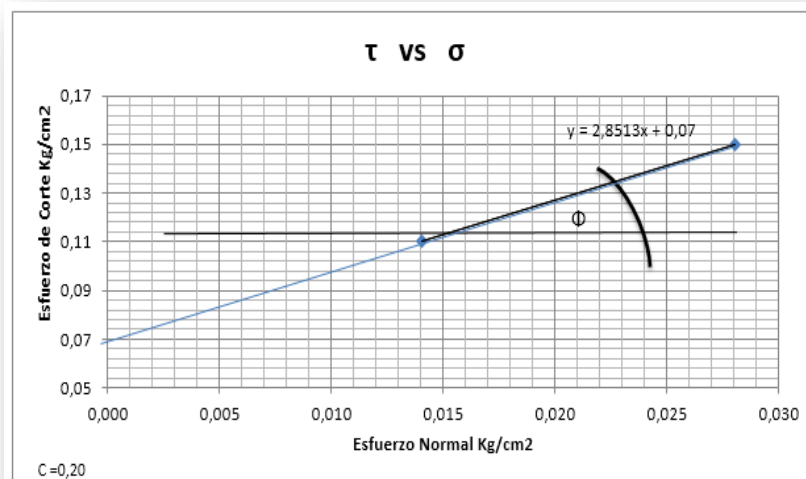


**Talud 3.- Barrio Carlos Warner**



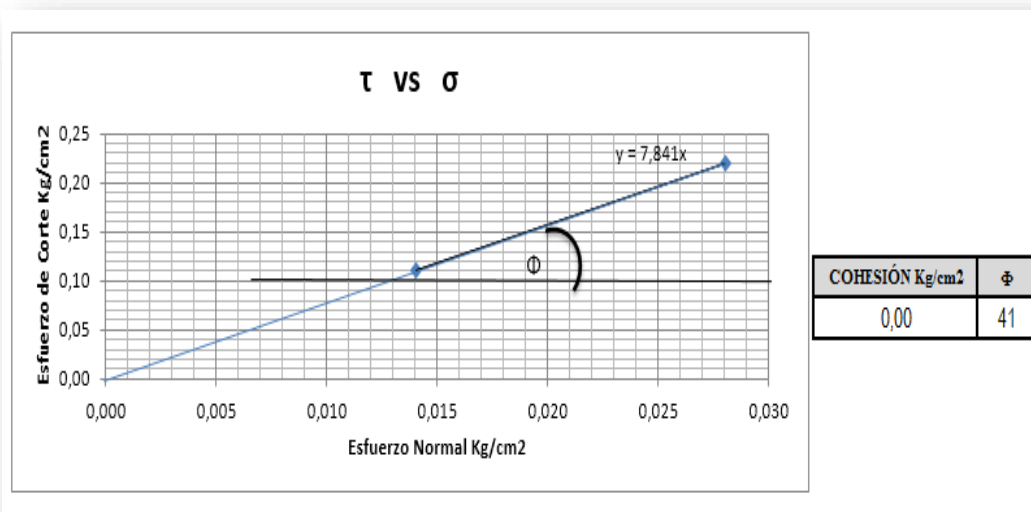
| COHESIÓN Kg/cm <sup>2</sup> | φ  |
|-----------------------------|----|
| 0,09                        | 29 |

**Talud 4.- Av. Integración**



| COHESIÓN Kg/cm <sup>2</sup> | φ  |
|-----------------------------|----|
| 0,07                        | 35 |

### Talud 5.- Barrio San Antonio



**Fuente:** *Elaboracion propia.*

**El procedimiento y la descripción de la práctica se verán en el ANEXO 1**

**Tabla 3.10 Resultados de corte directo**

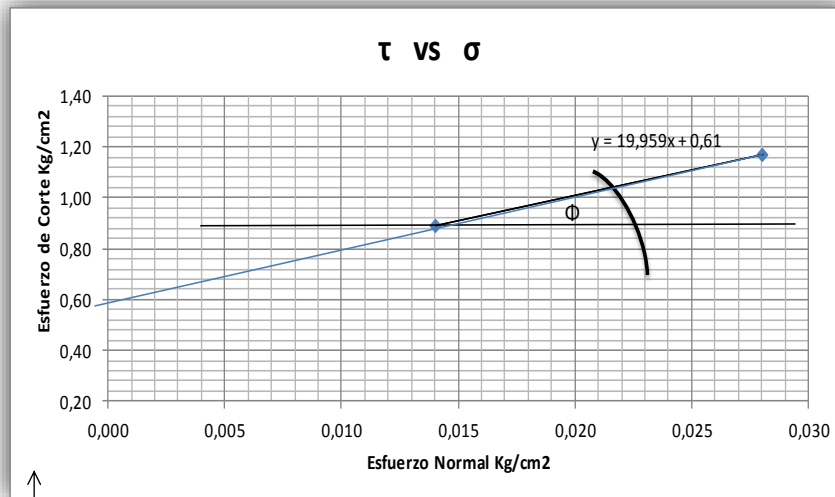
|         | Corte Directo                  |        |
|---------|--------------------------------|--------|
|         | cohesión (kg/cm <sup>2</sup> ) | Angulo |
| TALUD 1 | 0,09                           | 26°    |
| TALUD 2 | 0,06                           | 37°    |
| TALUD 3 | 0,09                           | 29°    |
| TALUD 4 | 0,07                           | 35°    |
| TALUD 5 | 0                              | 41°    |

**Fuente:** *Elaboración propia.*



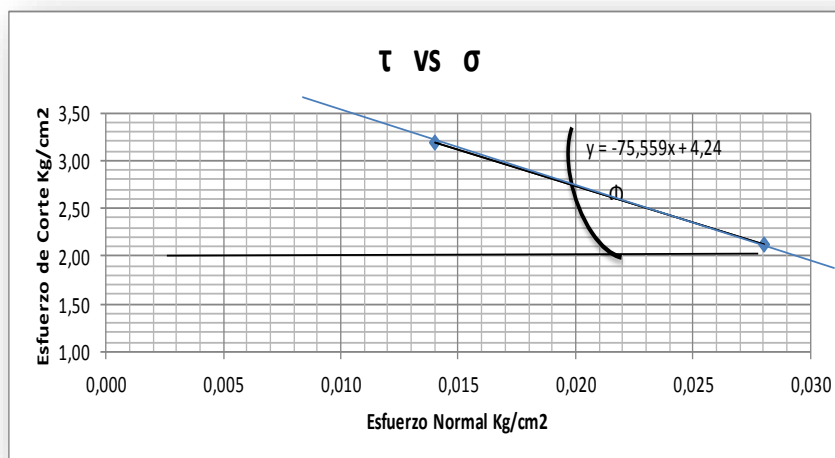
- Suelo sin saturar

**Talud 1 .- Gallinaso subida a San Jacinto**



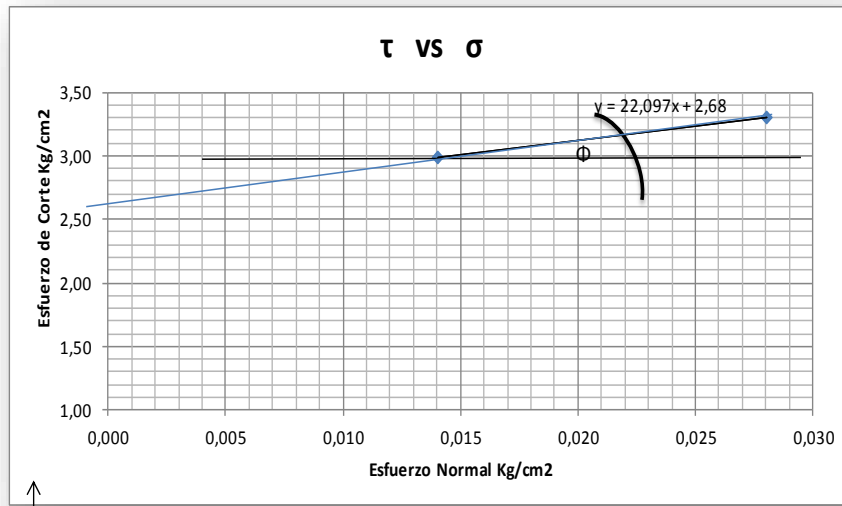
| COHESIÓN Kg/cm2 | φ  |
|-----------------|----|
| 0,59            | 44 |

**Talud 2.- Subida al hotel Los Parrales**



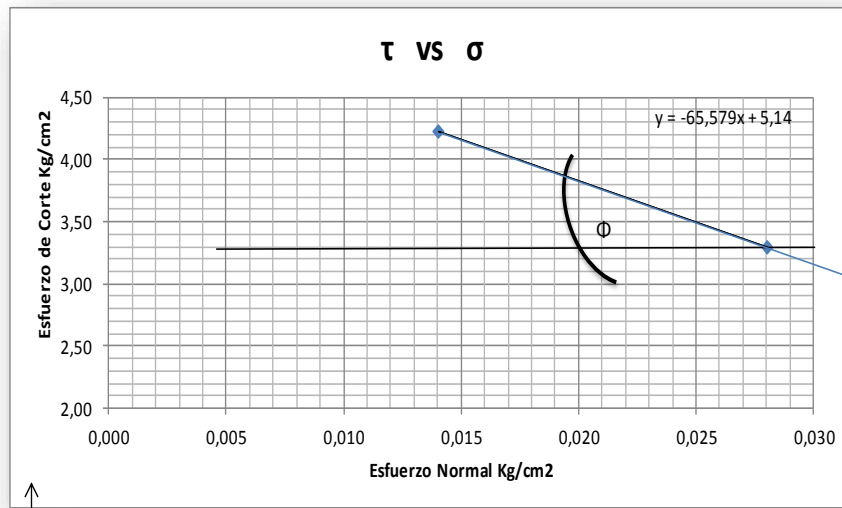
| COHESIÓN Kg/cm2 | φ  |
|-----------------|----|
| 1,99            | 39 |

**Talud 3.- Barrio Carlos Warner**



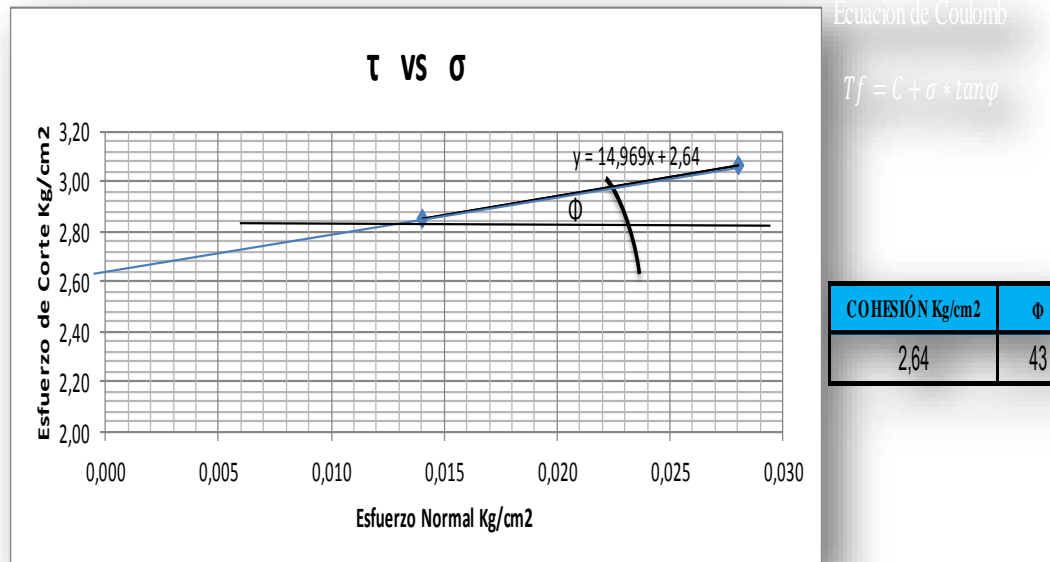
| COHESIÓN Kg/cm2 | φ  |
|-----------------|----|
| 2,52            | 44 |

**Talud 4.- Av. Integración**



| COHESIÓN Kg/cm2 | φ  |
|-----------------|----|
| 3,24            | 32 |

### Talud 5.- Barrio San Antonio



**Fuente:** *Elaboración propia.*

**El procedimiento y la descripción de la práctica se verán en el ANEXO 1**

**Tabla 3.11 Resultados de corte directo sin saturar**

|         | Corte Directo                     |                       |
|---------|-----------------------------------|-----------------------|
|         | cohesión<br>(kg/cm <sup>2</sup> ) | ángulo de<br>fricción |
| TALUD 1 | 0,59                              | 44°                   |
| TALUD 2 | 1,99                              | 39°                   |
| TALUD 3 | 2,52                              | 44°                   |
| TALUD 4 | 3,24                              | 32°                   |
| TALUD 5 | 2,64                              | 43°                   |

Fuente: Elaboración propia

### 3.3. DETERMINACIÓN DEL FACTOR DE SEGURIDAD MÉTODO ORDINARIO O DE FELLENIUS

- Suelo saturado

#### Talud 1 .- Gallinazo subida a San Jacinto

|            |       |                   |                |      |
|------------|-------|-------------------|----------------|------|
| $\gamma =$ | 27,24 | kN/m <sup>3</sup> |                |      |
| $c =$      | 8,83  | kPa               |                |      |
| $\phi =$   | 26°   |                   | $\tan(\phi) =$ | 0,49 |

| Doveda | b   | Z1  | Zw  | W1     | $\alpha$ | $\mu$ | $\cos\alpha$ | $\text{sen}\alpha$ | c*b   | $\tan\phi*\{w1*\cos\alpha-(\mu*b)\}$ | $w1*\text{sen}\alpha$ |
|--------|-----|-----|-----|--------|----------|-------|--------------|--------------------|-------|--------------------------------------|-----------------------|
| 1      | 0,9 | 3,2 | 1,7 | 78,451 | 70       | 16,68 | 0,34         | 0,94               | 7,94  | 5,72                                 | 73,74                 |
| 2      | 1,1 | 3,3 | 1,5 | 98,881 | 55       | 14,72 | 0,57         | 0,82               | 9,71  | 19,69                                | 81,08                 |
| 3      | 0,9 | 1,4 | 0,8 | 34,322 | 46       | 7,848 | 0,69         | 0,72               | 7,94  | 8,14                                 | 24,71                 |
|        |     |     |     |        |          |       |              | $\Sigma$           | 25,60 | 33,54                                | 179,54                |

$$FS = 0,33$$

El procedimiento y la descripción de la práctica se verán en el ANEXO 2

**Tabla 3.12 Resultados de Factor de Seguridad de cada talud método de fellenius**

|                     | Talud 1 | Talud 2 | Talud 3 | Talud 4 | Talud 5 |
|---------------------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Factor de seguridad | 0,33    | 0,25    | 0,20    | 0,31    | 0,51    |

**Fuente:** *Elaboración propia.*

Según el procedimiento de cálculo por el método de las dovelas o fellenius, todos los taludes son inestables.

### 3.3.1. SUELO SIN SATURAR MÉTODO JANBÚ

Tabla 3.13 Pesos unitarios característicos

| Clasificación del suelos SUCS  | Peso Unitario en kN/m <sup>3</sup> |                          |
|--------------------------------|------------------------------------|--------------------------|
|                                | Arriba del nivel freático          | Abajo del nivel freático |
| GP grava mal graduada          | 17.50-20.50                        | 19.50-22.00              |
| GW grava bien graduada         | 17.50-22.00                        | 19.50-23.50              |
| GM grava limosa                | 16.00-20.50                        | 19.50-22.00              |
| GC grava arcillosa             | 16.00-20.50                        | 19.50-22.00              |
| SP arena mal graduada          | 15.00-19.50                        | 19.00-21.00              |
| SW arena bien graduada         | 15.00-21.00                        | 19.00-23.00              |
| SM arena limosa                | 12.50-21.00                        | 17.50-22.00              |
| SC arena arcillosa             | 13.50-20.50                        | 17.50-21.00              |
| ML limo de baja plasticidad    | 11.50-17.50                        | 17.50-21.00              |
| MH limo de alta plasticidad    | 11.50-17.50                        | 12.50-20.50              |
| CL arcilla de baja plasticidad | 12.50-17.50                        | 11.50-20.50              |
| CH arcilla de alta plasticidad | 12.50-17.50                        | 11.00-19.50              |

Fuente: <http://geolabs.com.mx/blog/trabajo/page/2/>

#### Talud 1 Gallinazo

Suelo arenoso limoso 2,11 gr/cm<sup>3</sup>

Altura 900cm

Cohesión 590 gr/cm<sup>2</sup>

Ncf = 4,8

$$Pd = \frac{\gamma H + q - XwHw}{\mu q \mu w \mu t}$$

$$Pd = \frac{2.11 * 900}{1} = 1899 \text{ gr/cm}^2$$

$$FS = Ncf * \frac{c}{Pd}$$

$$FS = 4.8 * \frac{590}{1899} = 1.49$$

**Talud 2 Subida al hotel Los Parrales**Suelo ML 1,19 gr/cm<sup>3</sup>

Altura 730cm

Cohesión 199 gr/cm<sup>2</sup>

Ncf = 5,8

$$Pd = \frac{\gamma H + q - XwHw}{\mu q \mu w \mu t}$$

$$Pd = \frac{1.19 * 730}{1} = 868,7 \text{ gr/cm}^2$$

$$FS = Ncf * \frac{c}{Pd}$$

$$FS = 5.8 * \frac{199}{868,7} = 1.33$$

**Talud 3 Barrio Carlos Warner**Suelo ML 1,17 gr/cm<sup>3</sup>

Altura 1516 cm

Cohesión 252 gr/cm<sup>2</sup>

Ncf = 8,4

$$Pd = \frac{\gamma H + q - XwHw}{\mu q \mu w \mu t}$$

$$Pd = \frac{1.17 * 1516}{1} = 1773,72 \text{ gr/cm}^2$$

$$FS = Ncf * \frac{c}{Pd}$$

$$FS = 8.4 * \frac{252}{1773,72} = 1.20$$

**Talud 4 Av. Integración**Suelo ML 1,23 gr/cm<sup>3</sup>

Altura 1042 cm

Cohesión 324 gr/cm<sup>2</sup>

Ncf = 6,1

$$Pd = \frac{\gamma H + q - \cancel{XwHw}}{\mu q \mu w \mu t}$$

$$Pd = \frac{1.23 * 1042}{1} = 1281,66 \text{ gr/cm}^2$$

$$FS = Ncf * \frac{c}{Pd}$$

$$FS = 6,1 * \frac{324}{1281,66} = 1.54$$

**Talud 5 Barrio San Antonio**Suelo CL 1,52 gr/cm<sup>3</sup>

Altura 480 cm

Cohesión 264 gr/cm<sup>2</sup>

Ncf = 4,6

$$Pd = \frac{\gamma H + q - \cancel{XwHw}}{\mu q \mu w \mu t}$$

$$Pd = \frac{1.52 * 480}{1} = 729,6 \text{ gr/cm}^2$$

$$FS = Ncf * \frac{c}{Pd}$$

$$FS = 4,6 * \frac{264}{729,6} = 1.66$$



**Tabla 3.14 Resultados de Factor de Seguridad de cada talud método de Janbú**

|                     | Talud 1 | Talud 2 | Talud 3 | Talud 4 | Talud 5 |
|---------------------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Factor de seguridad | 1,49    | 1,33    | 1,2     | 1,54    | 1,66    |

**Fuente:** *Elaboración propia.*

**Valores de factores de seguridad:**

F.S.= 1 Equilibrio

F.S.< 1 inestable

F.S.= 1-1.25 Seguridad cuestionable

F.S.= 1.25-1.40 Seguridad Relativa

F.S.=1.50 Satisfactorio

- Los valores obtenidos por el método JANBÚ (1968), el FS para el talud N°1 el gallinazo subida a San Jacinto es de 1,49 corresponde a una seguridad relativa.
- Los valores obtenidos por el método JANBÚ (1968), el FS para el talud N°2 subida al hotel Los Parrales es de 1,33 corresponde a una seguridad relativa.
- Los valores obtenidos por el método JANBÚ (1968), el FS para el talud N°3 barrio Carlos Warner es de 1,20 corresponde a una seguridad cuestionable.
- Los valores obtenidos por el método JANBÚ (1968), el FS para el talud N°4 Av. Integración es de 1,54 corresponde a una seguridad satisfactoria.
- Los valores obtenidos por el método JANBÚ (1968), el FS para el talud N°5 Barrio San Antonio es de 1,66 corresponde a una seguridad satisfactoria.

### **3.4. DETERMINACIÓN DE LOS RIESGOS EN LOS TALUDES DEL ÁREA DE ESTUDIO**

#### **Justificación de la escala de riesgo**

Nos permite determinar el número esperado de vidas humanas perdidas, personas heridas, personas que están en sus vehículos y pueden ser dañados, daño a la propiedad, pérdidas económicas, pérdidas estructurales relacionadas con la ocurrencia de un determinado fenómeno.

Un estudio completo de riesgo debe definir el número de personas amenazadas así como las propiedades. Bergren (1992) propone una tabla para evaluar el valor total del riesgo de acuerdo a la posición de las personas o propiedades, con relación al deslizamiento de la zona en estudio en la forma indicada de la tabla para cada talud a continuación.

Tabla N°1

## AMENAZA A DESLIZAMIENTO DEBIDO A FACTORES GEOLÓGICOS

## TALUD 1.- GALLINAZO SUBIDA A SAN JACINTO

| FACTORES GEOLÓGICOS |   |                          |               |      |
|---------------------|---|--------------------------|---------------|------|
| Factor              | Descripción   | Categoría                | Observaciones | Peso |
| Litología           | Tipo de material  | Tipo III                 |               | 1,4  |
|                     |   | Suelos arenosos, blandos |               |      |
| Estructura          | Relación de paralelismo entre el talud y las discontinuidades                   | más de 30°               |               | 0,2  |
|                     | relación entre el buzamiento de las discontinuidades y la inclinación del talud | más de 10°               |               | 0,3  |
|                     | Buzamiento de la discontinuidad   |                          |               |      |
|                     | Espesor de la capa de suelo   | 6 a 10 metros            |               | 0,85 |
|                     |   |                          | SUMATORIA     | 2,75 |

Tabla N°2

**AMENAZA A DESLIZAMIENTO DEBIDO A FACTORES TOPOGRÁFICOS  
Y AMBIENTALES**

**TALUD 1.- GALLINAZO SUBIDA A SAN JACINTO**

| FACTORES TOPOGRÁFICOS Y AMBIENTALES  |                        |      |
|--|------------------------|------|
| Factor   | Categoría              | Peso |
| Morfología<br>Pendiente de los Taludes   | más de 45°             | 2    |
| Relieve relativo<br>Diferencia de altura entre la<br>divisoria de aguas y el valle | Menos de 100<br>metros | 0,3  |
| Uso de tierra  | Vegetación Intensa     | 0,8  |
| Aguas subterráneas   | seco                   | 0    |
|  | SUMATORIA =            | 3,1  |

| SUMATORIA O AMENAZA TOTAL |                  |                   |
|---------------------------|------------------|-------------------|
| Amenaza total             | Descripción      | Suma de los pesos |
| I                         | Amenaza muy baja | 3,5               |
| II                        | Amenaza baja     | 3,5 a 5           |
| III                       | Amenaza Moderada | 5,1 a 6           |
| IV                        | Amenaza Alta     | 6,1 a 7,5         |
| V                         | Amenaza muy Alta | 7,5               |

| VALOR TOTAL DE AMENAZA | PESO TOTAL |
|------------------------|------------|
| Amenaza moderada       | 5,85       |

**NOTA: Se realiza la sumatoria total de las tablas N°1 y N°2 y con ese valor se entrará a la tabla de SUMATORIA O AMENAZA TOTAL**

Tabla N°3

**RIESGO CUANTIFICADO EN FUNCIÓN DE LA POBLACIÓN AFECTADA****TALUD 1.- GALLINAZO SUBIDA A SAN JACINTO**

| Población Afectada  | A<br>número<br>de<br>personas | B<br>factor de<br>presencia | Población<br>amenazada<br>= Ax B |
|---|-------------------------------|-----------------------------|----------------------------------|
| Residentes  |                               |                             |                                  |
| personas que viven permanentemente                                      | 4                             | 1                           | 4                                |
| personas que vienen los fines de semana (cabañas)                       | 2                             | 0,3                         | 0,6                              |
| personas que permanecen en hoteles (número de camas)                    |                               | 0,5                         |                                  |
| Pacientes en hospitales(número de camas)                                |                               | 1                           |                                  |
| Pacientes en asilos( número de camas)                                   |                               | 1                           |                                  |
| visitantes de día   |                               |                             |                                  |
| número de empleados en oficinas o fábricas, alumnos y niños en colegios |                               | 0,35                        |                                  |
| numero promedio de clientes en almacenes y centros comerciales          |                               | 0,008                       |                                  |
| otros visitantes ocasionales  |                               | 0,008                       |                                  |
| personas en automóviles y autobuses                                     |                               |                             |                                  |
| más de 5000 vehículos promedio por día                                  |                               | 0,01                        |                                  |
| 500 a 5000 vehículos por día  | 139                           | 0,005                       | 0,695                            |
| menos de 500 vehículos por día  |                               | 0,001                       |                                  |
|   |                               |                             | 5,295                            |

**Tabla N°4**  
**RIESGO CUANTIFICADO EN FUNCIÓN DE LAS PROPIEDADES**  
**AFECTADAS**

**TALUD 1.- GALLINAZO SUBIDA A SAN JACINTO**

| Propiedades afectadas                                | número de unidades | Factor de calculo | valor de las propiedades amenazadas en dólares |
|--|--------------------|-------------------|--|
| casas  |                    | valor unitario    |  |
| casas de área menor a 90 m2                          |                    |                   |  |
| casas de área de 90 a 130 m2                         | 1                  | 40000             | 40000  |
| casas de área de 130 a 200 m2                        |                    |                   |  |
| casas de área de más de 200 m2                       |                    |                   |  |
| edificios  |                    | valor por m2      |  |
| metros cuadrados de edificios de vivienda            |                    |                   |  |
| metros cuadrados de escuelas, oficinas y almacenes   |                    |                   |  |
| metros cuadrados de bodegas y edificios industriales |                    |                   |  |
| estructuras especiales                               |                    | valor unitario    |  |
| puentes  |                    |                   |  |
| estaciones eléctricas                                |                    |                   |  |
| instalaciones de agua, gas, tuberías diversas, etc   |                    |                   |  |
| áreas diversas                                       |                    | valor hectárea    |  |
| jardines   |                    |                   |  |
| calles, parqueaderos y áreas duras                   | 1                  | 0,15              | 30000  |
| bosques  |                    |                   |  |
| áreas agrícolas                                      |                    |                   |  |
|  |                    |                   | 70000  |

Tabla N°1

## AMENAZA A DESLIZAMIENTO DEBIDO A FACTORES GEOLÓGICOS

## TALUD 2.- SUBIDA AL HOTEL LOS PARRALES

| FACTORES GEOLÓGICOS |   |                   |               |      |
|---------------------|---|-------------------|---------------|------|
| Factor              | Descripción   | Categoría         | Observaciones | Peso |
| Litología           | Tipo de material  | Tipo III          |               | 1    |
|                     |   | Suelos arcillosos |               |      |
| Estructura          | Relación de paralelismo entre el talud y las discontinuidades                   | más de 30°        |               | 0,2  |
|                     | relación entre el buzamiento de las discontinuidades y la inclinación del talud | más de 10°        |               | 0,3  |
|                     | Buzamiento de la discontinuidad   |                   |               |      |
|                     | Espesor de la capa de suelo   | 6 a 10 metros     |               | 0,85 |
|                     |   |                   | SUMATORIA     | 2,35 |

Tabla N°2

**AMENAZA A DESLIZAMIENTO DEBIDO A FACTORES TOPOGRÁFICOS  
Y AMBIENTALES**

**TALUD 2.- SUBIDA AL HOTEL LOS PARRALES**

| FACTORES TOPOGRÁFICOS Y AMBIENTALES  |                        |      |
|--|------------------------|------|
| Factor   | Categoría              | Peso |
| Morfología<br>Pendiente de los Taludes   | más de 45°             | 2    |
| Relieve relativo<br>Diferencia de altura entre la<br>divisoria de aguas y el valle | Menos de 100<br>metros | 0,3  |
| Uso de tierra  | Vegetación Intensa     | 0,8  |
| Aguas subterráneas   | seco                   | 0    |
|  | SUMATORIA =            | 3,1  |

| SUMATORIA O AMENAZA TOTAL |                  |                   |
|---------------------------|------------------|-------------------|
| Amenaza total             | Descripción      | Suma de los pesos |
| I                         | Amenaza muy baja | 3,5               |
| II                        | Amenaza baja     | 3,5 a 5           |
| III                       | Amenaza Moderada | 5,1 a 6           |
| IV                        | Amenaza Alta     | 6,1 a 7,5         |
| V                         | Amenaza muy Alta | 7,5               |

| VALOR TOTAL DE AMENAZA | PESO TOTAL |
|------------------------|------------|
| Amenaza moderada       | 5,45       |

**NOTA: Se realiza la sumatoria total de las tablas N°1 y N°2 y con ese valor se entrará a la tabla de SUMATORIA O AMENAZA TOTAL**



Tabla N°3

**RIESGO CUANTIFICADO EN FUNCIÓN DE LA POBLACIÓN AFECTADA****TALUD 2.- SUBIDA AL HOTEL LOS PARRALES**

| Población Afectada  | A<br>número<br>de<br>personas | B<br>factor de<br>presencia | Población<br>amenazada<br>= AxB |
|---|-------------------------------|-----------------------------|---------------------------------|
| Residentes  |                               |                             |                                 |
| personas que viven permanentemente                                      | 6                             | 1                           | 6                               |
| personas que vienen los fines de semana (cabañas)                       | 3                             | 0,3                         | 0,9                             |
| personas que permanecen en hoteles (número de camas)                    |                               | 0,5                         |                                 |
| Pacientes en hospitales(número de camas)                                |                               | 1                           |                                 |
| Pacientes en asilos( número de camas)                                   |                               | 1                           |                                 |
| visitantes de día   |                               |                             |                                 |
| número de empleados en oficinas o fábricas, alumnos y niños en colegios |                               | 0,35                        |                                 |
| numero promedio de clientes en almacenes y centros comerciales          |                               | 0,008                       |                                 |
| otros visitantes ocasionales  |                               | 0,008                       |                                 |
| personas en automóviles y autobuses                                     |                               |                             |                                 |
| más de 5000 vehículos promedio por día                                  |                               | 0,01                        |                                 |
| 500 a 5000 vehículos por día  |                               | 0,005                       | 0                               |
| menos de 500 vehículos por día  | 33                            | 0,001                       | 0,033                           |
|   |                               |                             | 6,93                            |

**Tabla N°4**  
**RIESGO CUANTIFICADO EN FUNCIÓN DE LAS PROPIEDADES**  
**AFECTADAS**

**TALUD 2.- SUBIDA AL HOTEL LOS PARRALES**

| Propiedades afectadas                                | número de unidades | Factor de calculo | valor de las propiedades amenazadas en dólares |
|--|--------------------|-------------------|--|
| casas  |                    | valor unitario    |  |
| casas de área menor a 90 m2                          |                    |                   |  |
| casas de área de 90 a 130 m2                         |                    |                   |  |
| casas de área de 130 a 200 m2                        | 2                  | 70000             | 140000   |
| casas de área de más de 200 m2                       |                    |                   |  |
| edificios  |                    | valor por m2      |  |
| metros cuadrados de edificios de vivienda            |                    |                   |  |
| metros cuadrados de escuelas, oficinas y almacenes   |                    |                   |  |
| metros cuadrados de bodegas y edificios industriales |                    |                   |  |
| estructuras especiales                               |                    | valor unitario    |  |
| puentes  |                    |                   |  |
| estaciones eléctricas                                |                    |                   |  |
| instalaciones de agua, gas, tuberías diversas, etc   |                    |                   |  |
| áreas diversas                                       |                    | valor hectárea    |  |
| jardines   |                    |                   |  |
| calles, parqueaderos y áreas duras                   | 1                  | 0,25              | 49000  |
| bosques  |                    |                   |  |
| áreas agrícolas                                      |                    |                   |  |
|  |                    |                   | 189000   |

Tabla N°1

## AMENAZA A DESLIZAMIENTO DEBIDO A FACTORES GEOLÓGICOS

## TALUD 3.- BARRIO CARLOS WARNER

| FACTORES GEOLÓGICOS |   |                   |               |      |
|---------------------|---|-------------------|---------------|------|
| Factor              | Descripción   | Categoría         | Observaciones | Peso |
| Litología           | Tipo de material  | Tipo III          |               | 1    |
|                     |   | Suelos arcillosos |               |      |
| Estructura          | Relación de paralelismo entre el talud y las discontinuidades                   | más de 30°        |               | 0,2  |
|                     | relación entre el buzamiento de las discontinuidades y la inclinación del talud | más de 10°        |               | 0,3  |
|                     | Buzamiento de la discontinuidad   |                   |               |      |
|                     | Espesor de la capa de suelo   | 16 a 20 metros    |               | 2    |
|                     |   |                   | SUMATORIA     | 3,5  |

**Tabla N°2**  
**AMENAZA A DESLIZAMIENTO DEBIDO A FACTORES TOPOGRÁFICOS**  
**Y AMBIENTALES**

**TALUD 3.- BARRIO CARLOS WARNER**

| FACTORES TOPOGRÁFICOS Y AMBIENTALES  |                        |      |
|--|------------------------|------|
| Factor   | Categoría              | Peso |
| Morfología<br>Pendiente de los Taludes   | más de 45°             | 2    |
| Relieve relativo<br>Diferencia de altura entre la<br>divisoria de aguas y el valle | Menos de 100<br>metros | 0,3  |
| Uso de tierra  | Vegetación Escasa      | 1,5  |
| Aguas subterráneas   | seco                   | 0    |
|  | SUMATORIA =            | 3,8  |

| SUMATORIA O AMENAZA TOTAL |                  |                   |
|---------------------------|------------------|-------------------|
| Amenaza total             | Descripción      | Suma de los pesos |
| I                         | Amenaza muy baja | 3,5               |
| II                        | Amenaza baja     | 3,5 a 5           |
| III                       | Amenaza Moderada | 5,1 a 6           |
| IV                        | Amenaza Alta     | 6,1 a 7,5         |
| V                         | Amenaza muy Alta | 7,5               |

| VALOR TOTAL DE AMENAZA | PESO TOTAL |
|------------------------|------------|
| Amenaza muy alta       | 7,3        |

**NOTA: Se realiza la sumatoria total de las tablas N°1 y N°2 y con ese valor se entrará a la tabla de SUMATORIA O AMENAZA TOTAL**

Tabla N°3

**RIESGO CUANTIFICADO EN FUNCIÓN DE LA POBLACIÓN AFECTADA****TALUD 3.- BARRIO CARLOS WARNER**

| Población Afectada  | A<br>numero de<br>personas | B<br>factor de<br>presencia | Población<br>amenazada<br>= Ax B |
|---|----------------------------|-----------------------------|----------------------------------|
| Residentes  |                            |                             |                                  |
| personas que viven permanentemente                                      | 12                         | 1                           | 12                               |
| personas que vienen los fines de semana (cabañas)                       | 5                          | 0,3                         | 1,5                              |
| personas que permanecen en hoteles (número de camas)                    |                            | 0,5                         |                                  |
| Pacientes en hospitales(número de camas)                                |                            | 1                           |                                  |
| Pacientes en asilos( número de camas)                                   |                            | 1                           |                                  |
| visitantes de día   |                            |                             |                                  |
| número de empleados en oficinas o fábricas, alumnos y niños en colegios |                            | 0,35                        |                                  |
| numero promedio de clientes en almacenes y centros comerciales          | 7                          | 0,008                       | 0,056                            |
| otros visitantes ocasionales  | 4                          | 0,008                       | 0,032                            |
| personas en automóviles y autobuses                                     |                            |                             |                                  |
| más de 5000 vehículos promedio por día                                  |                            | 0,01                        |                                  |
| 500 a 5000 vehículos por día  |                            | 0,005                       |                                  |
| menos de 500 vehículos por día  | 174                        | 0,001                       | 0,174                            |
|   |                            |                             | 13,762                           |

**Tabla N°4**  
**RIESGO CUANTIFICADO EN FUNCIÓN DE LAS PROPIEDADES**  
**AFECTADAS**

**TALUD 3.- BARRIO CARLOS WARNER**

| Propiedades afectadas                                | número de unidades | Factor de calculo | valor de las propiedades amenazadas en dólares |
|--|--------------------|-------------------|--|
| casas  |                    | valor unitario    |  |
| casas de área menor a 90 m2                          |                    |                   |  |
| casas de área de 90 a 130 m2                         |                    |                   |  |
| casas de área de 130 a 200 m2                        | 3                  | 45000             | 135000   |
| casas de área de más de 200 m2                       |                    |                   |  |
| edificios  |                    | valor por m2      |  |
| metros cuadrados de edificios de vivienda            |                    |                   |  |
| metros cuadrados de escuelas, oficinas y almacenes   |                    |                   |  |
| metros cuadrados de bodegas y edificios industriales |                    |                   |  |
| estructuras especiales                               |                    | valor unitario    |  |
| puentes  |                    |                   |  |
| estaciones eléctricas                                |                    |                   |  |
| instalaciones de agua, gas, tuberías diversas, etc   |                    |                   |  |
| áreas diversas                                       |                    | valor hectárea    |  |
| jardines   |                    |                   |  |
| calles, parqueaderos y áreas duras                   | 2                  | 0,15              | 30000  |
| bosques  |                    |                   |  |
| áreas agrícolas                                      |                    |                   |  |
|  |                    |                   | 165000   |

Tabla N°1

## AMENAZA A DESLIZAMIENTO DEBIDO A FACTORES GEOLÓGICOS

## TALUD 4.- AV. INTEGRACIÓN

| FACTORES GEOLÓGICOS |   |                   |               |      |
|---------------------|---|-------------------|---------------|------|
| Factor              | Descripción   | Categoría         | Observaciones | Peso |
| Litología           | Tipo de material  | Tipo III          |               | 1    |
|                     |   | Suelos arcillosos |               |      |
| Estructura          | Relación de paralelismo entre el talud y las discontinuidades                   | más de 30°        |               | 0,2  |
|                     | relación entre el buzamiento de las discontinuidades y la inclinación del talud | más de 10°        |               | 0,3  |
|                     | Buzamiento de la discontinuidad   |                   |               |      |
|                     | Espesor de la capa de suelo   | 6 a 10 metros     |               | 0,85 |
|                     |   |                   | SUMATORIA     | 2,35 |

**Tabla N°2**  
**AMENAZA A DESLIZAMIENTO DEBIDO A FACTORES TOPOGRÁFICOS**  
**Y AMBIENTALES**  
**TALUD 4.- AV. INTEGRACIÓN**

| FACTORES TOPOGRÁFICOS Y AMBIENTALES  |                        |      |
|--|------------------------|------|
| Factor   | Categoría              | Peso |
| Morfología<br>Pendiente de los Taludes   | más de 45°             | 2    |
| Relieve relativo<br>Diferencia de altura entre la<br>divisoria de aguas y el valle | Menos de 100<br>metros | 0,3  |
| Uso de tierra  | Vegetación<br>Moderada | 1,2  |
| Aguas subterráneas   | Seco                   | 0    |
|  | SUMATORIA =            | 3,5  |

| SUMATORIA O AMENAZA TOTAL |                  |                   |
|---------------------------|------------------|-------------------|
| Amenaza total             | Descripción      | Suma de los pesos |
| I                         | Amenaza muy baja | 3,5               |
| II                        | Amenaza baja     | 3,5 a 5           |
| III                       | Amenaza Moderada | 5,1 a 6           |
| IV                        | Amenaza Alta     | 6,1 a 7,5         |
| V                         | Amenaza muy Alta | 7,5               |

| VALOR TOTAL DE AMENAZA | PESO TOTAL |
|------------------------|------------|
| Amenaza moderada       | 5,85       |

**NOTA: Se realiza la sumatoria total de las tablas N°1 y N°2 y con ese valor se entrará a la tabla de SUMATORIA O AMENAZA TOTAL**



Tabla N°3

**RIESGO CUANTIFICADO EN FUNCIÓN DE LA POBLACIÓN AFECTADA****TALUD 4.- AV. INTEGRACIÓN**

| Población Afectada  | A<br>número de<br>personas | B<br>factor de<br>presencia | Población<br>amenazada<br>= Ax B |
|---|----------------------------|-----------------------------|----------------------------------|
| Residentes  |                            |                             |                                  |
| personas que viven permanentemente                                      | 6                          | 1                           | 6                                |
| personas que vienen los fines de semana (cabañas)                       | 3                          | 0,3                         | 0,9                              |
| personas que permanecen en hoteles (número de camas)                    |                            | 0,5                         |                                  |
| Pacientes en hospitales(número de camas)                                |                            | 1                           |                                  |
| Pacientes en asilos( número de camas)                                   |                            | 1                           |                                  |
| visitantes de día   |                            |                             |                                  |
| número de empleados en oficinas o fábricas, alumnos y niños en colegios |                            | 0,35                        |                                  |
| numero promedio de clientes en almacenes y centros comerciales          | 2                          | 0,008                       | 0,016                            |
| otros visitantes ocasionales  |                            | 0,008                       |                                  |
| personas en automóviles y autobuses                                     |                            |                             |                                  |
| más de 5000 vehículos promedio por día                                  |                            | 0,01                        |                                  |
| 500 a 5000 vehículos por día  |                            | 0,005                       |                                  |
| menos de 500 vehículos por día  | 137                        | 0,001                       | 0,137                            |
|   |                            |                             | 7,053                            |

**Tabla N°4**  
**RIESGO CUANTIFICADO EN FUNCIÓN DE LAS PROPIEDADES**  
**AFECTADAS**

**TALUD 4.- AV. INTEGRACIÓN**

| Propiedades afectadas                                | número de unidades | Factor de calculo        | valor de las propiedades amenazadas en dólares |
|--|--------------------|--------------------------|--|
| casas  |                    | valor unitario           |  |
| casas de área menor a 90 m <sup>2</sup>              |                    |                          |  |
| casas de área de 90 a 130 m <sup>2</sup>             | 2                  | 47000                    | 94000  |
| casas de área de 130 a 200 m <sup>2</sup>            |                    |                          |  |
| casas de área de más de 200 m <sup>2</sup>           |                    |                          |  |
| edificios  |                    | valor por m <sup>2</sup> |  |
| metros cuadrados de edificios de vivienda            |                    |                          |  |
| metros cuadrados de escuelas, oficinas y almacenes   | 1                  | 8                        | 160  |
| metros cuadrados de bodegas y edificios industriales |                    |                          |  |
| estructuras especiales                               |                    | valor unitario           |  |
| puentes  |                    |                          |  |
| estaciones eléctricas                                |                    |                          |  |
| instalaciones de agua, gas, tuberías diversas, etc   |                    |                          |  |
| áreas diversas                                       |                    | valor hectárea           |  |
| jardines   | 1                  | 0,008                    | 400  |
| calles, parqueaderos y áreas duras                   | 1                  | 0,3                      | 60000  |
| bosques  |                    |                          |  |
| áreas agrícolas                                      |                    |                          |  |
|  |                    |                          | 154560   |

Tabla N°1

## AMENAZA A DESLIZAMIENTO DEBIDO A FACTORES GEOLÓGICOS

## TALUD 5.- BARRIO SAN ANTONIO

| FACTORES GEOLÓGICOS |   |                   |               |      |
|---------------------|---|-------------------|---------------|------|
| Factor              | Descripción   | Categoría         | Observaciones | Peso |
| Litología           | Tipo de material  | Tipo III          |               | 1    |
|                     |   | Suelos arcillosos |               |      |
| Estructura          | Relación de paralelismo entre el talud y las discontinuidades                   | más de 30°        |               | 0,2  |
|                     | relación entre el buzamiento de las discontinuidades y la inclinación del talud | más de 10°        |               | 0,3  |
|                     | Buzamiento de la discontinuidad   |                   |               |      |
|                     | Espesor de la capa de suelo   | menos de 5 metros |               | 0,65 |
|                     |   |                   | SUMATORIA     | 2,15 |

Tabla N°2

**AMENAZA A DESLIZAMIENTO DEBIDO A FACTORES TOPOGRÁFICOS  
Y AMBIENTALES**

**TALUD 5.- BARRIO SAN ANTONIO**

| FACTORES TOPOGRÁFICOS Y AMBIENTALES  |                        |      |
|--|------------------------|------|
| Factor   | Categoría              | Peso |
| Morfología<br>Pendiente de los Taludes   | más de 45°             | 2    |
| Relieve relativo<br>Diferencia de altura entre la<br>divisoria de aguas y el valle | Menos de 100<br>metros | 0,3  |
| Uso de tierra  | Vegetación<br>Moderada | 1,2  |
| Aguas subterráneas   | Seco                   | 0    |
|  | SUMATORIA =            | 3,5  |

| SUMATORIA O AMENAZA TOTAL |                  |                   |
|---------------------------|------------------|-------------------|
| Amenaza total             | Descripción      | Suma de los pesos |
| I                         | Amenaza muy baja | 3,5               |
| II                        | Amenaza baja     | 3,5 a 5           |
| III                       | Amenaza Moderada | 5,1 a 6           |
| IV                        | Amenaza Alta     | 6,1 a 7,5         |
| V                         | Amenaza muy Alta | 7,5               |

| VALOR TOTAL DE AMENAZA | PESO TOTAL |
|------------------------|------------|
| Amenaza moderada       | 5,65       |

**NOTA: Se realiza la sumatoria total de las tablas N°1 y N°2 y con ese valor se entrará a la tabla de SUMATORIA O AMENAZA TOTAL**

Tabla N°3

## RIESGO CUANTIFICADO EN FUNCIÓN DE LA POBLACIÓN AFECTADA

## TALUD 5.- BARRIO SAN ANTONIO

| Población Afectada  | A<br>número<br>de<br>personas | B<br>factor de<br>presencia | Población<br>amenazada<br>= Ax B |
|---|-------------------------------|-----------------------------|----------------------------------|
| Residentes  |                               |                             |                                  |
| personas que viven permanentemente                                      | 6                             | 1                           | 6                                |
| personas que vienen los fines de semana (cabañas)                       | 5                             | 0,3                         | 1,5                              |
| personas que permanecen en hoteles (número de camas)                    |                               | 0,5                         |                                  |
| Pacientes en hospitales(número de camas)                                |                               | 1                           |                                  |
| Pacientes en asilos( número de camas)                                   |                               | 1                           |                                  |
| visitantes de día   |                               |                             |                                  |
| número de empleados en oficinas o fábricas, alumnos y niños en colegios |                               | 0,35                        |                                  |
| numero promedio de clientes en almacenes y centros comerciales          |                               | 0,008                       |                                  |
| otros visitantes ocasionales  |                               | 0,008                       |                                  |
| personas en automóviles y autobuses                                     |                               |                             |                                  |
| más de 5000 vehículos promedio por día                                  |                               | 0,01                        |                                  |
| 500 a 5000 vehículos por día  |                               | 0,005                       |                                  |
| menos de 500 vehículos por día  | 42                            | 0,001                       | 0,042                            |
|   |                               |                             | 7,542                            |

**Tabla N°4**  
**RIESGO CUANTIFICADO EN FUNCIÓN DE LAS PROPIEDADES**  
**AFECTADAS**  
**TALUD 5.- BARRIO SAN ANTONIO**

| Propiedades afectadas                                | número de unidades | Factor de calculo | valor de las propiedades amenazadas en dólares |
|--|--------------------|-------------------|--|
| casas  |                    | valor unitario    |  |
| casas de área menor a 90 m2                          | 1                  | 38000             | 38000  |
| casas de área de 90 a 130 m2                         | 1                  | 63000             | 63000  |
| casas de área de 130 a 200 m2                        |                    |                   |  |
| casas de área de más de 200 m2                       |                    |                   |  |
| edificios  |                    | valor por m2      |  |
| metros cuadrados de edificios de vivienda            |                    |                   |  |
| metros cuadrados de escuelas, oficinas y almacenes   |                    |                   |  |
| metros cuadrados de bodegas y edificios industriales |                    |                   |  |
| estructuras especiales                               |                    | valor unitario    |  |
| puentes  |                    |                   |  |
| estaciones eléctricas                                |                    |                   |  |
| instalaciones de agua, gas, tuberías diversas, etc   |                    |                   |  |
| áreas diversas                                       |                    | valor hectárea    |  |
| jardines   |                    |                   |  |
| calles, parqueaderos y áreas duras                   | 1                  | 0,12              | 24000  |
| bosques  |                    |                   |  |
| áreas agrícolas                                      |                    |                   |  |
|  |                    |                   | 125000   |

Elaboración propia

- **Otros métodos de valoración de riesgos**

TALUD N°1 EL GALLINAZO SUBIDA A SAN JACINTO

VALORACIÓN DEL RIESGO SEGÚN EL METODO FINE

| FACTOR           | CLASIFICACIÓN                       | VALOR |
|------------------|-------------------------------------|-------|
| 1.-CONSECUENCIAS | Lesiones con baja                   | 5     |
| 2.- EXPOSICIÓN   | Raramente                           | 1     |
| 3.- PROBABILIDAD | Coincidencia remota pero concebible | 1     |
|                  | $\Sigma$                            | 7     |
| Menos de 20      | Riesgo Aceptable                    |       |

TALUD N°2 SUBIDA AL HOTEL LOS PARRALES

VALORACIÓN DEL RIESGO SEGÚN EL METODO FINE

| FACTOR           | CLASIFICACIÓN                    | VALOR |
|------------------|----------------------------------|-------|
| 1.-CONSECUENCIAS | Lesiones con baja                | 5     |
| 2.- EXPOSICIÓN   | De forma extraordinaria          | 2     |
| 3.- PROBABILIDAD | Coincidencia remotamente posible | 1     |
|                  | $\Sigma$                         | 8     |
| Menos de 20      | Riesgo Aceptable                 |       |

TALUD N°3 BARRIO CARLOS WARNER

VALORACION DEL RIESGO SEGÚN EL MÉTODO FINE

| FACTOR           | CLASIFICACIÓN                  | VALOR |
|------------------|--------------------------------|-------|
| 1.-CONSECUENCIAS | Lesiones extremadamente graves | 15    |
| 2.- EXPOSICIÓN   | Frecuentemente                 | 6     |
| 3.- PROBABILIDAD | Completamente posible          | 6     |
|                  | $\Sigma$                       | 27    |
| Entre 20 y 70    | Riesgo moderado                |       |

## TALUD N°4 AV. INTEGRACIÓN

## VALORACION DEL RIESGO SEGÚN EL MÉTODO FINE

| FACTOR           | CLASIFICACIÓN                              | VALOR    |
|------------------|--|----------|
| 1.CONSECUENCIAS  | Lesiones con baja                          | 5        |
| 2.- EXPOSICIÓN   | De forma extraordinaria                    | 2        |
| 3.- PROBABILIDAD | Sería una secuencia o<br>coincidencia rara | 3        |
|                  |  | $\Sigma$ |
|                  |  | 10       |
| Menos de 20      | Riesgo Aceptable                           |          |

## TALUD N°5 BARRIO SAN ANTONIO

## VALORACION DEL RIESGO SEGÚN EL MÉTODO FINE

| FACTOR           | CLASIFICACIÓN                              | VALOR    |
|------------------|--|----------|
| 1.CONSECUENCIAS  | Lesiones con baja                          | 5        |
| 2.- EXPOSICIÓN   | De forma extraordinaria                    | 2        |
| 3.- PROBABILIDAD | Completamente posible,<br>probabilidad 50% | 6        |
|                  |  | $\Sigma$ |
|                  |  | 13       |
| Menos de 20      | Riesgo Aceptable                           |          |



## VALORACIÓN DEL RIESGO SEGÚN EL MÉTODO FINE

**Tabla 3.15 Valoración de riesgo método Fine**

| Taludes   | Ubicación          | Riesgo    |
|-----------|--------------------|-----------|
| Talud N°1 | El Gallinazo       | Aceptable |
| Talud N°2 | Hotel los Parrales | Aceptable |
| Talud N°3 | Carlos Warner      | Moderado  |
| Talud N°4 | Av. Integración    | Aceptable |
| Talud N°5 | San Antonio        | Aceptable |

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 3.16 Valoración de riesgo método Fine IGECC**

| Taludes   | Ubicación          | Riesgo |
|-----------|--------------------|--------|
| Talud N°1 | El Gallinazo       | Bajo   |
| Talud N°2 | Hotel Los Parrales | Medio  |
| Talud N°3 | Carlos Warner      | Alto   |
| Talud N°4 | Av. Integración    | Medio  |
| Talud N°5 | San Antonio        | Bajo   |

Fuente: elaboración propia

Peligrosidad baja (3 pts.). Poblado/arbóreo

Peligrosidad media (9 pts.). Poblado/arbustivo, semidesnudo/arbóreo

Peligrosidad alta (27 pts.). Poblado/herbáceo, semidesnudo/arbustivo

Peligrosidad muy alta (81 pts.). Desnudo, semidesnudo/herbáceo

- **Metodología de control de taludes referenciando el riesgo en cada uno de los taludes**

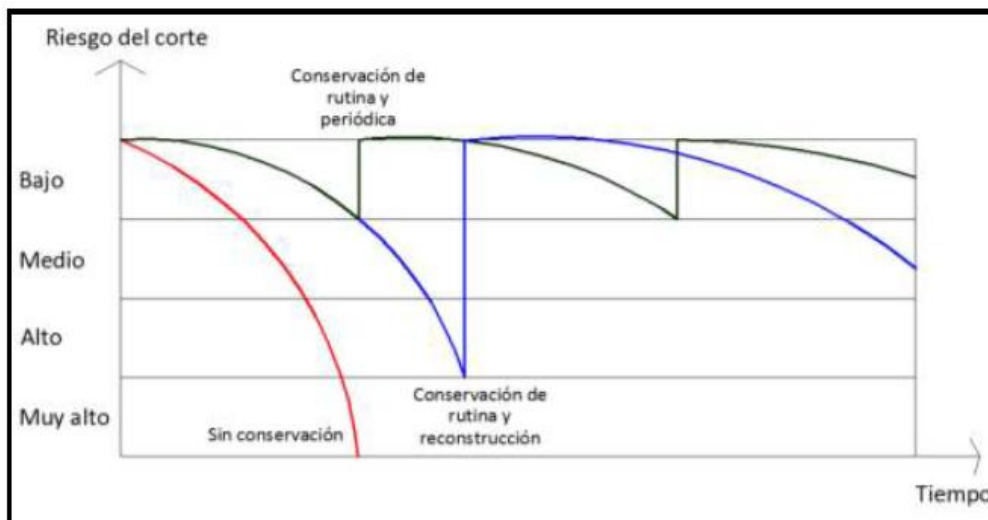
En nuestros días el gran volumen de construcción lineal (carreteras, autopistas, ferrocarriles, etc.) hace necesario alterar constantemente la superficie natural del

terreno, siendo unidades de obra muy comunes la excavación de laderas naturales, dando lugar a superficies creadas de forma artificial denominadas comúnmente cortes. Los factores antrópicos como la inestabilidad intrínseca de los cortes debida a la modificación de esfuerzos del talud natural, los malos hábitos de excavación y las vibraciones producidas por los vehículos, así como todos los factores naturales (agua, terremotos, nieve, etc.), generan un peligro latente para la vía carretera tanto como principalmente a los usuarios.

Con el paso del tiempo, en muchas carreteras del país la mayoría de peligros de inestabilidad potencialmente altos se convierten en derrumbes que pueden causar pérdidas humanas y económicas. La mayoría de las veces el tiempo transcurrido para que una falla pueda ocurrir es impredecible, algunos cortes pueden fallar año tras año; otros pueden fallar cada 50 años. Un talud que presenta muchos desprendimientos en un lapso de tiempo corto, genera enormes problemas económicos para las agencias encargadas del mantenimiento. En diferentes países, los estados gastan millones de dólares en reparar cada año los daños causados por los derrumbes de cortes. Estos derrumbes varían de tal forma que algunos caídos de material sobre la carretera pueden ser removidos por una sola cuadrilla de trabajo y en unos cuantos minutos; mientras que para un derrumbe mayor se requieren meses de trabajo y millones de dólares para corregirlo.

Debido a los riesgos que corren los usuarios así como las pérdidas económicas de las empresas encargadas del mantenimiento, se inicia la búsqueda de un método sistemático y lógico capaz de lograr que los niveles de riesgo de los cortes se mantengan en los valores más convenientes (Figura 1) para ayudar a prevenir catástrofes para los usuarios así como para ayudar a determinar los costos eficientes de reparación en un tiempo adecuado.

**Figura 3.16 Niveles de riesgo de acuerdo al tipo de conservación**



Fuente: Paul Garnica Anguas, Carlos Pérez García Metodología para la Gestión de Cortes Carreteros. Publicación Técnica No. 370 Sanfandila, Qro, 2012

**Tabla 3.17 Riesgo de acuerdo al tipo de conservación**

| Taludes   | Ubicación          | Riesgo   |
|-----------|--------------------|--|
| Talud N°1 | El Gallinazo       | Conservación de rutina y periódica en épocas de lluvia |
| Talud N°2 | Hotel los Parrales | Conservación de rutina y periódica en épocas de lluvia |
| Talud N°3 | Carlos Warner      | Conservación de rutina y periódica en épocas de lluvia |
| Talud N°4 | Av. Integración    | Conservación de rutina y periódica en épocas de lluvia |
| Talud N°5 | San Antonio        | Conservación de rutina y periódica en épocas de lluvia |

**Tabla 3.18 Riesgo del corte. Mantenimiento/Limpieza**

| FRECUENCIA DE MANTENIMIENTO         | LIMPIEZA  |  |   |                 |
|-------------------------------------|---|--|---|-----------------|
|                                     | Menor<br>Barrido de escombros,<br>limpieza de cunetas | Moderado<br>Algunas cargas y<br>acarreos | Mayor<br>Cargas y acarreos<br>significantes | Trabajo extenso |
| No tan frecuente                    | Menor   | Menor                                    | Menor                                       | Moderado        |
| Anualmente<br>(1 vez por año)       | Menor   | Menor                                    | Moderado                                    | Alto            |
| Estacional<br>(1 a 3 veces por año) | Menor   | Moderado                                 | Alto  | Muy alto        |
| Mas de 3 veces por<br>año           | Moderado  | Alto                                     | Muy alto                                    | Muy alto        |

Fuente: Paul Garnica Anguas, Carlos Pérez García Metodología para la Gestión de Cortes Carreteros. Publicación Técnica No. 370 Sanfandila, Qro, 2012

### Control

Métodos tendientes a controlar la amenaza activa antes de que se produzca el riesgo a personas o propiedades. Generalmente, consisten en estructuras que retienen la masa en movimiento. Este tipo de obras se construyen abajo del deslizamiento para detenerlo después de que se ha iniciado.

**Tabla 3.19 Estructuras de control de masas en movimiento**

| Método                   | Ventajas   | Desventajas                                     |
|--------------------------|--|---|
| Bermas                   | Generalmente son económicas rápidas de construir.                            | Se requiere un espacio grande a mitad de talud. |
| Trincheras               | Sirven al mismo tiempo para controlar las aguas lluvias.                     | Los cantos fácilmente pasan por encima.         |
| Estructuras de retención | Retienen las masas en movimiento   | Se pueden requerir estructuras algo costosas.   |
| Cubiertas de protección  | Son uno de los métodos más efectivos para disminuir el riesgo en carreteras. | Son muy costosas.                               |

Fuente: SUAREZ DÍAZ JAIME. Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas Tropicales. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga- Colombia.

### 3.5. ANÁLISIS DE RESULTADOS

- **Caracterización**

#### **Talud N°1.-**

Talud N°1 Gallinazo subida a San Jacinto un suelo fino, corresponde a una arena fina no tiene plasticidad, tiene un:

Peso específico de 2,28 gr/cm<sup>3</sup>

Permeabilidad de 0,014 cm/s

Cohesión de 0,09 kg/cm<sup>2</sup> un ángulo de fricción de 26°

#### **Talud N°2.-**

Talud N°2 Subida al Hotel Los Parrales corresponde a un suelo fino limo inorgánico de baja plasticidad de clasificación A-6 ML, con las siguientes características:

Peso específico de 2,35 gr/cm<sup>3</sup>

Permeabilidad de 0,0001 cm/s

Cohesión de 0,06 kg/cm<sup>2</sup> un ángulo de fricción de 37°

#### **Talud N°3.-**

Talud N°3 Barrio Carlos Warner corresponde a un suelo fino limo inorgánico de baja plasticidad de clasificación A-4 ML, con las siguientes características:

Peso específico de 1,83 gr/cm<sup>3</sup>

Permeabilidad de 0,0001 cm/s

Cohesión de 0,09 kg/cm<sup>2</sup> un ángulo de fricción de 29°

#### **Talud N°4.-**

Talud N°4 Av. Integración suelo fino limo inorgánico clasificación A-6 ML, con las siguientes características:

Peso específico de 2,36 gr/cm<sup>3</sup>

Permeabilidad de 0,0001 cm/s

Cohesión de 0,07 kg/cm<sup>2</sup> un ángulo de fricción de 35°

#### **Talud N°5.-**

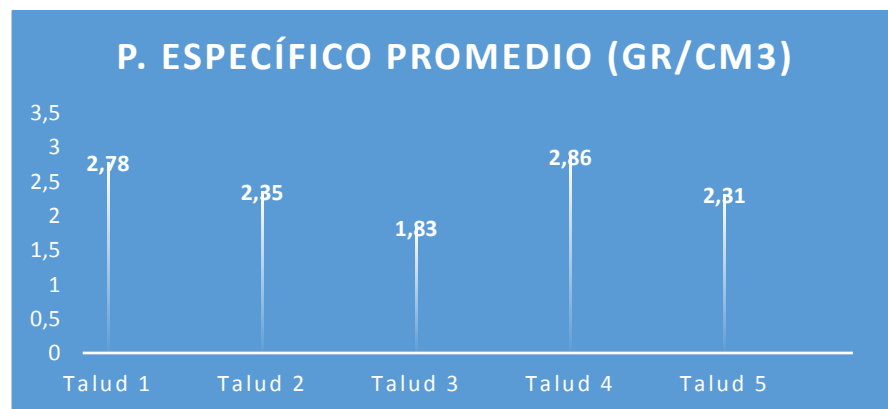
Talud N°5 Barrio San Antonio corresponde a un suelo fino arcilla inorgánica de baja plasticidad de clasificación A-7 CL, con las siguientes características:

Peso específico de 2,31 gr/cm<sup>3</sup>

Permeabilidad de 0,00003 cm/s

Cohesión de 0,00 kg/cm<sup>2</sup> un ángulo de fricción de 41°

**Figura 3.16 Comparación de pesos específicos**



**Fuente:** *Elaboración propia*

- **Factor de seguridad**

#### **Talud N°1.-**

Talud N°1 Gallinazo subida a San Jacinto, factor de seguridad de 0,33 un valor que nos indica es inestable a cualquier fenómeno, sin embargo con el método Janbú me sale un factor de seguridad de 1,49

**Talud N°2.-**

Talud N°2 Subida al Hotel Los Parrales corresponde a un Factor de seguridad de 0,25 un valor que nos indica es inestable a cualquier fenómeno, con el método Janbú sale un valor de 1,33 una seguridad relativa.

**Talud N°3.-**

Talud N°3 Barrio Carlos Warner, factor de seguridad 0,20 talud inestable, con el método Janbú 1,20 seguridad cuestionable.

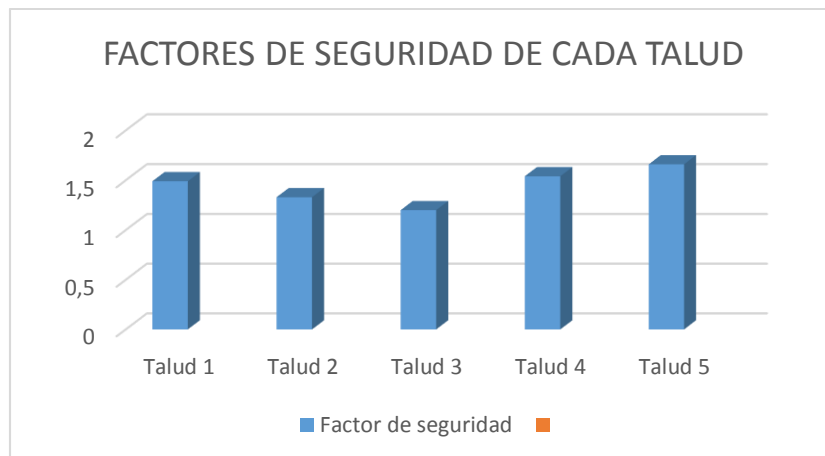
**Talud N°4.-**

Talud N°4 Av. Integración tiene un factor de seguridad de 0,31 igual que los anteriores es un talud inestable, con el método Janbú 1,54 seguridad satisfactoria.

**Talud N°5.-**

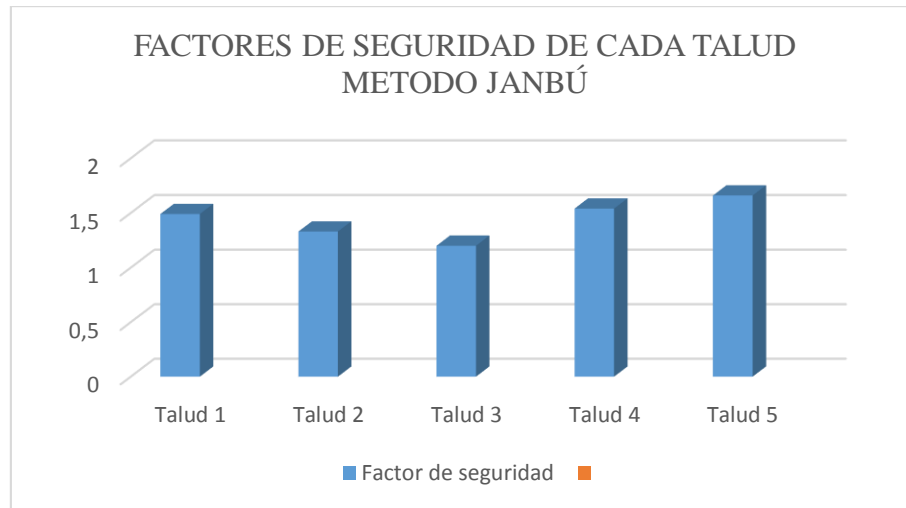
Talud N°5 Barrio San Antonio corresponde a un factor de seguridad de 0,51, con el método Janbú 1,66 seguridad satisfactoria.

**Figura 3.17 Comparación de factores de seguridad método Fellenius**



**Fuente:** *Elaboración propia*

**Figura 3.18 Comparación de factores de seguridad método Janbú**



**Fuente:** *Elaboración propia*

- **Riesgos**

Para el análisis de riesgo se analizó con las siguientes tablas:

Tabla N°1.- Relacionada a la amenaza a deslizamiento debida a factores geológicos.

Tabla N° 2.- Relacionada a la susceptibilidad a deslizamiento debida a factores topográficos y ambientales.

Nos permite observar que probabilidad existe acerca de la ocurrencia de un fenómeno de gran magnitud. Para el:

Talud N°1 Gallinazo subida a San Jacinto, amenaza moderada de 5,95.

Talud N°2 Subida al Hotel Los Parrales, amenaza moderada de 5,55

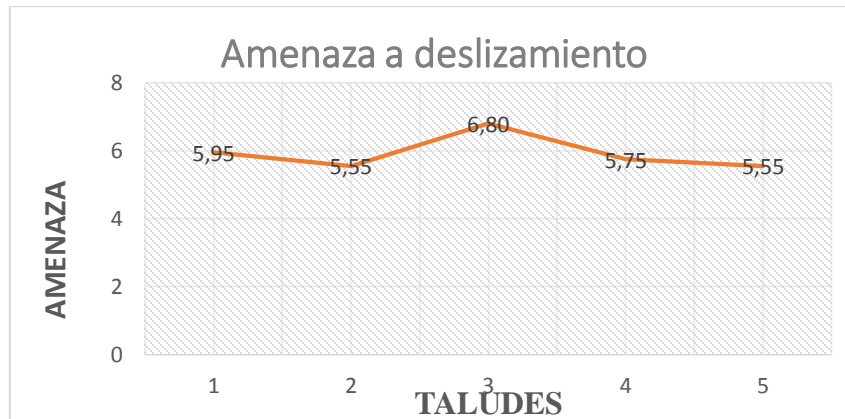
Talud N°3 Barrio Carlos Warner, amenaza alta de 6,8

Talud N°4 Av. Integración existe una amenaza moderada de 5,75

Talud N°5 Barrio San Antonio, amenaza moderada de 5,55

La única amenaza alta sería en el talud N°3 Barrio Carlos Warner que necesitaríamos un planteamiento de acciones más profundo y riguroso.



**Figura 3.19 Amenazas de los Taludes**

**Fuente:** *Elaboración propia*

- **Cuantificación**

Tabla N° 3.- Relacionada con el riesgo cuantificado en función de la población afectada.

Tabla N° 4.- Relacionada con el riesgo cuantificado en función a propiedades afectadas.

Nos permite determinar el número esperado de vidas humanas perdidas, personas heridas, daño a la propiedad, y pérdidas económicas relacionadas con la ocurrencia de un determinado fenómeno.

Con respecto a la cuantificación de riesgos el porcentaje de la población amenazada arroja un valor más alto debido a que el tráfico promedio diario es más alto por encontrarse los taludes en zonas urbanas de la ciudad donde existe afluencia de vehículos y población que tienen sus viviendas cerca de los taludes.

A continuación una tabla resumen de riesgos de la tabla N°3 y N°4

**Tabla 3.20 Resumen Población y Propiedades afectadas**

|                       | Talud N°1 | Talud N°2 | Talud N°3 | Talud N°4 | Talud N°5 |
|-----------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Población Afectada    | 5,30%     | 6,93%     | 13,76%    | 7,05%     | 7,54%     |
| Propiedades Afectadas | 70000 \$  | 189000 \$ | 165000 \$ | 154560 \$ | 125000 \$ |

**Fuente:** *Elaboración propia*

### 3.6. PLANTEAMIENTO DE ACCIONES

Al hablar de deslizamientos de tierra nos referimos a los movimientos de masas de suelo o rocas que se desplazan en dirección de la pendiente.

Los deslizamientos son uno de los procesos geológicos más destructivos. El 90% de las pérdidas por deslizamientos son evitables si el problema se identifica con anterioridad.

Los factores que favorecen la ocurrencia de deslizamientos son: Factores Geológicos, Hidrológicos, Topográficos, Vegetación, Meteorización, Sobrecargas, Impactos y Vibraciones. Se debe tener en cuenta a los factores que se presentan en el análisis cuantitativo de amenaza y riesgo.

Para el control de la masa en movimiento

Se mencionan los siguientes métodos:

- 1.- hormigón lanzado
- 2.- estructuras de protección

Para la protección de taludes se tienen soluciones diversas, que dependen básicamente de las características del terreno a proteger: condiciones topográficas (longitud, altura y superficie), clasificación de suelos, estructuras a proteger (sea en la base o en la parte superior).

Los taludes son estructuras que por sus características ocasionan problemas tales como deslizamientos, meteorización, erosión o incluso, el hundimiento del mismo, los taludes naturales presentan problemas existentes mayores, dados por las fallas del terreno, los tipos de suelos, la inclinación de su pendiente natural, la capa freática y el clima de la zona.

#### **Talud N°1**

- a) Este talud tiene una amenaza moderada, un riesgo bajo aceptable, lo cual no es urgente colocar una estructura para la estabilización, lo que si es necesario es

un seguimiento semestral y después de cada lluvia para ver el comportamiento del material que compone al talud, para ver si es necesario tomar alguna alternativa de mejoramiento.

### **Talud N°2**

- a) Subida al Hotel Los Parrales, al igual que el talud N°1 en nuestro análisis obtenemos una amenaza moderada que bien puede hacerse un control semestral o cada 3 meses sobre el comportamiento del talud, es un talud estable.
- b) Otra alternativa sería la utilización de las geo mallas para la estabilización de taludes es la solución más eficiente para evitar problemas causados por la erosión, por ser una zona muy visitada por turistas y personas reconocidas internacionalmente al hospedarse en el hotel más lujoso de nuestro departamento.

### **Talud N°3.-**

- a) Barrio Carlos Warner que tiene una altura considerable de 15,16 metros en el análisis nos sale una amenaza alta, un riesgo alto, es necesario tomar una medida rápida para evitar riesgos para las personas que viven en el pie del talud, una alternativa sería la utilización de las geo mallas para la estabilización de taludes es la solución más eficiente para evitar problemas causados por la erosión, hay casas que se encuentran al pie del talud y una ladrillera que utiliza el material de talud para la realización de ladrillos, los cuales están desestabilizando más aun el talud haciendo sus zanjas, surcos y uso indebido del talud, provocando que la amenaza sea mayor, sin contar con ningún tipo de drenaje alrededor de la vivienda. Con esta estructura de retención se evitaría que utilice la ladrillera y en casos de lluvias con viento se lograría menos deslizamientos y menor riesgo.

- b) Por los valores altos que tiene de amenaza es conveniente pensar en una acción del control del monitoreo de ese talud, que pueden ser el hormigón gunitado, mediante esta técnica solventamos los frecuentes problemas de degradación de tierras provocados por la erosión de las lluvias. Una vez terminado el trabajo tendremos una superficie continua, impermeable que permitirá mantener la consistencia del terreno.

**Talud N°4.-**

- a) Talud N°4 Av. Integración este talud tiene una amenaza moderada lo cual no es preciso colocar una estructura para la estabilización, lo que si es necesario es un seguimiento semestral y después de cada lluvia para ver el comportamiento del material.

**Talud N°5.-**

- a) Talud N°5 Barrio San Antonio corresponde a una amenaza moderada que puede o no requerir de alguna estructura de contención, pero en el caso de este talud tiene una calzada bastante angosta y curvas que no tienen una buena visibilidad para los vehículos que suben y bajan y sería necesario un riguroso control y limpieza cada 2 meses o cada que haya lluvia para no haya obstaculización del paso de los vehículos y evitar accidentes.
- b) las geo mallas para la estabilización de taludes es la solución más eficiente para evitar problemas causados por la erosión, por otro lado potencia la formación de una cubierta vegetal.

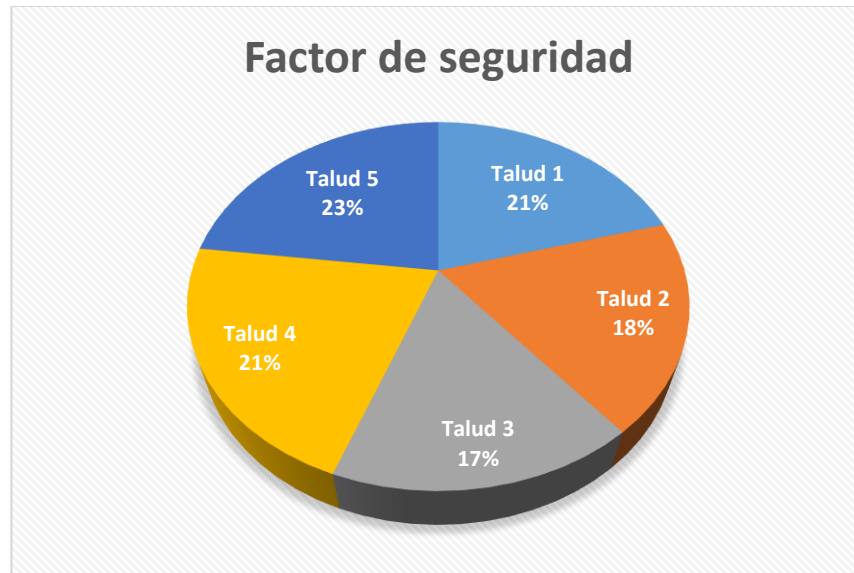
## CAPÍTULO IV CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 4.1. CONCLUSIONES

- ✓ En la presente investigación se cumplió con los objetivos planteados ya que se pudo analizar el material de los taludes e identificar el riesgo de inestabilidad seleccionando alternativas para evitar deslizamientos y amenaza en la población que vive alrededor de los taludes analizados.
- ✓ Se definió estas 5 zonas Talud N°1 Gallinazo subida a San Jacinto, Talud N°2 Subida al Hotel Los Parrales, Talud N°3 Barrio Carlos Warner, Talud N°4 Av. Integración, Talud N°5 Barrio San Antonio, para la evaluación y control de riesgo de inestabilidad que estén dentro de la ciudad de Tarija, evitando que hayan otros proyectos que hubiesen analizado los mismos lugares.
- ✓ En la caracterización y análisis del suelo de cada talud nos encontramos con suelos finos en todos los taludes, en el Talud N°1 se tiene una arena fina sin límites, con un peso específico de  $2,28 \text{ gr/cm}^3$ , Los suelos arenosos son ideales para ciertas plantaciones por sus excelentes características de drenaje, y se lo verifica en el ensayo de permeabilidad que obtiene un valor de  $0,014 \text{ cm/seg.}$ , el cual fue el talud que más rápido drenó en este ensayo.
- ✓ El Talud N°2 es un suelo A-6 ML, un limo inorgánico de plasticidad menos a 50, con un peso específico de  $2,35 \text{ gr/cm}^3$ , una permeabilidad de  $0,0001 \text{ cm/seg.}$  El Talud N°3 es un suelo A-4 ML, un limo inorgánico de plasticidad menos a 50, con un peso específico de  $1,83 \text{ gr/cm}^3$ , una permeabilidad de  $0,0001 \text{ cm/seg.}$  El Talud N°4 es un suelo A-6 CL, una arcilla inorgánico de plasticidad menos a 50, con un peso específico de  $2,36 \text{ gr/cm}^3$ , una permeabilidad de  $0,0001 \text{ cm/seg.}$   
El Talud N°5 es un suelo A-7 CL, una arcilla inorgánico de plasticidad menos a 50, tiene las características de elevado límite líquido con un peso específico de  $2,31 \text{ gr/cm}^3$ , una permeabilidad de  $0,00003 \text{ cm/seg.}$
- ✓ Se realizó el estudio de cada talud para saber el tipo de material y características ya mencionadas que tiene el suelo, ya que todos los datos fueron necesarios

para el cálculo del factor de seguridad de cada talud, el método usado fue Janbú mediante tablas lo cual los valores calculados nos muestran que todos los taludes son estables.

**Figura 4.1 Factor de seguridad**



**Fuente:** *Elaboración propia*

|                     | Talud 1 | Talud 2 | Talud 3 | Talud 4 | Talud 5 |
|---------------------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Factor de seguridad | 1,49    | 1,33    | 1,2     | 1,54    | 1,66    |

- ✓ Los deslizamientos en taludes son una problemática de importancia en nuestro país debido a los enormes daños humanos y materiales que ocasionan de manera casi periódica, por lo que resulta de gran importancia estudiar todos los factores que intervienen en la ocurrencia de este fenómeno para implementar las medidas de mitigación necesarias.
- ✓ En cuanto a la amenaza en la tabla 4.1 se observa el tipo de amenaza de los taludes, 4 de los taludes estudiados presentan Amenaza Moderada que siempre existe el riesgo que por alguna situación o fenómeno pueda caerse, y el talud N°3 barrio Carlos Warner presenta una Amenaza Alta a deslizamiento, por lo

cual, se evidencia que casi en su totalidad la zona está amenazada con la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno.

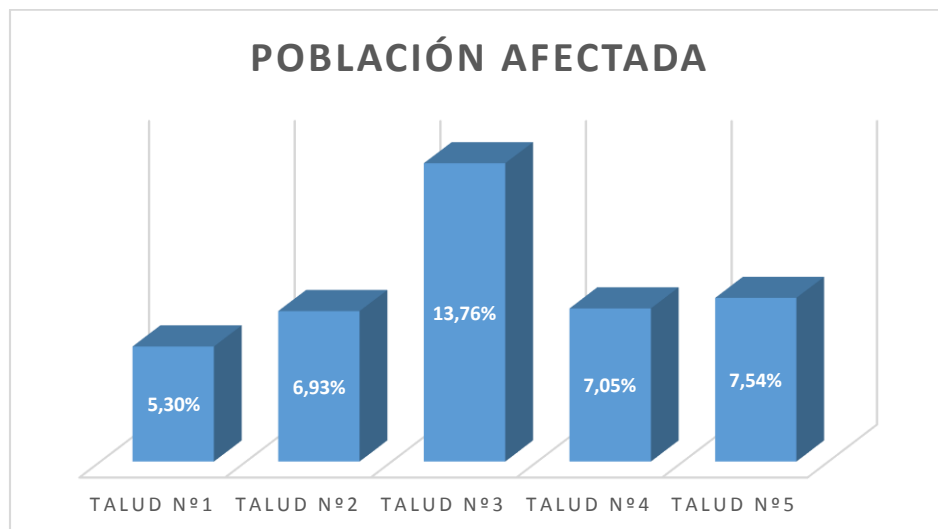
**Tabla 4.1 Cuadro de amenazas**

| CUADRO RESUMEN |                  |      |
|----------------|------------------|------|
| Talud N°1      | Amenaza Moderada | 5,95 |
| Talud N°2      | Amenaza Moderada | 5,55 |
| Talud N°3      | Amenaza Alta     | 6,80 |
| Talud N°4      | Amenaza Moderada | 5,75 |
| Talud N°5      | Amenaza Moderada | 5,55 |

**Fuente:** *Elaboración propia*

- ✓ En cuanto al riesgo en función de la población afectada para cada talud se muestra en la gráfica 4.1 y el talud con más riesgo es el N°3 con un 13,76 %, lo cual nos refleja el alto porcentaje de personas que son amenazadas por el riesgo, así mismo coincide con la amenaza alta que nos proporciona el análisis de amenazas realizado.

**Figura 4.2 Población afectada**



**Fuente:** *Elaboración propia*

- ✓ Las principales causas que originan deslizamientos en las zonas donde se encuentran mis taludes en estudio son las precipitaciones constantes, que originan presiones de poros e inestabilidades y posterior colapso, la pendiente de los mismos y sin lugar a duda el material componente de los taludes, taludes estables pueden ser inestables por la presencia de humedad.
- ✓ Finalmente en el planteamiento de acciones definimos 2 alternativas para evitar deslizamientos que provoquen amenazas y riesgos en la población afectada, una de las opciones es la utilización de las geomallas que nos ayudaran con nuestro objetivo y otra de ellas es el hormigón gunitado, estas 2 propuestas son necesariamente para el talud N°3 Barrio Carlos Warner que tiene una amenaza alta de 6,8 y una población afectada mayor de 13,76 %, para el caso de los demás 4 taludes que tienen una amenaza moderada mostrado en la tabla 4.1 cuadro de amenazas, se propone un control cada 2 a 6 meses con una limpieza en caso de lluvias para no obstaculizar el tráfico en caso de deslizamientos.

#### **4.2. RECOMENDACIONES**

- ✓ Es un hecho que las zonas en estudio necesitan de medidas para contrarrestar el efecto de los deslizamientos, la metodología planteada nos brinda una serie de parámetros analizados, los cuáles engloban situaciones que pueden presentarse al activarse un fenómeno deslizante y puede ser una buena alternativa para la cuantificación del riesgo y su posterior manejo.
- ✓ Para hacer el ensayo de corte directo se utilizaron 2 puntos para la recta de regresión y así poder hallar los valores de cohesión y el ángulo de fricción, por razones de tiempo a finales del mes de diciembre para la utilización del laboratorio no se pudo hacer un tercer punto, pero se recomienda al próximo universitario que haga este ensayo realizar un tercer punto para mayor precisión en los datos y hacer una comparación con el ensayo de triaxial.
- ✓ En cuanto al riesgo, ciertos parámetros o variables se los considera en el análisis, concretamente a las propiedades (Casas, Edificios, Estructuras especiales y áreas diversas) que pudieran ser afectadas en la mayoría de los



taludes analizados existen propiedades alrededor con mucho riesgo de ser perdidos, la población afectada o amenazada tiene un porcentaje alto debido a la alta densidad demográfica que fluctúa en los alrededores de los taludes que son urbanos.

- ✓ Los geo sintéticos son materiales sintéticos para la aplicación en obras de ingeniería, particularmente en geotecnia y protección ambiental. Esta solución actúa como soporte para el desarrollo de una cobertura natural y es compuesto con una manta tridimensional en fibra natural o sintética, puede actuar como revestimiento leve y como contención pasiva en taludes.
- ✓ Y por último el empleo del hormigón Gunitado podemos proyectar hormigón sobre cualquier superficie para fijar todo tipo de terreno. No importa la inclinación que tenga el terreno, podemos proyectar hormigón sobre superficies incluso en vertical o en bóvedas. Una vez terminado el trabajo tendremos una superficie continua, impermeable que permitirá mantener la consistencia del terreno, esta técnica es de muy rápida ejecución podemos realizar fijaciones de grandes superficies de terreno en pocas horas de trabajo.