



Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Ingeniería Civil

**CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA DE LOS DESLIZAMIENTOS DE TALUDES  
DEL KM 18+900 AL KM 19+600 DE LA RUTA DEPARTAMENTAL 5, CARRETERA  
A CIUDAD QUETZAL, SAN JUAN SACATEPÉQUEZ, GUATEMALA**

**Beissy Elizabeth Pérez Revolorio**

Asesorado por el Ing. Omar Enrique Medrano Méndez  
e Ing. Julio Roberto Luna Aroche

Guatemala, julio de 2014

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA DE LOS DESLIZAMIENTOS DE TALUDES  
DEL KM 18+900 AL KM 19+600 DE LA RUTA DEPARTAMENTAL 5, CARRETERA  
A CIUDAD QUETZAL, SAN JUAN SACATEPÉQUEZ, GUATEMALA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**BEISSY ELIZABETH PÉREZ REVOLORIO**  
ASESORADO POR EL ING. OMAR ENRIQUE MEDRANO MÉNDEZ  
E ING. JULIO ROBERTO LUNA AROCHE

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERA CIVIL**

GUATEMALA, JULIO DE 2014



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Walter Rafael Véliz Muñoz
VOCAL V	Br. Sergio Alejandro Donis Soto
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADORA	Inga. Dilma Yanet Mejicanos Jol
EXAMINADOR	Ing. Carlos Salvador Gordillo García
EXAMINADOR	Ing. Luis Estuardo Saravia Ramírez
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

## HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA DE LOS DESLIZAMIENTOS DE TALUDES  
DEL KM 18+900 AL KM 19+600 DE LA RUTA DEPARTAMENTAL 5, CARRETERA  
A CIUDAD QUETZAL, SAN JUAN SACATEPÉQUEZ, GUATEMALA**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, con fecha agosto de 2012.

  
Beissy Elizabeth Pérez Revolorio



**USAC**  
**TRICENTENARIA**  
 Universidad de San Carlos de Guatemala

<http://civil.ingenieria.usac.edu.gt>

Universidad de San Carlos de Guatemala  
 FACULTAD DE INGENIERÍA  
 Escuela de Ingeniería Civil



Guatemala, 25 de abril del 2014

Ingeniero  
 Hugo Leonel Montenegro Franco  
 Director Escuela de Ingeniería Civil  
 Facultad de Ingeniería  
 Universidad de San Carlos de Guatemala

Señor Director:

Tengo el agrado de informarle que he revisado el trabajo de graduación titulado **CARACTERIZACION GEOTECNICA DE LOS DESLIZAMIENTOS DE TALUDES KM. 18+900 AL KM. 19+600 DE LA RUTA DEPARTAMENTAL 5, CARRETERA A CIUDAD QUETZAL, SAN JUAN SACATEPEQUEZ, GUATEMALA**, realizado por el estudiante universitario **Beissy Elizabeth Pérez Revolorio**, quien contó con la asesoría del suscrito.

Considero que el trabajo realizado por el estudiante **Pérez Revolorio** cumple con los objetivos para los que fue planteado, por lo que recomiendo su aprobación.

Agradezco a usted la atención que se sirva prestar a la presente.

Atentamente,

Julio Roberto Luna Aroche **JULIO ROBERTO LUNA AROCHE**  
 Ingeniero Civil, Colegiado No. 2514 **INGENIERO CIVIL**  
 Asesor **GEÓLOGO M. Sc.**  
**COLEGIADO # 2,514**

Mas de 134 años de Trabajo Académico y Mejora Continua





**USAC**  
**TRICENTENARIA**  
Universidad de San Carlos de Guatemala

<http://civil.ingenieria.usac.edu.gt>

Universidad de San Carlos de Guatemala  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
Escuela de Ingeniería Civil



Guatemala, 25 de abril del 2014

Ingeniero  
Hugo Leonel Montenegro Franco  
Director Escuela de Ingeniería Civil  
Facultad de Ingeniería  
Universidad de San Carlos de Guatemala

Señor Director:


Tengo el agrado de informarle que he revisado el trabajo de graduación titulado **CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA DE LOS DESLIZAMIENTOS DE TALUDES DEL KM. 18+900 AL KM 19+600, RUTA DEPARTAMENTAL 5, CARRETERA A CIUDAD QUETZAL, SAN JUAN SACATEPÉQUEZ, GUATEMALA**, realizado por el estudiante universitario **Beissy Elizabeth Pérez Revolorio**, quien contó con la asesoría del suscrito.

Considero que el trabajo realizado por el estudiante **Pérez Revolorio** cumple con los objetivos para los que fue planteado, por lo que recomiendo su aprobación.

Agradezco a usted la atención que se sirva prestar a la presente.

Atentamente,

OMAR ENRIQUE MEDRANO MENDEZ  
INGENIERO CIVIL  
COLEGIADO No. 6842

  
Omar Enrique Medrano Méndez  
Ingeniero Civil, Colegiado No. 6842  
Asesor

134 años de Trabajo Académico y Mejora Continua





**USAC**  
**TRICENTENARIA**  
 Universidad de San Carlos de Guatemala

<http://civil.ingenieria.usac.edu.gt>

Universidad de San Carlos de Guatemala  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
 Escuela de Ingeniería Civil



Guatemala,  
 26 de mayo de 2014

Ingeniero  
 Hugo Leonel Montenegro Franco  
 Director Escuela Ingeniería Civil  
 Facultad de Ingeniería  
 Universidad de San Carlos

Estimado Ingeniero Montenegro.

Le informo que he revisado el trabajo de graduación **CHARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA DE LOS DESLIZAMIENTOS DE TALUDES DEL KM 18+900 AL KM 19+600 DE LA RUTA DEPARTAMENTAL 5, CARRETERA A CIUDAD QUETZAL, SAN JUAN SACATEPÉQUEZ, GUATEMALA**, desarrollado por la estudiante de Ingeniería Civil Beissy Elizabeth Pérez Revolorio, quien contó con la asesoría del Ing. Omar Enrique Medrano Méndez e Ing. Julio Roberto Luna Aroche.

Considero este trabajo bien desarrollado y representa un aporte para la comunidad del área y habiendo cumplido con los objetivos del referido trabajo doy mi aprobación al mismo solicitando darle el trámite respectivo.

Atentamente,

ID Y ENSEÑAD A TODOS

*Guillermo Melini*

Ing. Civil Guillermo Francisco Melini Salguero  
 Coordinador del Área de Materiales y  
 Construcciones Civiles



FACULTAD DE INGENIERIA  
 AREA DE MATERIALES Y  
 CONSTRUCCIONES CIVILES  
**USAC**

as de **134 años de Trabajo Académico y Mejora Continua**  
 /bbdeb.





**USAC**  
**TRICENTENARIA**  
 Universidad de San Carlos de Guatemala

<http://civil.ingenieria.usac.edu.gt>

Universidad de San Carlos de Guatemala  
 FACULTAD DE INGENIERÍA  
 Escuela de Ingeniería Civil



El director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen de los Asesores Ing. Omar Enrique Medrano Méndez e Ing. Julio Roberto Luna Aroche y del Coordinador del Área de Materiales y Construcciones Civiles, Ing. Guillermo Francisco Melini Salguero, al trabajo de graduación de la estudiante Beissy Elizabeth Pérez Revolorio, titulado **CARACTERIZACIÓN GEOTECNICA DE LOS DESLIZAMIENTOS DE TALUDES KM. 18+900 AL KM. 19+600 DE LA RUTA DEPARTAMENTAL 5, CARRETERA A CIUDAD QUETZAL, SAN JUAN SACATEPÉQUEZ, GUATEMALA**, da por este medio su aprobación a dicho trabajo.

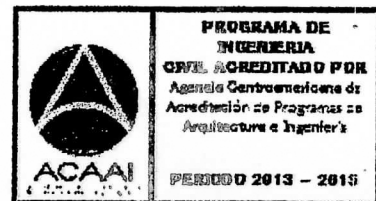
*Hugo Leonel Montenegro Franco*  
 Ing. Hugo Leonel Montenegro Franco



Guatemala, junio 2014.

/bbdeb.

mas de **134** años de Trabajo Académico y Mejora Continua





El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Civil, al trabajo de graduación titulado: **CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA DE LOS DESLIZAMIENTOS DE TALUDES DEL KM 18+900 AL KM 19+600 DE LA RUTA DEPARTAMENTAL 5, CARRETERA A CIUDAD QUETZAL, SAN JUAN SACATEPÉQUEZ, GUAEMALA,** presentado por la estudiante universitaria **Beissy Elizabeth Pérez Revolorio** y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

  
Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos  
Decano

Guatemala, julio de 2014



/cc





## **ACTO QUE DEDICO A:**

- Dios** Por ser la razón de mi existir, mi padre y amigo, refugio y guía, fuente de amor y sabiduría, mi luz y salvación. Toda la gloria y honra sean para ti por siempre.
- Mis padres** Abraham Pérez y Beissy Revolorio de Pérez, mi tesoro más valioso, gracias por enseñarme a vivir y brindarme su amor, confianza y apoyo incondicional.
- Mi abuela** Amabilia Salguero, por ser un ejemplo de vida, y la mujer que más admiro.
- Mis hermanos** Rocío y Junior Pérez Revolorio. Su alegría es mi fortaleza, y espero ser parte de su inspiración para alcanzar sus metas.
- Mis abuelos** Roderico Pérez, Margarita Pérez (q.e.p.d.), por formar parte de lo que soy.
- Mis tíos** Marisol Revolorio, Flor y Blanca Pérez, por su cariño sincero.

**Mis primos**

Marley, Favio y Edson Ramírez; Luis, Ana, Guadalupe, Daniel, Andrea y Luis Bámaca, por ser parte de mi vida.

**Mis amigos**

Abraham Ramírez, Alan Tercero, Byron Sipaque, Dany Álvarez, Melina Zapeta, Sergio Samayoa, Jessica Perla, Luis Calero, Claudia Morales, Abel Rodríguez, Joel Lima, por su sincera amistad y apoyo sin condiciones, gracias por los bellos momentos y alegrías.

## **AGRADECIMIENTOS A:**

<b>Dios</b>	Por darme la vida y permitirme concluir este sueño. Sin ti nada sería Señor.
<b>La Universidad de San Carlos de Guatemala</b>	Alma máter y mi casa de estudio que me brindó la oportunidad de aprender y ser parte de ella.
<b>Facultad de Ingeniería</b>	Por ser el medio y proveedor de conocimientos en este proceso.
<b>Mis asesores</b>	Omar Enrique Medrano Méndez y Julio Roberto Luna Aroche, por su paciencia, dedicación, tiempo y apoyo en la elaboración de este trabajo.
<b>Mis padres</b>	Por su esfuerzo, dedicación, amor, amistad, confianza y enseñanzas que valoro, por siempre se los agradeceré.
<b>Rocío Pérez</b>	Mi hermana, mejor amiga y apoyo incondicional.
<b>Mis amigos</b>	Por su amistad y compañerismo, siendo mi apoyo y fuente de alegría, personas irremplazables que agradezco haberlos conocido.





	1.4.2.1.	Precipitación .....	18
	1.4.2.2.	Sismicidad .....	19
	1.4.2.3.	Actividad humana .....	19
	1.4.3.	Otros factores.....	21
2.	METODOLOGÍA DE ANÁLISIS DEL ÁREA.....		23
	2.1.	Compilación de información .....	23
	2.2.	Análisis de pendientes naturales .....	23
	2.3.	Estudio fotogeológico .....	24
	2.4.	Geología de campo .....	25
	2.5.	Integración de información .....	25
3.	CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL ÁREA .....		27
	3.1.	Ubicación .....	27
	3.2.	Vías de comunicación .....	29
	3.3.	Demografía .....	29
	3.4.	Límites y extensión .....	30
	3.5.	Vegetación .....	31
	3.6.	Orografía y climatología .....	32
	3.7.	Geografía del área .....	34
	3.8.	Topografía.....	34
	3.9.	Geología y litología .....	38
	3.10.	Precipitación pluvial.....	41
	3.11.	Actividades humanas .....	42
4.	CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA DE LOS DESLIZAMIENTOS OCURRIDOS Y POTENCIALES EN EL ÁREA ANALIZADA .....		45
	4.1.	Ensayos de mecánica de suelos .....	46
	4.1.1.	Granulometría .....	46

4.1.2.	Límites de Atterberg.....	50
4.1.3.	Humedad .....	50
4.1.4.	Ensayo de corte directo .....	51
4.1.5.	Ensayo de compresión triaxial .....	53
4.2.	Análisis de estabilidad de taludes .....	55
4.2.1.	Geostudio 2012.....	56
4.2.2.	Análisis de estabilidad de taludes en estudio .....	58
4.2.3	Niveles de riesgo de taludes .....	74
5.	MÉTODOS DE ESTABILIZACIÓN DE TALUDES PROPUESTA .....	75
5.1.	Método Soil Nailing .....	75
5.2.	Muros de gravedad .....	78
5.2.1.	Muro de hormigón ciclópeo.....	80
5.2.2.	Muro de gaviones .....	81
5.2.3.	Muros con parámetros externos verticales o escalonados.....	82
5.2.4.	Muros con escalones a ambos lados .....	83
5.2.5.	Muros de semigravedad.....	83
5.2.6.	Muros de semigravedad con solera de anclaje .....	83
5.2.7.	Muros esbeltos de parámetros escalonado anclados por colchones y paneles de malla. ....	83
5.2.8.	Muros de mampostería .....	85
5.2.9.	Muros en voladizo .....	87
5.3.	Berma .....	88
5.4.	Vegetación.....	89
5.4.1.	Técnicas de bioingeniería .....	90
5.4.1.1	Estaquillado .....	90
5.4.1.2	Fajinas .....	90
5.4.1.3.	Escalones de matorral.....	92

5.4.1.4.	Paquetes de matorral .....	93
5.4.1.5.	Reparación de cárcavas de material vivo .....	94
5.4.1.6.	Esferas de matorral .....	95
5.4.1.7.	Construcciones mixtas.....	96
5.4.1.8.	Enrejados vivientes.....	97
5.4.1.9.	Muros de gaviones con vegetación.....	99
5.5.	Corte de la cabeza del talud.....	100
5.6.	Aplicación de métodos .....	101
CONCLUSIONES .....		103
RECOMENDACIONES .....		107
BIBLIOGRAFÍA .....		109
APÉNDICES .....		111
ANEXOS.....		103



## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Esquema desprendimiento de rocas .....	4
2.	Esquema de colapso de rocas .....	5
3.	Esquema de volcamiento de masas.....	6
4.	Curva de falla en movimiento rotacional.....	8
5.	Deslizamiento traslacional de una masa de suelo .....	9
6.	Esquema de deslizamiento extensivo .....	10
7.	Desplazamiento extensivo por licuefacción .....	10
8.	Clasificación de flujos.....	13
9.	Falla normal .....	17
10.	Sistema de fallas normales .....	18
11.	Ubicación del área de estudio .....	28
12.	Límites y extensión del área.....	31
13.	Sección longitudinal de tramo carretero. ....	32
14.	Proyección topográfica del área .....	35
15.	Definición de taludes .....	36
16.	Ubicación de taludes .....	37
17.	Clasificación de unidades litológicas en Guatemala .....	38
18.	Perfil estratigráfico .....	39
19.	Mapa geológico de municipio de San Juan Sacatepéquez, Guatemala. ....	40
20.	Ensayo de corte directo.....	52
21.	Muestra inalterada para ensayos .....	54
22.	Ensayo triaxial.....	54

23.	Factor de seguridad aceptable para taludes .....	56
24.	Análisis de estabilidad de talud 1 .....	59
25.	Análisis de estabilidad de talud 2.....	60
26.	Análisis de estabilidad de talud 3.....	61
27.	Análisis de estabilidad de talud 4.....	62
28.	Análisis de estabilidad de talud 5.....	63
29.	Análisis de estabilidad de talud 6.....	64
30.	Análisis de estabilidad de talud 7.....	65
31.	Análisis de estabilidad de talud 8.....	66
32.	Análisis de estabilidad de talud 9.....	67
33.	Análisis de estabilidad de talud 10.....	68
34.	Análisis de estabilidad de talud 11 .....	69
35.	Análisis de estabilidad de talud 12.....	70
36.	Análisis de estabilidad de talud 13.....	71
37.	Análisis de estabilidad de talud 14.....	72
38.	Análisis de estabilidad de talud 15.....	73
39.	Esquema de varillas en método Soil Nailing .....	76
40.	Procedimiento de construcción de método Soil Nailing.....	77
41.	Proyección de muro de gravedad .....	79
42.	Clasificación de muros de gravedad .....	79
43.	Morfología de muros.....	80
44.	Muros esbeltos de parámetros escalonados.....	84
45.	Alturas máximas de muros convencionales .....	86
46.	Esquema muros en voladizo.....	87
47.	Propiedades de taludes ante el uso de geosintéticos .....	89
48.	Esquema de estaquillado.....	91
49.	Técnica de bioingeniería, fajinas.....	91
50.	Esquema escalones de matorral.....	92
51.	Esquema paquetes de matorral.....	93

52.	Cárcavas con material vivo .....	94
53.	Técnicas de bioingeniería, esferas de matorral .....	95
54.	Esquema de estructura de tierra reforzada. ....	96
55.	Esquema de muros vivientes .....	97
56.	Esquema de enrejados vivientes.....	98
57.	Muros de gaviones con vegetación .....	99

## **TABLAS**

I.	Antecedentes de deslizamientos ocurridos en el área.....	2
II.	Nivel de amenaza de taludes en función de su propio ángulo .....	24
III.	Proyección de población para municipios involucrados.....	30
IV.	Temperatura promedio para el municipio de San Juan Sacatepéquez.....	33
V.	Datos mensuales y anuales de lluvia en el área de estudio .....	41
VI.	Días de lluvia al año en la zona del municipio de San Juan Sacatepéquez.....	42
VII.	Tamices para prueba de granulometría.....	47
VIII.	Clasificación de material por acumulación en tamices .....	47
IX.	Propiedades físicas del material de los taludes .....	49
X.	Propiedades del suelo mediante ensayo de corte directo.....	52
XI.	Propiedades del suelo mediante ensayo triaxial.....	55
XII.	Descripción de herramientas de Geostudio 2012 .....	57
XIII.	Evaluación de métodos de estabilización .....	102



## LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
$\Phi$	Ángulo de fricción interna
H	Contenido de humedad
$C'$	Cohesión del suelo
$\tau$	Esfuerzo cortante actuante
$\sigma$	Esfuerzo normal total
F.S	Factor de seguridad
$P_h$	Fuerza tangencial
$^{\circ}C$	Grados Celsius
km	Kilómetros
km <sup>2</sup>	Kilómetros cuadrados
m	Metro
mm	Milímetro

γ

Peso específico del suelo

X

## **GLOSARIO**

<b>CESEM</b>	Centro de Estudios Superiores de Energía y Minas.
<b>Cohesión</b>	Cualidad por la cual las partículas de suelo se mantienen unidas en virtud de fuerzas internas.
<b>Deslizamiento</b>	Movimiento o corrimiento de un volumen de suelo provocado por la inestabilidad del talud.
<b>Estratificación</b>	Rocas sedimentarias depositadas en forma de capas o estratos en secuencia vertical limitados por superficies planas que representan cambios en las condiciones de estratificación.
<b>IGN</b>	Instituto Geográfico Nacional.
<b>INSIVUMEH</b>	Instituto Nacional de Vulcanología. Meteorología e Hidrología.
<b>Geotecnia</b>	Conjunto de técnicas, tanto de campo como de laboratorio, que permiten conocer el terreno para utilizarlo adecuadamente como elemento de construcción, bien directamente como material (en caminos, diques, canales, etc.), o soporte de estructuras (cimentaciones).

<b>Geotextil</b>	Lámina permeable y flexible de fibras sintéticas, principalmente polipropileno y poliéster, las cuales se pueden fabricar de forma no tejida o tejida dependiendo de la resistencia y capacidad de filtración deseada.
<b>Licuefacción</b>	Proceso que conduce a la pérdida de firmeza y rigidez en suelos cohesivos sujetos a sucesiones sísmicas.
<b>Litología</b>	Parte de la geología que trata de las rocas, especialmente de su tamaño de grano, del tamaño de las partículas y de sus características físicas y químicas.
<b>Parámetros de corte</b>	Valores establecidos que definen la resistencia del suelo ante esfuerzos cortantes.
<b>Slope/W</b>	Herramienta del software Geostudio que tiene como función el análisis y cálculo de taludes que permite operar con distintos estratos de suelo, condiciones hidráulicas y bajo diferentes sistemas de carga.
<b>Solifluxión</b>	Proceso geomorfológico que consiste en el desplazamiento masivo y lento de masas arcillosas que por su alto contenido de humedad tienden a convertirse en lodos.



**Talud**

Declive de terreno con pendiente uniforme formado por la acumulación de fragmentos de roca partida en acantilados de montañas o cuencas de valles.

**Terraplén**

Tierra con que se rellena un terreno para levantar su nivel y formar un plano de apoyo estable para ejecutar una obra.



## RESUMEN

El presente trabajo contiene conocimientos básicos y resultados de un proceso de investigación que reúne las características geotécnicas de los taludes potencialmente inestables, pertenecientes al tramo carretero de la ruta departamental 5 que conduce a Ciudad Quetzal, San Juan Sacatepéquez, Guatemala; requisito indispensable para realizar un análisis evaluativo del nivel de riesgo en la zona afectada ante cualquier deslizamiento.

En el primer capítulo, se describen los antecedentes históricos de deslizamientos en el área de estudio, así como un marco de conocimientos básicos para el desarrollo e interpretación del trabajo.

El segundo capítulo detalla los procedimientos racionales empleados en el desarrollo de la investigación, asimismo incluye recopilación de información concerniente al área y el análisis e interpretación de herramientas obtenidas (magas geológicos, mapas topográficos y fotografías aéreas), e integración de los datos obtenidos.

El tercer capítulo muestra información específica del área, como la ubicación, límites, extensión, vegetación y geografía; haciendo alusión en la población con datos demográficos y actividades humanas; y con suma importancia exponiendo características técnicas: hidrología, climatología, litología y topografía.

El cuarto capítulo contiene los resultados de ensayos de laboratorio realizados al material de los taludes: granulometría, límites de Atterberg, triaxial

y corte directo lo que define sus propiedades mecánicas y que posteriormente permite presentar el análisis geotécnico de estabilidad por talud

El quinto capítulo define los métodos de estabilización de taludes utilizados en el país y la propuesta más factible para solucionar la problemática tomando en consideración elementos que intervienen en la situación actual de la comunidad.

# OBJETIVOS

## General

Elaborar un estudio de los taludes del km 18+900 al km 19+700 de la ruta departamental 5, carretera a Ciudad Quetzal, San Juan Sacatepéquez, Guatemala mediante la determinación de sus características físicas y mecánicas y el análisis ante posibles deslizamientos.

## Específicos

1. Dar a conocer la situación crítica ante los deslizamientos continuos de taludes en vías de comunicación departamentales.
2. Obtener las propiedades mecánicas del suelo de los taludes mediante ensayos de laboratorio.
3. Determinar los factores que provocan los deslizamientos de los taludes en estudio.
4. Calcular el factor de seguridad de cada talud, otorgando puntos críticos y más susceptibles ante deslizamientos.
5. Desarrollar una guía que contenga lineamientos básicos para realizar un análisis de las características geotécnicas de taludes.



## INTRODUCCIÓN

En la actualidad, el tema de estabilidad de taludes se presenta con gran importancia e inquietud, siendo este elemento la estructura más compleja de las vías terrestres, como soporte tiende a fallar por deslizamiento debido a diferentes factores que intervienen y provocan su falla, produciendo riesgo e inseguridad en carreteras y asentamientos

Las zonas montañosas 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: la topografía, sismicidad, meteorización y lluvias intensas. Debido a que el 90 por ciento de las pérdidas por deslizamientos son evitables si el problema se identifica con antelación y se toman medidas de prevención, tales como: métodos de estabilización de taludes.

Es así como surge la inquietud de elaborar esta investigación que incluya un análisis y estudio de las características de los taludes (ubicación, altura, tipo de suelo, pendiente, nivel freático, etc.), para identificar el nivel de amenaza de cada talud en la zona de estudio y, a su vez, aportar información del área como: uso de la tierra y vegetación, hidrología, fallas geológicas, factores antrópicos y urbanos.

Sin embargo, es indispensable para un análisis geotécnico determinar las propiedades físicas y mecánicas del material que componen los taludes, lo que exige la obtención de muestras inalteradas las cuales son analizadas en laboratorio mediante ensayos predefinidos.

En cuanto al análisis de estabilidad, siendo este el proceso esencial para determinar el factor de seguridad de cada talud mediante el uso de métodos sencillos que satisfagan el concepto de equilibrio.

Actualmente es necesario el uso de una herramienta precisa como Geostudio, un software diseñado para el estudio de diversas situaciones geotécnicas, ya que proporciona un medio rápido y sencillo para el análisis de taludes y permite involucrar todas las variables involucradas en el elemento determinando el factor de seguridad, y provee modalidad de comportamiento del mismo en caso de deslizamiento.

Con el fin de complementar el estudio, se define una etapa de estabilización mediante métodos de solución a esta situación, siendo sistemas flexibles y factibles, que ante la alerta temprana a desastres por deslizamientos consoliden el talud como prevención, y de esta manera otorgar y garantizar seguridad de la vía, es decir reducir el riesgo que conlleva esta problemática a la comunidad.



# **1. CLASIFICACIÓN DE DESLIZAMIENTOS**

## **1.1. Antecedentes**

A partir del fenómeno natural ocurrido en 1997 (huracán Mitch), la vulnerabilidad del suelo a deslizamientos ha sido más notoria, observando la susceptibilidad inmediata de los taludes a deslizamiento a lo largo de la carretera que conduce del municipio de Mixco, Guatemala hacia Ciudad Quetzal, aldeas y colonias aledañas, provocando múltiples daños en la carretera, viviendas cercanas, y a la población en general.

En cuanto a los factores que provocan la ocurrencia de los deslizamientos en el área de la carretera a Ciudad Quetzal son: intensas lluvias presentadas en la época de invierno, excavación de cuevas, específicamente para obtener arena y el sistema de fallas geológicas que pueden afectar directamente la zona.

Cabe mencionar que la falta de ordenamiento territorial en la zona es causa de la formación de asentamientos en los taludes y probablemente a hechos catastróficos.

En la tabla I se muestra el detalle de los deslizamientos ocurridos en el área, así como los factores predominantes.

Tabla I. **Antecedentes de deslizamientos ocurridos en el área**

FACTORES	EVENTOS	FECHA
Lluvia	8	al año
Extracción de arenas	2	1991,1998
Excavación en obras civiles	4	2011,2012
No determinados	13	desde 1990

Fuente: elaboración propia.

## **1.2. Descripción de situación actual del área**

La vulnerabilidad a deslizamiento de taludes en el área de estudio del kilómetro 18,9 al 19,7 de la carretera a Ciudad Quetzal es alta, debido a los diversos factores que activan esta problemática, y actualmente en el periodo de invierno se registran de 4 o más deslizamientos cuando la precipitación mensual del lugar estuvo en sus cifras máximas 110-118 milímetros.

Considerando que los taludes no han sido tratados, la carretera también ha sufrido daños severos, obstruyendo el paso permanente en los carriles; un ejemplo de ello es el tramo de carretera socavado en marzo de 2012; deterioros que han sido levemente reparados en la vía, aunque la raíz del problema permanece.

## **1.3. Marco teórico**

Los deslizamientos de tierra son uno de los procesos geológicos más destructivos que afectan a los humanos, causando miles de muertes y daños en las propiedades, y determinar su estabilidad corresponde utilizar diversas ciencias aplicadas: geología, topografía, mecánica de suelos, entre otras

### **1.3.1. Generalidades**

Los deslizamientos de taludes son procesos dinámicos o movimientos gravitacionales de masas de roca y/o suelo que se deslizan sobre una o varias superficies de rotura al superarse la resistencia al corte en estas superficies. Karl Terzagui (1960) define el deslizamiento de taludes como el desplazamiento de masas de roca y/o suelo en las cuales el centro de la gravedad del material removido avanza hacia abajo y hacia afuera con respecto al talud; Ludgren (1986) añade que el material desplazado debe ser superficial o cercano a la superficie e incluye los desplazamientos que ocurren bajo la superficie del mar.

En realidad, cualquier cosa que produzca una disminución de la resistencia del suelo o aumento de los esfuerzos en el mismo, contribuye a la inestabilidad y son aspectos que deben tomarse en consideración.

### **1.3.2. Clasificación de deslizamientos**

Para clasificar los tipos de movimiento de masas es importante conocer diversos factores influyentes:

- El material que lo constituye
- Comportamiento del material
- La forma y localización de la ruptura o la superficie de corrimiento
- El desplazamiento o distancia de viaje
- Tasa de movimiento de sus tipologías

Aunque es muy difícil establecerlo acertadamente debido al gran número de factores que influyen en estos procesos: gran variedad de escalas y

velocidades de desplazamientos, litologías involucradas y los mecanismos de rotura, entre otros factores variables.

Los tipos de movimientos de masa se clasifican de la siguiente, tomando en cuenta que se pueden subdividir de acuerdo a los materiales afectados: roca o suelo.

### 1.3.2.1. Caídas

Movimientos que ocurren cuando el material (roca o suelo) se desprende de una ladera con pendiente pronunciada, la masa en movimiento viaja la mayor parte de la distancia a través del aire o rodando, la cantidad de material desprendido puede ser bajo, aunque la velocidad siempre será alta, este material siempre se deposita a cotas más bajas o al pie del talud. También se define como el desprendimiento del material de un talud, individualizando por planos de rotura, con caída libre al menos en parte de su recorrido.

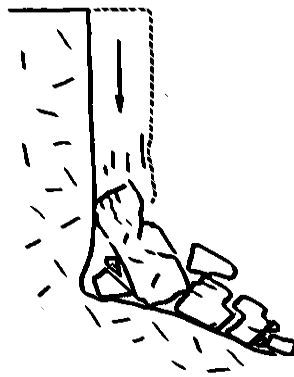
Figura 1. **Esquema desprendimiento de rocas**



Fuente: COROMINAS, Jordi; GARCÍA YAGÜE, A. *Mecanismos de desprendimiento y colapso*, 1997. p. 1051

Fenómeno caracterizado por presentar discontinuidades subverticales y fracturación observando rupturas bruscas e inesperadas, debido a que es inusual que se manifiesten signos de alerta ya que son difíciles de determinar; las caídas con una trayectoria básicamente vertical de volúmenes de suelo en acantilados por la socavación causada por un río, oleaje o meteorización y disgregación de las rocas a su pie es considerado como colapso.

Figura 2. **Esquema de colapso de rocas**



Fuente: COROMINAS, Jordi; GARCÍA YAGÜE, A. *Mecanismos de desprendimiento colapso*, 1997. p. 1052.

### **1.3.2.2. Descalce**

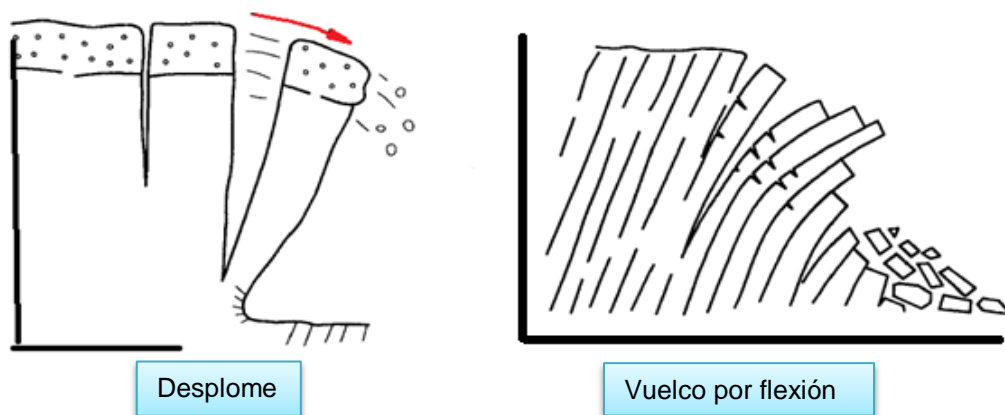
Movimiento determinado por la rotación de masa hacia el frente y afuera con respecto a un eje ubicado bajo su centro de gravedad, este fenómeno, también es conocido como volcamiento, puede producir movimientos posteriores en caída libre o deslizamientos.

Se caracteriza por la velocidad de desplazamiento del material, debido a que varía, de ser extremadamente lenta a muy rápida, cuya aceleración es

producida por el propio peso del material en movimiento, la fuerza desestabilizadora es la gravedad y el empuje por terreno adyacente o fluidos (hielo o agua) en las grietas.

En este mecanismo se precisan dos procesos: desplome y vuelco por flexión, en el primero la parte en falla cae bruscamente en giro apoyada en su base, producidos en bordes acantilados rocosos de materiales areno-arcillosos; el segundo mecanismo tiene lugar en sistemas discontinuos de rocas formando vigas semicontinuas en voladizo, doblándose hacia delante y en seguida se rompe por flexión.

Figura 3. **Esquema de volcamiento de masas**



Fuente: COROMINAS, Jordi; GARCÍA YAGÜE, A. *Mecanismos de desprendimiento y colapso*, 1997. p. 1054-1055.

El movimiento vuelco por flexión activo a gran escala en laderas, puede provocar cambios significativos en la permeabilidad del macizo rocoso, aunque también como medio de drenaje y se tomada como de medio funcional de autoestabilización.

### **1.3.2.3. Deslizamientos**

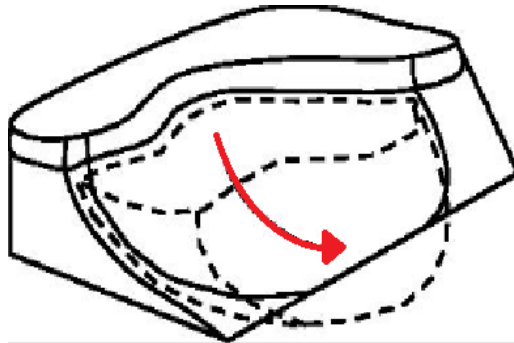
Este tipo de movimiento sucede cuando una masa de material (suelo o roca) se desliza predominantemente sobre una superficie muy delgada propensa a la ruptura.

Movimiento que se inicia de forma local o independiente, es decir se puede dividir en una serie de masas que en el proceso son sobrepuestas, extendiéndose en la superficie de ruptura, aunque no son precisamente predecibles manifiestan signos iniciales como: fracturas o grietas donde se forma el escarpe del deslizamiento, este fenómeno se divide considerando las características de las superficies: materiales, tipologías por factores como la litología y la estructura.

- Deslizamientos rotacionales

Son movimientos en los que la superficie de ruptura tiene forma cóncava y curva dependiendo de la uniformidad del material, es profunda o superficial. Generalmente es un movimiento asociado a suelos cohesivos uniformes o a macizos rocosos muy fracturados y sin estructura, se pueden observar en la zona alta del deslizamiento como una especie de gradas y, quizás agua, esto es por la excesiva humedad que llega a acumular el material, por lo que el movimiento es casi vertical.

Figura 4. **Curva de falla en movimiento rotacional**



Fuente: COROMINAS, Jordi; GARCÍA YAGÜE, A. *Mecanismos de desprendimiento y colapso*, 1997. p. 1057.

- **Deslizamientos translacionales**

Este fenómeno es el movimiento de masas a lo largo de una superficie de ruptura ondulada o plana, superficies que han sido consecuencia de discontinuidades geológicas como: fallas, fracturas de estratificación, material residual e incluso el desgaste entre la capa boscosa y la superficial del suelo.

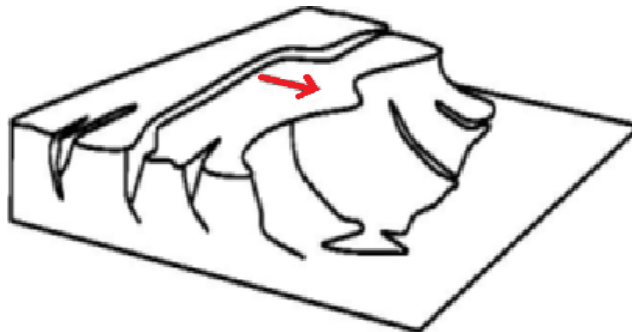
La rotura ocurre a favor de planos de debilidad con dirección más o menos paralela a la superficie del talud. Casi siempre el movimiento es estructuralmente controlado y tan pronto el deslizamiento progresa, la masa desplazada puede quebrarse, mayormente si el contenido de agua o la velocidad aumenta se convertiría en un flujo de material (lodos).

En otros sitios, la clasificación está basada en las condiciones geológicas regionales y en características simples. La clasificación comúnmente usada fue propuesta por Varnes en 1978 (de Aragón-Arreola, 1994), se basa en el material que lo constituye y en la forma de la masa removida; de acuerdo a su



edad los movimientos de ladera se clasifican en iniciales, avanzados y exhaustos. Por su grado de estabilización se denominan como activos.

Figura 5. **Deslizamiento traslacional de una masa de suelo**



Fuente: COROMINAS, Jordi; GARCÍA YAGÜE, A. *Mecanismos de desprendimiento y colapso*, 1997. p. 1058.

#### **1.3.2.4. Apertura lateral o deslizamiento extensivo**

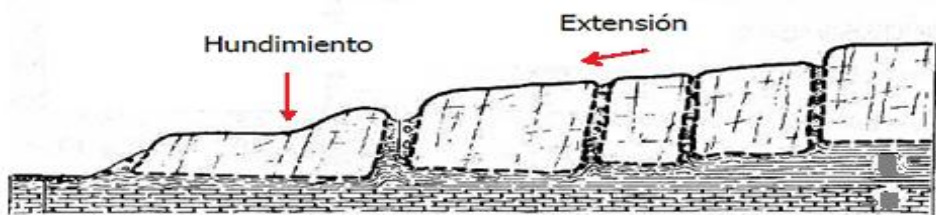
Movimientos de extensión lateral dentro de una masa de roca fracturada; en combinación con un hundimiento general sobre una superficie de capa delgada, pueden ser:

- Sin una superficie basal o zona de flujo plástico bien definida, predominantemente en capa de roca.
- La extensión de roca o suelo resulta de licuefacción o flujo plástico y material subyacente.

Según Varnes se distinguen dos tipos de extensiones laterales: por licuefacción, peculiar en sedimentos arcillosos (arcillas sensibles), provocado inicialmente por un deslizamiento rotacional que, de forma casi instantánea

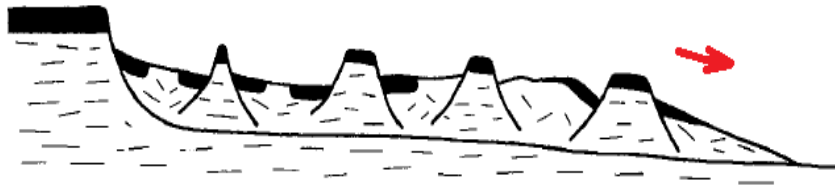
convierte el material en líquido denso, arrastrando bloques superpuestos; el segundo son movimientos expansivos laterales, ocurre cuando una capa de arcillas húmedas colapsa por el peso de capas superiores, provocando la fracturación de estas, separándose en grandes bloques.

Figura 6. **Esquema de deslizamiento extensivo**



Fuente: COROMINAS, Jordi; GARCÍA YAGÜE, A. *Mecanismos de desprendimiento y colapso*, 1997. p. 1060.

Figura 7. **Desplazamiento extensivo por licuefacción**



Fuente: COROMINAS, Jordi; GARCÍA YAGÜE, A. *Mecanismos de desprendimiento y colapso*, 1997. p. 1061.

### **1.3.2.5. Fluencias (flujos)**

Son movimientos de masas de corta duración, poco espaciadas y normalmente sin preservación alguna, caracterizados por materiales sin cohesión. Principalmente tienen lugar en suelos muy susceptibles que sufren una considerable pérdida de resistencia con el movimiento. Los materiales involucrados actúan temporalmente como un fluido, sufriendo una deformación continua y sin presentar superficies de roturas definidas.

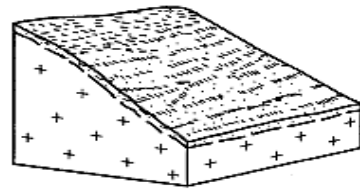
Es observable un proceso en el movimiento que llega a finalizar en flujos de lodos de acuerdo a la pendiente del terreno, el contenido de agua, el movimiento e incluso la velocidad. Denotándose seis tipos de movimientos: reptación, colada de tierra, solifluxión, corriente de derrubios, golpe de arena, avalancha de derrubios.

- Reptación: son movimientos lentos pero continuos que se aceleran progresivamente hasta llegar a la rotura de laderas, siendo imperceptible para largos periodos de tiempo; término comúnmente relacionado con la fluencia, ya que es un mecanismo importante en la deformación de laderas de alta montaña.
- Colada de tierra: movimientos que consisten en la deformación plástica y lenta de tierra o rocas blandas en laderas con pendiente moderada, que surgen al pie de los deslizamientos que se desarrollan sobre superficies de cillaza con moderada deformación interna.

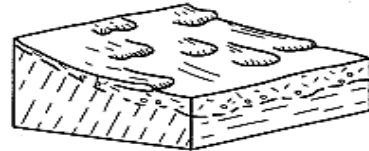
- Solifluxión: movimientos caracterizados por pequeñas deformaciones en suelos cohesivos y de poco espesor, que abunda en ambientes periglaciares donde se experimenta presión de agua en los poros del hielo, dando lugar al movimiento del material.
- Corriente de derrubios: movimientos fulminantes de material detrítico donde arenas, gravas y bloques con un alto contenido de agua, provoca que la corriente fluya tanto por laderas abiertas o canalizadas u hondonadas de terrenos, ya que debido a la baja cohesión en sus componentes, se desparrama en la parte inferior de las laderas.
- Golpe de arena: proceso causado por el movimiento brusco de arenas en cualquier estado, regularmente causada por el colapso estructural de la ladera, en respuesta a un hecho sísmico o al iniciarse la rotura del suelo por deslizamiento.
- Avalancha: movimientos de grandes volúmenes de tierra o fragmentos de roca a velocidades superiores a los 50 metros por segundo e igual que los deslizamientos un factor condicionante de rotura de grandes masas de roca.

En el desprendimiento y evolución del movimiento depende del contenido de agua y el efecto de la pendiente, ya que en conjunto puede licuefacer y fluir, precipitándose hacia abajo, alcanzando grandes distancias.

Figura 8. **Clasificación de flujos**



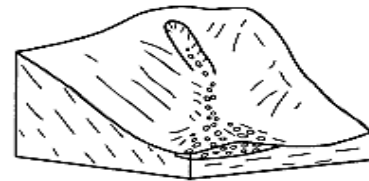
Reptación



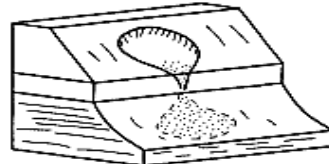
Solifluxión



Colada de tierra



Corriente de derrubios



Golpe de arena



Avalancha de derrubios

Fuente: COROMINAS, Jordi; GARCÍA YAGÜE, A. *Mecanismos de desprendimiento y colapso*, 1997. p. 1083.

### 1.3.2.6. **Movimiento complejo**

Deslizamiento que involucra dos o más tipos de movimientos, mecanismo caracterizado por el colapso brusco y masivo, muy rápido a extremadamente rápido, de una masa de material granular o derrubios, a partir de un efecto perturbador. Un elemento esencial es que el material involucrado tiene una estructura suelta y elevada porosidad.

## **1.4. Factores que producen deslizamientos**

En la ocurrencia de un deslizamiento intervienen varios factores, que de forma individual o simultánea hacen que se genere este fenómeno. Estos factores pueden subdividirse en dos grupos principales: condicionales (que propician el hecho de que una pendiente sea inestable) y activadores (que contribuyen la causa e inicio del movimiento).

Como es indiscutible, que la mayor parte de los casos son activados por dos o más factores, lo que a su vez, dificulta predecir el comportamiento de cada fenómeno.

### **1.4.1. Factores condicionales**

Predisponen al terreno a la ocurrencia de un deslizamiento, dentro de los cuales se encuentra la topografía (natural o modificada) y la geología, estos factores determinan una susceptibilidad al deterioro, a la acción de los factores activadores y al fallamiento del talud.

#### **1.4.1.1. Topografía**

Estudio dado por la relación que mantiene el terreno con las dimensiones del espacio, esto es altimetría y planimetría. La combinación de geoformas como: planicie costera, cordillera volcánica, etc.

En el análisis de deslizamientos, este análisis proporciona información básica; con anterioridad siempre se han usado planos topográficos existentes, así como también fotografías aéreas, no obstante la información que se puede

indagar de esta manera no será precisa, debido a la posible existencia de vegetación, impidiendo visualizar muchos elementos críticos.

Atendiendo al modelo de un cuerpo descansando sobre un plano sus fuerzas actuantes son el peso propio ( $W=mg$ ), la componente normal al plano, la componente paralela y una fuerza resistente al movimiento llamada resistencia a la cizalla. Si se introduce alguna fuerza horizontal que actúe sobre la masa en dirección a la pendiente, la componente de la cizalla se incrementa y puede llegarse el caso que sea superior a la fuerza resistente, en tal caso, se pierde el equilibrio y el cuerpo libre tiende a moverse.

De lo contrario se puede deducir que láminas y bloques de capa de roca o suelo cohesivo, por ejemplo, puede moverse, sufriendo menos disrupción interna sobre superficies de falla planas, que sobre cóncavas, como las que son características en deslizamientos rotacionales.

En general, los deslizamientos son más comunes en pendientes mayores de 3 unidades horizontales por una vertical, (expresado como 3:1); unos pocos se originan en pendientes mayores que 5:1 y menores que 3:1. Los deslizamientos que tienen lugar en pendientes menores de 5:1 generalmente requieren materiales extremadamente débiles o superficies preexistentes con baja resistencia al corte; comúnmente, aunque no invariablemente, una sacudida de terremoto o una excavación puede originar el movimiento.

Las fallas de suelo originadas por lluvia o los flujos de detritos, comúnmente se originan en pendientes mayores que 3:1 y la disposición comienza en pendiente menores de 5:1.

### **1.4.1.2. Geología**

Estudio que define las características y propiedades del suelo o roca, la formación geológica determina la composición de los diferentes materiales suaves o de alta resistencia, lo cual facilita la ocurrencia de movimientos que propician la falla.

La influencia de la geología, como factor condicionante de los deslizamientos, se puede analizar desde dos puntos de vista:

- El primero se relaciona con el comportamiento mecánico de los distintos tipos de roca de acuerdo a su naturaleza o que forman el talud; las rocas, de acuerdo a su origen poseen ciertas características inherentes como: textura (arreglo entre partículas), dureza, coherencia, grado de cementación, etc, y de acuerdo a estas características propias se determina su comportamiento mecánico.
- El segundo se relaciona con las condiciones estructurales del talud (fallas, fracturas, fisuras, etc.) que influyen sobre la estabilidad de este. El fracturamiento facilita la circulación del agua, por ejemplo, si se tiene dos suelos, uno con estructura granular con porosidad de intersticios y otros con estructura fracturada con porosidad de fisuras. En el primero, el flujo es lento y laminar; en el segundo es rápido y turbulento, lo cual puede generar alteraciones, presiones y erosión interna.

Una fractura es un plano de ruptura de roca, es decir, el rompimiento de una superficie que es separada en dos partes y con ese fenómeno pierde su continuidad. Cuando una fractura, además de la discontinuidad, muestra un



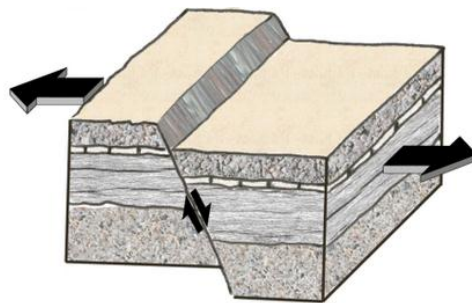
desplazamiento entre sus partes se habla de una falla, es conocida también como dos o más bloques desplazados.

La susceptibilidad de taludes es uno de los riesgos geológicos más preocupantes por la diversidad de circunstancias que lo provocan, como el cambio climático.

Las fallas son movimientos que resultan de presiones de compresión, tensión o rotación, actuando sobre una masa de roca. El área de ruptura tiene una superficie definida, generalmente se encuentra asociada a estratos duros y frágiles que a materiales más plásticos.

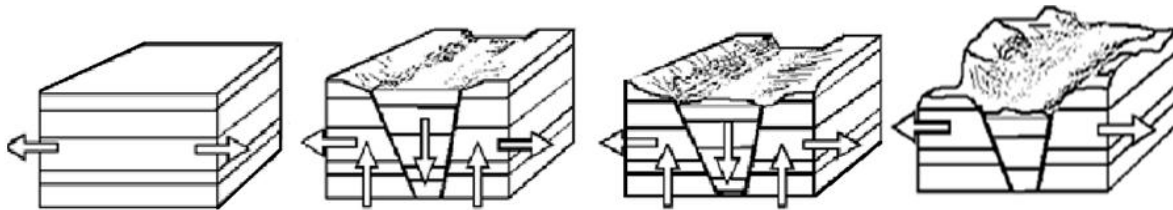
El desplazamiento se observa con mayor claridad en la cara, que es perpendicular al plano de falla. Allí, el desplazamiento vertical del bloque derecho con respecto al izquierdo se llama salto. La falla se origina por esfuerzos de tensión y el movimiento se debe a la gravedad, a este fenómeno se le llama falla normal.

Figura 9. **Falla normal**



Fuente: COROMINAS, Jordi; GARCÍA YAGÜE, A. *Mecanismos de desprendimiento y colapso*, 1997. p. 1083.

Figura 10. **Sistema de fallas normales**



Fuente: COROMINAS, Jordi; GARCÍA YAGÜE, A. *Mecanismos de desprendimiento y colapso*, 1997. p. 1084-87.

### **1.4.2. Factores activadores.**

Son los que generan y aceleran los fenómenos de deslizamientos, también conocidos como factores detonantes debido a que el resultado es un aumento de los esfuerzos cortantes, ya que casi de manera inmediata, rompen el equilibrio de fuerzas internas en un talud provocando primeramente el deterioro y por resultado la falla. Los principales factores son: precipitación, sismicidad y actividad humana.

#### **1.4.2.1. Precipitación**

La precipitación y la escorrentía superficial, procesos antrópicos, son mecanismos erosivos que han tomado gran importancia en las áreas intertropicales. El agua presente en el suelo actúa como lubricante, aumentando la humedad, ejerce peso y presión en el terreno, modificando la presión de poro del suelo, que en exceso da a la masa una condición hidrodinámica y aumenta parcialmente la presión.

#### **1.4.2.2. Sismicidad**

El sismo es el fenómeno físico que produce vibraciones en el terreno y puede inducir deslizamientos, licuefacción y producir pérdida de vidas humanas u obras civiles. En la medida que este factor afecte, la experiencia demuestra que la forma más económica y eficiente para reducir los desastres naturales es contar con un gran programa de prevención (a largo, mediano y corto plazo) y minimizar la vulnerabilidad de las edificaciones.

Para entender las circunstancias que rodean a los terremotos y temblores, es necesario considerar que la corteza terrestre está fragmentada en diversas placas que se encuentran en colisión en algunas zonas del planeta; este choque es la causa que ha formado los distintos sistemas montañosos.

El estudio de los sismos ayuda a reducir el daño que estos pueden causar en las poblaciones humanas. En muchas ocasiones se han sesgado altos números de vidas humanas, además de cuantiosas pérdidas económicas difíciles de subsanar, tanto en el corto como en el mediano plazo. Es por ello que los gobiernos en regiones afectadas por la actividad sísmica solo pueden considerar como una inversión el estudio de la actividad en la corteza terrestre, a fin de tomar las medidas más adecuadas para su tratamiento. Experiencias ocurridas en el pasado, ya han sido lo suficientemente aleccionadoras para subestimar las consecuencias que estos fenómenos puedan ocasionar.

#### **1.4.2.3. Actividad humana**

La presencia del hombre es un factor muy importante en el momento de un deslizamiento, ya que puede alterar la naturaleza del terreno si no se toman

las precauciones necesarias. La actividad humana, como factor para provocar un deslizamiento es muy amplia debido a que el hombre ante cualquier situación que se plantee, sobre todo cuando se trata de desarrollo económico, termina por alterar el ambiente de una forma u otra. No se trata de detener el desarrollo económico, sino de tratar de alterar lo menos posible el ambiente y en caso contrario, dejar sentadas las condiciones de una recuperación lo más rápida y efectiva posible.

A continuación se describen las actividades humanas que crean posibilidad de ocurrencia de deslizamiento:

- Cortes y rellenos
- Cambios del curso de agua superficial, desvío de cauces, canales de irrigación, lagos artificiales o alteración de sus niveles
- Cambios de agua subterráneas
- Cambios de cubierta de vegetación, limpieza, excavación, cultivos.
- Anegación y absorción de depósitos de agua
- Canales, agujeros y excavaciones
- Acumulación de desechos
- Problemas de saturación por fugas en tuberías, canales presas y drenajes subterráneos

En las localidades más pobladas del país, como la capital de Guatemala, las personas edifican sus viviendas en lugares de alto riesgo por deslizamientos, como orillas de barrancos, zanjones, etc. Es por esta razón que se le agrega una carga adicional a los taludes, provocando que estos sean inestables.

### **1.4.3. Otros factores**

Presentan decremento en la resistencia al esfuerzo cortante en posibles planos de corrimiento.

- Descongelamiento de agua
- Cambios en la composición química del agua
- Incremento en la densidad del material
- Cambios en la vegetación
- Cambios combinados



## **2. METODOLOGÍA DE ANÁLISIS DEL ÁREA**

### **2.1. Compilación de información**

Se desarrolla un proceso de investigación, acudiendo a instituciones nacionales que estén involucradas con la temática (Instituto Geográfico Nacional (IGN), Instituto Nacional de Estadística (INE), Instituto Nacional de Vulcanología, Meteorología e Hidrología (INSIVUMEH) y particularmente con instituciones comunales (Municipalidad de San Juan Sacatepéquez, COCODES), que puedan otorgar material específico, que permita obtener la información óptima para realizar el análisis respectivo y concerniente a la caracterización. Se obtienen mapas, fotografías aéreas, estudios realizados por profesionales en áreas similares, geología, precipitación, etc.

### **2.2. Análisis de pendientes naturales**

Se efectúa un estudio, análisis y delimitación de pendientes de los taludes, obteniéndose una zonificación de los taludes existentes a lo largo del tramo concerniente de la carretera (del km 18+900 al km 19+600), para lo cual se utiliza un mapa a escala 1:10,000, con curvas de nivel a cada metro, proporcionado por el Instituto Geográfico Nacional (IGN).

El análisis se desarrolla realizando perfiles del terreno en áreas que se consideran de alto riesgo ante la ocurrencia de deslizamientos.

El procedimiento se describe a continuación:

- Se realiza la línea del perfil, analizando las cotas del terreno en el mapa
- La distancia se analiza de la parte más baja hacia ambos lados
- El ángulo se calcula por medio de la fórmulas trigonométricas

El ángulo de los taludes se clasifica en varios niveles de amenaza, como se observa en la tabla II.

Tabla II. **Nivel de amenaza de taludes en función de su propio ángulo**

TALUD	NIVEL DE AMENAZA
$>60^\circ$	Muy alto
$60^\circ > x > 30^\circ$	Alto
$45^\circ > x > 30^\circ$	Bajo
$x < 30^\circ$	No existe

Fuente: elaboración propia.

### 2.3. Estudio fotogeológico

Estudio basado en el análisis de tres fotografías aéreas de la zona de estudio a escala 1:10000, otorgadas por el Instituto Geográfico Nacional (IGN). estudiadas por un estereoscopio, esto refleja lo siguiente:

- Rasgos de deslizamientos antiguos
- Taludes con riesgo de deslizamiento
- Actividades humanas que influyen directamente con los deslizamientos
- Patrones de drenajes
- Ubicación de lugares en riesgo
- Fallas geológicas



## **2.4. Geología de campo**

La geología del área permite estimar la susceptibilidad al movimiento, la cual se determina a través de fotos aéreas, mapa geológico del área de la ciudad de Guatemala, la falla que cruza el área en estudio, es un indicio del comportamiento sísmológico y podría afectar de una manera u otra las actividades humanas realizadas en ese lugar.

Al estudiar los materiales que conforman el subsuelo de los taludes, a través de la mecánica de suelos y uso de laboratorio, se determina la estratigrafía del lugar, que es un factor preciso en la ocurrencia de deslizamientos de taludes.

A lo cual, la visita de campo se presenta necesaria para observar los tipos de roca, estado del material, posibles fallas, crecimiento urbanístico y otros factores condicionantes.

## **2.5. Integración de información**

Una vez recopilada toda la información que intervenga factores condicionantes y activadores principales para la ocurrencia de deslizamientos, se procede al análisis y diseño de mapas de zonificación de susceptibilidad de deslizamientos, estas áreas se distinguen con distintas simbologías, clasificando el riesgo por talud, ya sea este bajo, medio y alto.



### **3. CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL ÁREA**

Se realiza una investigación detallada del sitio, reuniendo las características geotécnicas, topográficas, geológicas y ambientales que intervienen y permiten realizar un diagnóstico acertado a la problemática.

La importancia de determinar y exponer las características específicas del área proviene de ser la base fundamental para el desarrollo del estudio geotécnico; así como también, es esencial mantener las metodologías de investigación mencionadas anteriormente, para garantizar la exactitud de los resultados requeridos.

De manera que las características del área investigadas son: ubicación, vías de comunicación, demografía, límites, extensión, vegetación, orografía, climatología, geología, litología y precipitación pluvial.

#### **3.1. Ubicación**

La zona de estudio se encuentra localizada al norte del departamento de Guatemala, a 18 kilómetros de la capital, ubicación definida entre las coordenadas: latitud 14° 41' 6.17" norte, y longitud 90° 34' 18.58" oeste.

Figura 11. Ubicación del área de estudio



Fuente: Instituto Geográfico Nacional (IGN).

### **3.2. Vías de comunicación**

La carretera que conduce a Ciudad Quetzal es de 27 kilómetros, esta se encuentra totalmente asfaltada, y es el único acceso al área de los taludes en estudio.

Vía reconocida por ser la antigua carretera a al municipio de San Raymundo, oficialmente se denomina como Ruta Departamental número 5 (RD5).

### **3.3. Demografía**

La población más afectada por la ocurrencia de deslizamientos en el área, objeto de estudio, es la que pertenece a Ciudad Quetzal y aproximadamente 16 colonias aledañas: Residenciales El Quetzal, Residenciales Jardines del Edén, Las Margaritas, San Juaneros, El Edén, Linda Vista, Villa Verde, San Francisco del Bosque, Las Fuentes, San Gabriel, Bella Vista, Monte Carmelo, Lo de Mejía, Carranza, La Económica, Villas del Quetzal), 3 aldeas (Chillani, Las vistas y Las arcadias), y 2 municipios de Guatemala (San Pedro Sacatepéquez y San Raymundo).

Aunque la población ha ido aumentando se puede determinar la cantidad de habitantes aproximada para los últimos años, de acuerdo a las estimaciones realizadas por el Instituto Nacional de Estadística (INE) según su proyección de población por municipio 2008-2020.

Tabla III. **Proyección de población para municipios involucrados**

<b>Municipio</b>	<b>2010</b>	<b>2011</b>	<b>2012</b>	<b>2013</b>	<b>2014</b>	<b>2015</b>
San Pedro Sacatepéquez	40,059	40,967	41,860	42,740	43,605	44,455
San Raymundo	28,756	29,407	29,407	30,680	31,301	31,912
San Juan Sacatepéquez	208,035	213,975	219,905	225,821	231,721	237,245

Fuente: Instituto Nacional de Estadística (INE).

### **3.4. Límites y extensión**

La región de interés limita al norte con granja Las Marías, La Económica, jurisdicción del municipio de San Juan Sacatepéquez, al sur con la colonia Carolingia zona 6 de Mixco, al este con la colonia El Milagro zona 6 de Mixco y al oeste con la finca San Jerónimo Escudero.

Figura 12. Límites y extensión del área



Fuente: Instituto Geográfico Nacional (IGN), hoja cartográfica del municipio San Juan Sacatepéquez.

Su extensión territorial es de 242 kilómetros cuadrados, y de manera específica se indica que el área en estudio abarca 700 metros ubicados desde el kilómetro 18.9 al 19.6 de la ruta departamental 5 (RD5),

### 3.5. Vegetación

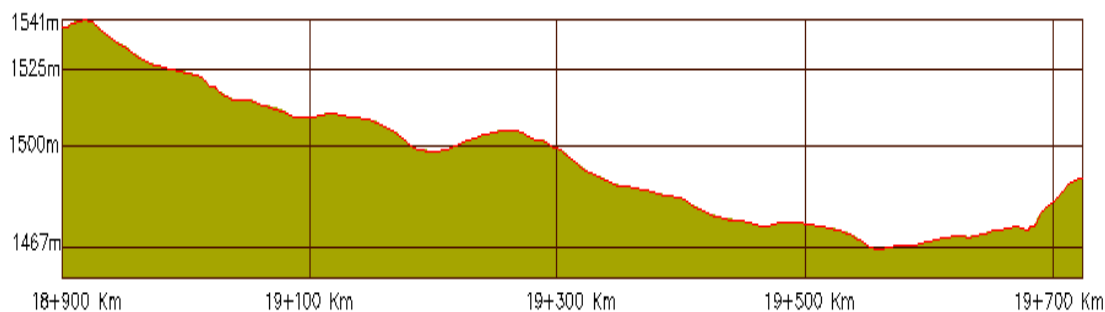
Guatemala es un país singular por su abundante flora, mayormente en zonas montañosas; la ruta departamental hacia Ciudad Quetzal se torna ocupada por pequeñas masas boscosas de forma inconstante a lo largo de todo el perímetro de la vía, considerando que no existe plan adecuado de mantenimiento a esta temática por parte de las autoridades.

El área que ocupan los taludes de la zona en estudio se encuentra relativamente tupida de un manto de flora mediano (arbustos y monte), aunque predomina la presencia de algunos árboles (encino y pino).

### 3.6. Orografía y climatología

La configuración superficial del área se caracteriza por ser parte del sistema montañoso central de Guatemala, específicamente afectada por el ramal de la cordillera de Los Andes: La Sierra Madre, manteniendo altitudes entre 1 467 y 1 541 msnm. El área presenta múltiples hondonadas en su extensión para lo cual se presenta el perfil respectivo.

Figura 13. **Sección longitudinal de tramo carretero**



Fuente: elaboración propia, con programa AutoCAD 2013.

En cuanto al clima, en toda Guatemala se presenta marcadas dos estaciones: la seca de noviembre hasta abril y la lluviosa de mayo a octubre.

De acuerdo al Instituto Nacional de Sismología y Vulcanología, Meteorología e Hidrología (INSIVUMEH), climáticamente se ha zonificado el país en seis regiones caracterizadas por el sistema Thornwaite, el municipio de



San Juan Sacatepéquez es parte de la zona identificada como meseta y altiplanos, por la variabilidad de elevaciones entre montañas, se generan microclimas cuyas regiones son densamente pobladas, lo que hace que la acción humana se convierta en un factor de variación apreciable; por lo tanto los climas varían de templados y semifríos, con invierno benigno o semicálidos, con invierno benigno de carácter húmedos y semisecos, con invierno seco.

La zona mantiene temperaturas máxima media anual y mínima media anual, como se describe en la tabla IV.

Tabla IV. **Temperatura promedio para el municipio de San Juan Sacatepéquez**

<b>AÑO</b>	<b>TEMPERATURA MEDIA MÁXIMA (°C)</b>	<b>TEMPERATURA MEDIA MÍNIMA (°C)</b>
2008	25,9	15,3
2009	25,7	15,5
2010	25,3	15,9
2011	25,8	15,0
2012	25,2	15,3

Fuente: INSIVUMEH.

### **3.7. Geografía del área**

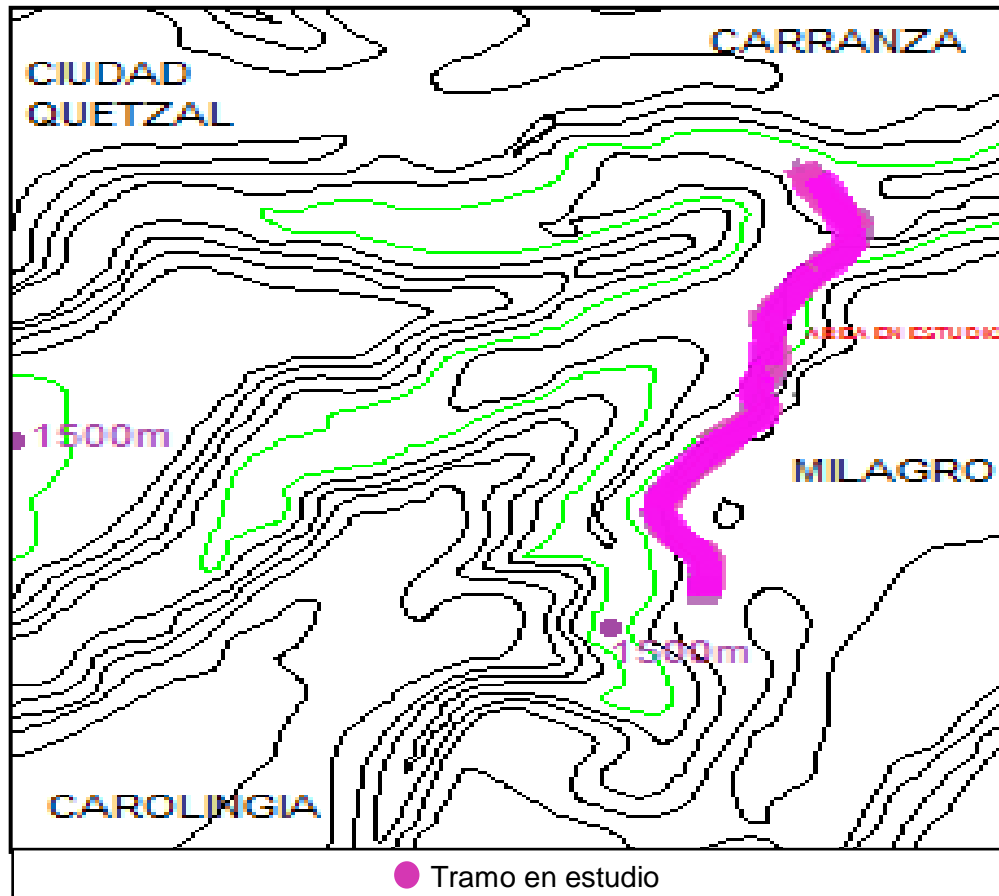
El área específica en estudio está ubicada en las coordenadas, latitud 14° 41' 6.17" norte, y longitud 90° 34' 18.58" oeste, su extensión territorial comprende 650000 metros cuadrados, región que define las colindancias entre dos colonias: El milagro que pertenece a la zona 6 del municipio Mixco y la colonia El Pozo que pertenece al municipio de San Juan Sacatepéquez, sin embargo el tramo de taludes está bajo la jurisdicción de Mixco.

La colonias involucradas son atravesadas por el río Zapote con superficie de 72,62 kilómetros cuadrados el cual es receptor de las aguas pluviales del área, lo que produce su crecida máxima en época lluviosa, afectando el nivel de vida de la población.

### **3.8. Topografía**

Para obtener la información básica que proporciona este estudio, se realiza el detalle del levantamiento de la zona con base al mapa topográfico del municipio de San Juan Sacatepéquez del departamento de Guatemala a escala 1:50,000 con intervalo de curvas a cada 20 metros y curvas suplementarias a cada 10 metros proporcionado por el Instituto Geográfico Nacional.

Figura 14. Proyección topográfica del área



Fuente: elaboración propia, con programa AutoCAD 2013.

Para fines propios de este estudio, es obligatorio identificar los taludes potencialmente inestables para realizar el análisis completo por unidad; con base en los antecedentes escritos con anterioridad y a un estudio del área, se presenta la figura 15 que identifica los taludes que se analizarán posteriormente.

Figura 15. Definición de taludes

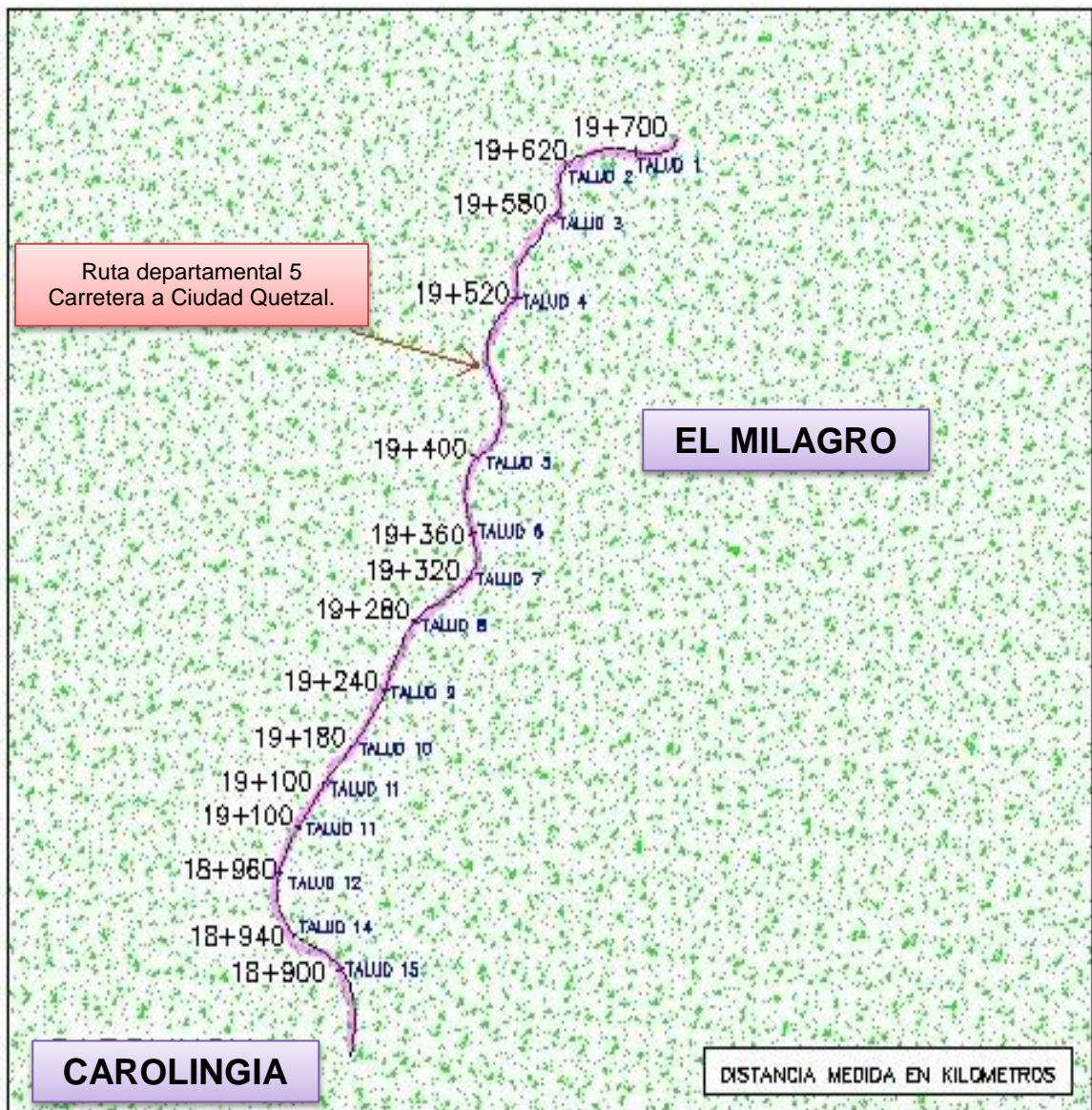


Fuente: Instituto Geográfico Nacional (IGN).



A manera de representar la ubicación de los taludes de mayor riesgo a deslizarse en el tramo carretero, se presenta la figura 16.

Figura 16. **Ubicación de taludes**

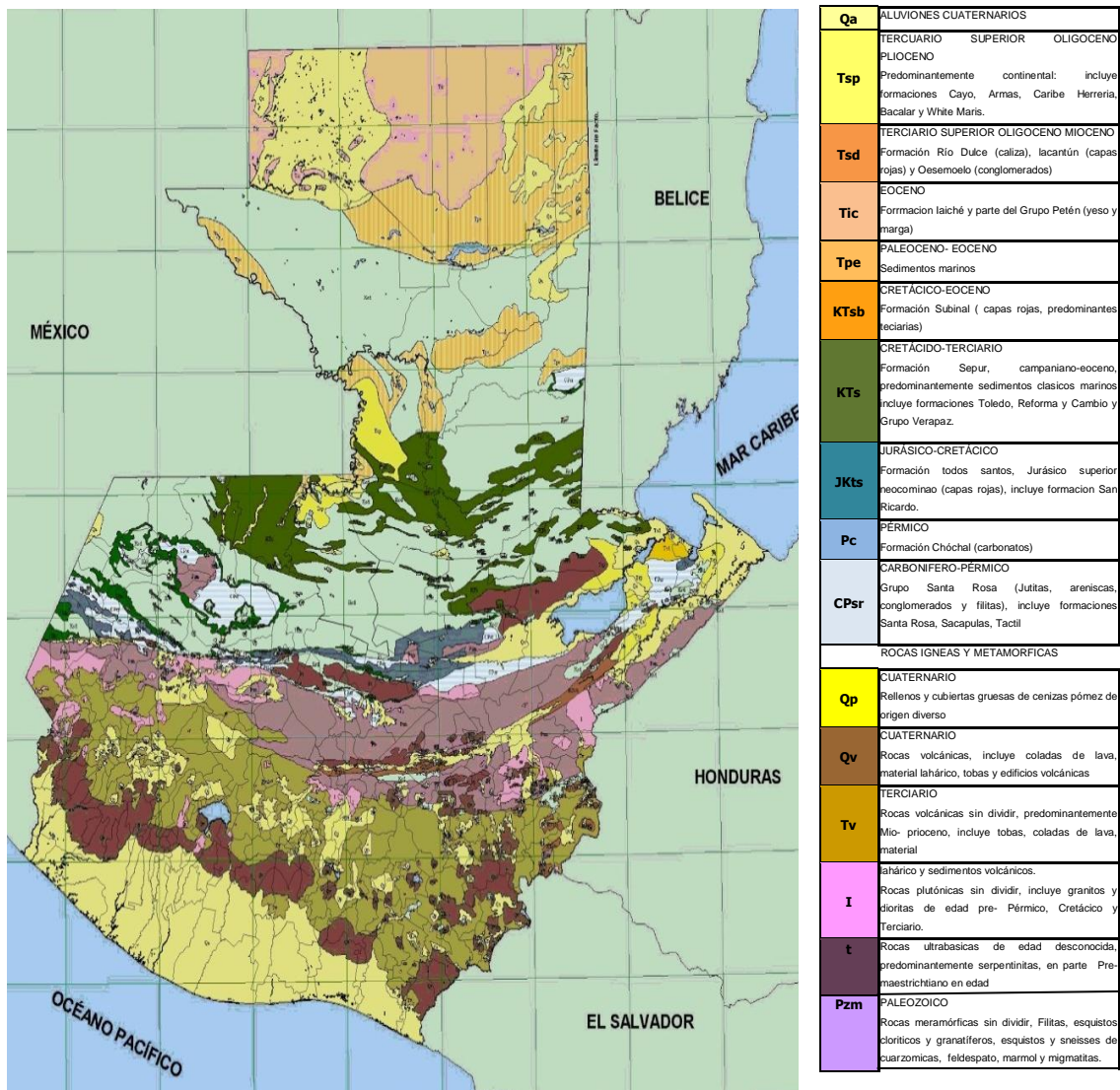


Fuente: elaboración propia, con programa AutoCAD 2013.

### 3.9. Geología y litología

El mapa geológico de Guatemala elaborado en 1970, a escala 1:500,000 distingue diecisiete litologías diferenciales, como se presenta en la figura 17.

Figura 17. Clasificación de unidades litológicas en Guatemala



Fuente: Instituto Geográfico Nacional (IGN).

Especificando, para el área de los taludes ubicados entre los municipios de San Juan Sacatepéquez y Mixco, se describe la siguiente unidad litológica: rocas ígneas del cuaternario, rellenos y cubiertas gruesas de cenizas pómez de origen diverso.

El perfil estratigráfico generalizado de Guatemala, elaborado por el Centro de Estudios Superiores de Energía y Minas, se presenta en la figura 18.

Figura 18. Perfil estratigráfico

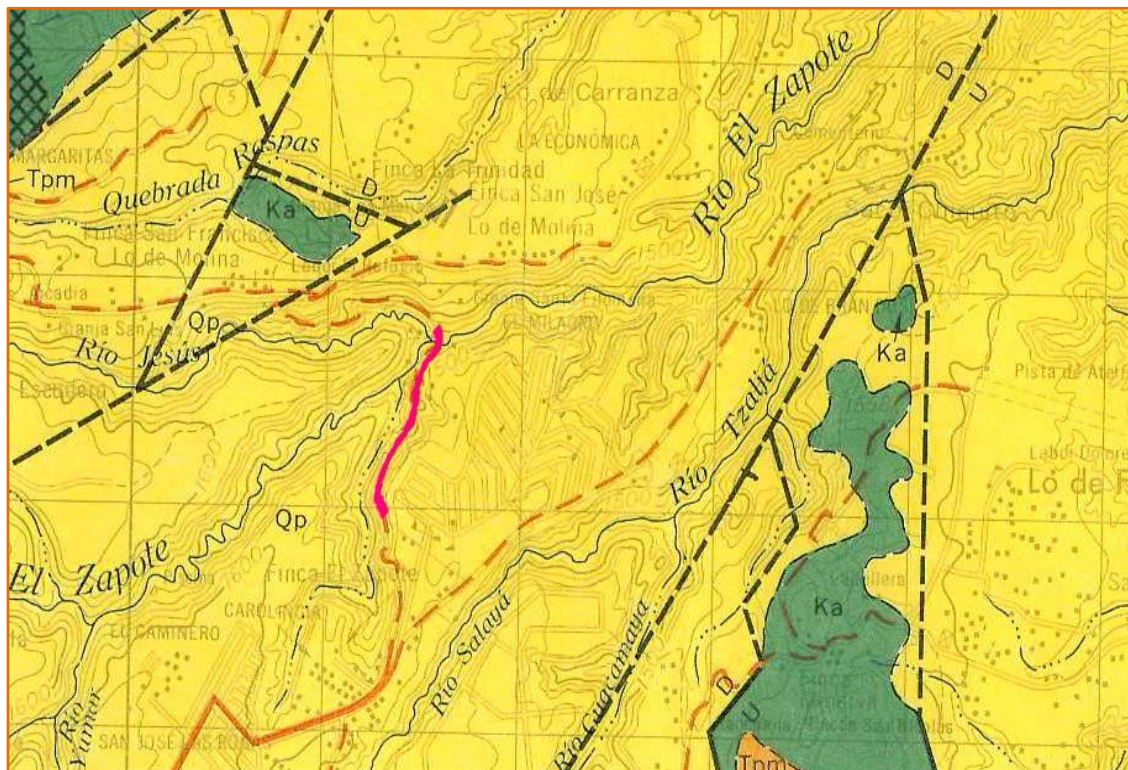
COLUMNA	TIPO DE ROCA	ERA	PERIODO	EDAD SERIE	EDAD ABSOLUTA MILLONES DE AÑOS	
Qa	Aluviones	Cenozoico	Cuaternario		3,5	
Qp	Cenizas volcánicas				Plioceno	3,5
	Rocas volcánicas			Terciario	Oligoceno	3,5
	Rocas volcánicas sin dividir				Oligoceno	64
	Depósitos continentales				Oligoceno	3,5-37
	Calizas, areniscas y conglomerados				Mioceno	7-37
	Rocas plutónicas				Eoceno	64
	Yeso manga				Eoceno	55
	Sedimentos marinos				Paleoceno	37-64
	Areniscas subinal				Paleoceno	64
Kte	Sedimentos clásticos	Esozoico	Cretácido		136	
JKts	Rocas ultra básicas		Cretácido	Maestrechtiano	136	
	Formación todos los santos	Jurásico			64-136	
Pc	Carbonatos del pérmico	Paleozoico	Pérmico		280	
	Rocas sedimentarias del carbonífero y pérmico		Pérmico			
CPsr	Rocas plutónicas		Carbonífero			
I	Rocas metamórficas		Pre-pérmico			
Pzm						


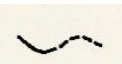
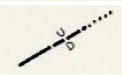
Fuente: documento inédito, Centro de Estudios Superiores de Energía y Minas.



La estructura geológica, específicamente del área en estudio, presenta las fallas que se localizan en el municipio de San Juan Sacatepéquez y de Mixco.

Figura 19. **Mapa geológico de municipio de San Juan Sacatepéquez, Guatemala**



	<b>Tramo en estudio</b>	
	Falla normal (U= lado alzado, D=lado hundido; línea discontinua, diferida; línea punteada, cubierta)	
	Contacto (línea discontinua donde la localización es aproximada).	

Fuente: Mapa geológico del municipio de San Juan Sacatepéquez; referencia: hoja 2060 IIG Instituto Geográfico Nacional.



El mapa geológico del municipio muestra depósitos de pómez y depósitos recientes de aluvión por deslizamientos, manifestando que el tramo en estudio se encuentra en suelo consolidado y libre de cualquier falla tectónica, que activaría los deslizamientos, inmediatamente ante cualquier tipo de movimiento.

### 3.10. Precipitación pluvial

De acuerdo a la estación meteorológica de Insivumeh ubicada en el departamento de Guatemala, los datos acumulados mensuales y anuales de lluvia en milímetros para el municipio de San Juan Sacatepéquez en los últimos años se describen en la tabla V.

Tabla V. Datos mensuales y anuales de lluvia en el área de estudio

<b>AÑO</b>	<b>2008</b>	<b>2009</b>	<b>2010</b>	<b>2011</b>	<b>2012</b>
<b>ENERO</b>	3,3	0,0	0,0	0,0	3,2
<b>FEBRERO</b>	11,9	4,0	1,3	7,2	5,3
<b>MARZO</b>	3,4	0,0	0,0	13,4	5,1
<b>ABRIL</b>	22,4	17,3	108,2	15	40,9
<b>MAYO</b>	169,6	161,0	427,4	102	135,8
<b>JUNIO</b>	460,3	189,6	376,9	223	165,5
<b>JULIO</b>	410,6	94,4	317,4	238,6	121,1
<b>AGOSTO</b>	187,3	141,5	470,8	414	397,7
<b>SEPTIEMBRE</b>	354,8	90,2	342,9	247	128,9
<b>OCTUBRE</b>	67,4	81,2	26,8	385	71,9
<b>NOVIEMBRE</b>	0,0	130,5	6,4	14,2	3,2
<b>DICIEMBRE</b>	0,0	29,5	0,0	1,5	1,1
<b>ANUAL</b>	1691,0	939,2	2078,1	1659,5	1079,5

Fuente: INSIVUMEH.

En la tabla VI se da a conocer un estimado en el número de días que llueve al año.

Tabla VI. **Días de lluvia al año en la zona del municipio de San Juan Sacatepéquez**

AÑO	NÚMERO DE DÍAS
2008	134
2009	110
2010	138
2011	133
2012	118

Fuente: INSIVUMEH.

### **3.11. Actividades humanas**

Los habitantes de la comunidad, en general, se dedican a distintas ocupaciones como: empleados en empresas dentro y fuera del municipio, no obstante parte de la población involucrada es desempleada, tomando como forma de ingreso pequeños negocios (tiendas, pinchazos, chatarrerías, etc.); cabe mencionar que las viviendas ubicadas en la corona de los taludes no cuentan con sistemas adecuados para el desfogue de las aguas residuales pluviales.

Este tramo conduce a un área rural más desarrollada, constituida por centros de salud, centros educativos privados y públicos, bancos, mercados, pequeños centros de comercio, etc.

Debido a que no existe mayor actividad lucrativa en el área de Ciudad Quetzal, la mayor parte de la población económicamente activa se moviliza diariamente en la ruta departamental 5, para dirigirse a sus labores cotidianas y empleos en la ciudad capital de Guatemala.



#### **4. CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA DE LOS DESLIZAMIENTOS OCURRIDOS Y POTENCIALES EN EL ÁREA ANALIZADA**

El estudio geotécnico de los taludes es para conocer las condiciones del terreno y del sustrato, obteniendo una serie características mediante distintos procedimientos con el fin de determinar la aptitud del suelo.

De acuerdo a la Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica en su norma de seguridad estructural: estudios geotécnicos y de microzonificación (AGIES NSE 2.1-10) clasifica este estudio en su categoría 4 como: estudio geotécnico especial tipo IV, y hace referencia obligatoria a considerar los siguientes aspectos: exploración de campo, análisis geotécnico, fallas geológicas y licuefacción.

Para dar inicio a este estudio, se reconoce las condiciones del entorno, evaluando la existencia de amenazas a deslizamiento en los taludes del área, de esta forma se clasifican de acuerdo a su nivel de vulnerabilidad a fallar, como se presentó con anterioridad.

Como parte fundamental del análisis geotécnico, se detallan las características físico-mecánicas del estrato de suelo de los taludes, por medio de los ensayos de laboratorio.

#### **4.1. Ensayos de mecánica de suelos**

El objetivo principal de los ensayos de laboratorio en este estudio geotécnico, es determinar las características físico-resistentes del material de los taludes que serán afectados por una actuación en la que hay un conjunto de sollicitaciones y esfuerzos.

Los ensayos efectuados para la caracterización geotécnica han sido realizados en el Centro de Investigaciones de Ingeniería (CII), Laboratorio de Suelos de la Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala.

Los ensayos básicos para caracterizar un suelo, también son llamados ensayos de identificación, son fundamentales para determinar el tipo de suelo (arena, grava o arcilla), estos ensayos son: granulometría, límites de Atterberg y humedad.

##### **4.1.1. Granulometría**

El análisis granulométrico es un proceso que determina las proporciones relativas de los diferentes tamaños de grano presentes en la masa del suelo de cada talud y la información que provee es la descripción del suelo y su clasificación es utilizable para predecir movimientos del agua a través del mismo.

De acuerdo a la Norma AASHTO T-27 se procede a realizar la prueba con una muestra entera (sin lavado) representativa del suelo de los taludes de 500g sin contenido de humedad alguno (peso bruto seco), haciéndola pasar a través de una serie de tamices descritos en la tabla VII en un agitador eléctrico.

Tabla VII. **Tamices para prueba de granulometría**

<b>TAMIZ</b>	<b>ABERTURA (mm)</b>
¾"	19,00
4	4,76
10	2,00
40	0,42
200	0,074

Fuente: elaboración propia.

Se retiran la serie de tamices del agitador, se obtiene el peso de material que quedó retenido en cada tamiz y se calcula el porcentaje que pasa iniciando por un 100 por ciento (material fino), posteriormente se calcula la clasificación del material obteniendo 0,8 por ciento de grava, 79,02 por ciento de arena y 20,18 por ciento de finos, determinando el material como arena.

Tabla VIII. **Clasificación de material por acumulación en tamices**

<b>TAMIZ</b>	<b>% QUÉ PASA</b>
¾"	100,00
4	99,19
10	88,05
40	57,57
200	20,18

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería, Laboratorio de suelos, Facultad de Ingeniería, USAC.

Como información esencial se presenta la curva semilogarítmica de distribución granulométrica, representando el porcentaje de material más fino contra el tamaño de las partículas, es decir, colocando en el eje de las abscisas en escala logarítmica el diámetro en milímetros y en el eje de las ordenadas en escala aritmética el porcentaje que pasa.

De acuerdo al Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (Unified Soil Classification System (USCS)) se describe el suelo como SM (arena limosa) y con base en la clasificación de suelos AASHTO se determina PRA A-2-4 (material granular arenoso) a lo máximo el 35 por ciento pasa el tamiz #200.

Siendo su descripción oficial: arena limosa color beige, se presenta las propiedades y características físicas del suelo, ver tabla IX.



Tabla IX. **Propiedades físicas del material de los taludes**

<b>ARENA LIMOSA (A-2-4)</b>	
Composición del material	Mezcla mal proporcionada grava, arena y limo, tiene limo en exceso
Permeabilidad	Baja a mediana
Capilaridad	Baja a mediana, a veces perjudicial.
Elasticidad	Casi nula
Cambios de volumen	A veces perjudiciales, cuando son plásticos
Para terraplenes iguales o mayores a 15 metros	Regular a buena
Para terraplenes menores a 15 metros	Buena
Compactación	Buena a excelente, estable en tiempo seco, a veces polvoriento se reblandece en tiempo húmedo.
Fallas que presenta el terreno	Se reblandece cuando llueve, en tiempo seco se vuelve suelto y polvoriento.
Procedimientos para mejorar el terreno.	Añádase arena o piedra triturada en proporciones convenientes si el terreno presenta cambios de volumen, capilaridad o sensibilidad perjudiciales mediante la edición de material grueso.

Fuente: elaboración propia

#### **4.1.2. Límites de Atterberg**

Según la Norma AASHTO T-89 Y T-90, son límites de consistencia usados para determinar el comportamiento de los suelos finos, basados en el concepto que pueden encontrarse en cuatro estados de acuerdo a su contenido de humedad: líquido, plástico, semisólido y sólido.

El objetivo primordial de realizar este ensayo es determinar las propiedades, índices del suelo, definiendo su plasticidad, sin embargo, en lo concerniente a este estudio se concluye que el material de la muestra analizada obtiene un 0 por ciento de límite líquido y 0 por ciento en su índice plástico, por ser material arenoso no tienen límites de consistencia (ver resultados de laboratorio en apéndice).

#### **4.1.3. Humedad**

Es la propiedad física del suelo que mide el contenido de agua del volumen del material compuesto por la suma de sus aguas libre, capilar e higroscópica.

El contenido de agua que presenta el suelo es de gran importancia, ya que representa una de las características más esenciales para explicar el comportamiento del mismo, tomando en consideración cambios de volumen, cohesión y estabilidad mecánica.

El ensayo se realizó en el Laboratorio de suelos del Centro de Investigaciones de Ingeniería (USAC), mediante el método tradicional que consiste en secar el material de la muestra al horno.

Considerando que el porcentaje de humedad es la relación entre el peso de agua existente en el peso de las partículas sólidas en la muestra de la masa, esta es expresada de la siguiente manera

$$H = (w_w/w_s) * 100 (\%)$$

Seguidamente de realizar el ensayo conforme a la norma, se determina que el suelo contiene 24,7 por ciento de humedad.

Los ensayos efectuados con el fin de determinar la resistencia del suelo al corte son: corte directo y compresión confinada o triaxial.

#### **4.1.4. Ensayo de corte directo**

Este ensayo consiste esquemáticamente en romper una pastilla de suelo por medio de esfuerzos tangenciales; es un procedimiento utilizado para determinar las componentes del esfuerzo de corte del suelo, es decir la cohesión y el ángulo de rozamiento interno.

El ensayo induce a la ocurrencia de una falla del suelo en condiciones idealizadas de cortante sobre la muestra, en el plano de falla actúan dos esfuerzos: normal debido a una carga  $P_V$  aplicada que produce una tensión normal  $\sigma_n$ , y esfuerzo cortante como resultado de aplicar una fuerza tangencial  $P_h$  que genera una tensión de corte  $\tau$ .

Para este estudio se excavó un pozo con profundidad de 8,00 metros con el fin de obtener una muestra inalterada a la cual se le practicó el ensayo de corte directo tipo UU (no consolidado y no drenado) en el Laboratorio de suelos del Centro de investigaciones de Ingeniería (CII).

De acuerdo a la Norma AASHTO T236-03 y ASTM D-3080, al ser material cohesivo se moldean cuatro probetas, utilizando un anillo cortante con dimensiones de 2,5"x1,0" las cuales serán sometidas a esfuerzos cortantes a velocidad controlada, midiendo las deformaciones hasta que no se estabilicen lo que indica que sea sobrepasado la carga de rotura.

Figura 20. **Ensayo de corte directo**



Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería (CII), Laboratorio de suelo, Facultad de Ingeniería, USAC.

Mediante la propiedades y resistencia de la envolvente de Mohr se determina el esfuerzo normal ( $\sigma_n$ ) y el esfuerzo de corte ( $\tau$ ) en los especímenes, definiendo los parámetros de corte correspondientes.

Tabla X. **Propiedades del suelo mediante ensayo de corte directo**

PARÁMETROS DE CORTE	
Ángulo de fricción interna ( $\phi$ )	29,89°
Cohesión (Cu)	1,97 T/m <sup>2</sup>

Fuente: Laboratorio de suelos, Centro de Investigaciones de Ingeniería (CII), USAC.

El análisis completo de resultados del ensayo incluye el comportamiento de esfuerzos y características físicas del suelo expuesto en el apéndice I.

#### **4.1.5. Ensayo de compresión triaxial**

El ensayo triaxial es utilizado para determinar los parámetros de resistencia al corte en los suelos y su relación entre la resistencia al corte y esfuerzo normal efectivo; obteniendo datos representativos destinados a predecir el exceso de presión intersticial que se produce en una masa de suelo ante el cambio de las condiciones de esfuerzos.

Ensayo que constituye un método versátil el cual que consiste en someter una muestra cilíndrica a presión de confinamiento en todas sus caras, incrementando el esfuerzo axial hasta que esta falle en carga o descarga, determinando las tensiones y deformaciones al variar los esfuerzos influyentes, obteniendo los parámetros de corte del suelo.

En este estudio, para realizar el análisis, se ejecutó un pozo de 8m de profundidad a cielo abierto en la corona del talud con el fin de extraer una muestra inalterada de  $1\text{pie}^3$  a la cual se le practicó el ensayo triaxial tipo UU (no consolidado y no drenado) en el Centro de Investigaciones de Ingeniería (CII) de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

Figura 21. **Muestra inalterada para ensayos**



Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería (CII), Laboratorio de suelo, Facultad de Ingeniería, USAC.

Según la Norma ASTM-2850 se moldeó la probeta compactada de forma cilíndrica con dimensiones de 2,5" de diámetro y 5,0" de altura, que posteriormente se sometió a las fuerzas compresivas que actúan en tres direcciones generadas por la cámara triaxial hasta determinar la tensión de falla o tensión de desviación.

Figura 22. **Ensayo triaxial**



Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería (CII), Laboratorio de suelo, Facultad de Ingeniería, USAC.

Los resultados del ensayo que conciernen a este estudio son los parámetros de corte obtenidos.

Tabla XI. **Propiedades del suelo mediante ensayo triaxial**

<b>PARÁMETROS DE CORTE</b>	
Angulo de fricción interna ( $\phi$ )	31,26°
Cohesión (Cu)	5,53 T/m <sup>2</sup>

Fuente: Laboratorio de suelos, Centro de Investigaciones de Ingeniería (CII), USAC.

#### **4.2. Análisis de estabilidad de taludes**

En ingeniería se analiza cada talud con el objetivo de estimar el conjunto de fuerzas que actúan sobre el mismo, considerando que las fuerzas disponibles tendrían que ser mayores para resistirlas, de manera que en práctica se determina la estabilidad del talud en términos de un factor de seguridad (FS), obtenido del cálculo matemático que requiera el método a utilizar.

El análisis de estabilidad de taludes se basa en el principio de equilibrio límite, el cual supone en el caso de una falla, las fuerzas actuantes y resistentes son iguales a lo largo de la superficie de falla dando como resultado un factor de seguridad igual a 1.

El factor de seguridad es calculado para conocer el grado de amenaza a deslizamiento del talud, y se considera aceptable dependiendo de factores como el nivel de riesgo y de la magnitud de soluciones potenciales, la figura 23

indica los grados de estabilidad aceptable de los taludes según el tipo de análisis.

Figura 23. **Factor de seguridad aceptable para taludes**

<b>FACTOR DE ESTABILIDAD</b>		Nivel o grado de estabilidad
Estático	Seudoestático	
1.0 a 1.2	menor a 1.0	Inestable
1.2 a 2.0	1.0 a 1.2	Estable
Mayor a 2.0	Mayor a 1.2	Muy estable

Fuente: elaboración propia.

En cuanto a los métodos de cálculo, para definir la estabilidad se fundamentan principalmente en las leyes de estática que examina el estado en equilibrio de una masa de suelo potencialmente inestable y consideran factores influyentes como: parámetros geológicos, geometría del talud, flujo de agua y propiedades mecánicas del suelo; con amplia exactitud en sus resultados. Dentro de estos métodos se encuentran el Ordinario o Fellenius, Janbú y Bishop modificado.

#### **4.2.1. Geostudio 2012**

Es un paquete de programas de cómputo que hace posible el análisis y cálculo de estabilidad de taludes a través de una gran variedad de métodos, comercializado por la empresa Geoslope Internacional; compuesto de varias herramientas con distintos usos y funcionalidades descritas a continuación.



Tabla XII. **Descripción de herramientas de Geostudio 2012**

<b>OPCIÓN</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
Slope/W	Cálculo de estabilidad de taludes.
Seep/W	Para el cálculo de redes de flujo
Sigma/W	Usado en el cálculo de tenso-deformación.
Quake/W	Calculo de los efectos de sismos en suelos y estructuras de suelos (presas, terraplenes, etc.)
Temp/W	Aplicación de la ecuación del calor sobre estructuras de suelos.
Ctran/W	Aplicación a fenómenos de contaminación de suelos.
Vadose/W	Aplicado a la modelización de acuíferos.

Fuente: LÓPEZ PINEDA, Germán, *Introducción al uso del programa Slope/w 2007*, p. 6.

Slope/w: es la estabilidad del producto software de CAD, para calcular el factor de la seguridad de la tierra y pendientes rocosas, puede analizar de forma eficaz ambos problemas simples y complejos para una variedad de formas de superficie de deslizamiento, considerando: condiciones de presión hidrostática, propiedades del suelo, métodos de análisis y condiciones de carga.

Basándose en el concepto de equilibrio límite, puede modelar tipos heterogéneos de suelo, aunque variará su geometría superficial estratigráfica y con condiciones de presión de poro de agua variable, ya que utiliza una gran variedad de modelos. y aunque fuesen deslizamientos complejos.

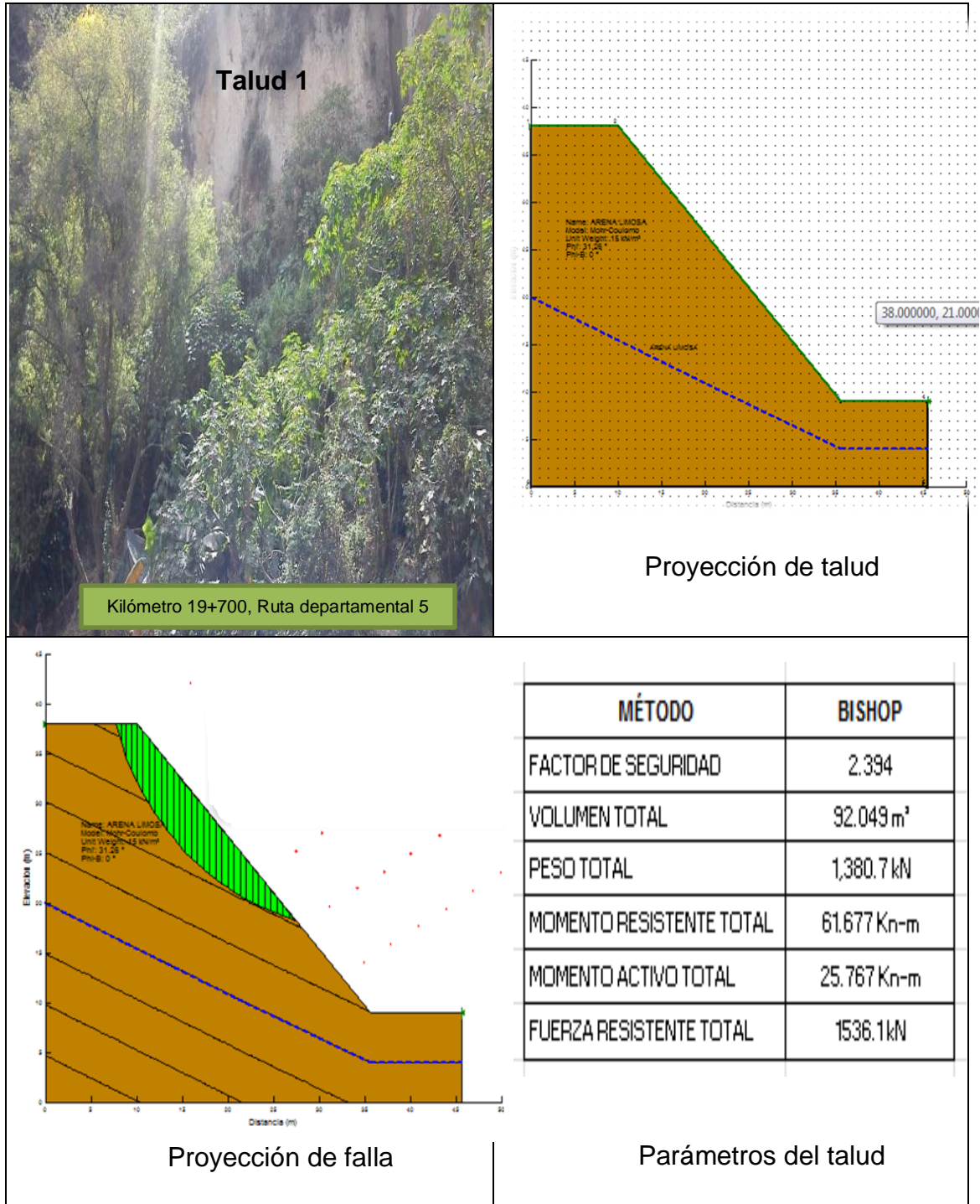
Slope/W, en su versión 2012 permite realizar el análisis de estabilidad mediante diversos métodos: Ordinario o Fenllenius, Bishop modificado, Janbu simplificado, Spencer, Morgetern-Price y método de Equilibrio Límite; además de ofrecer diversas herramientas para visualizar los resultados como superficie de deslizamiento mínimo, gráficos de parámetros calculados, información de superficies deslizantes y diagramas de factor de seguridad.

En cuanto al manejo de esta herramienta se proporciona una guía del procedimiento en anexos.

#### **4.2.2. Análisis de estabilidad de taludes en estudio**

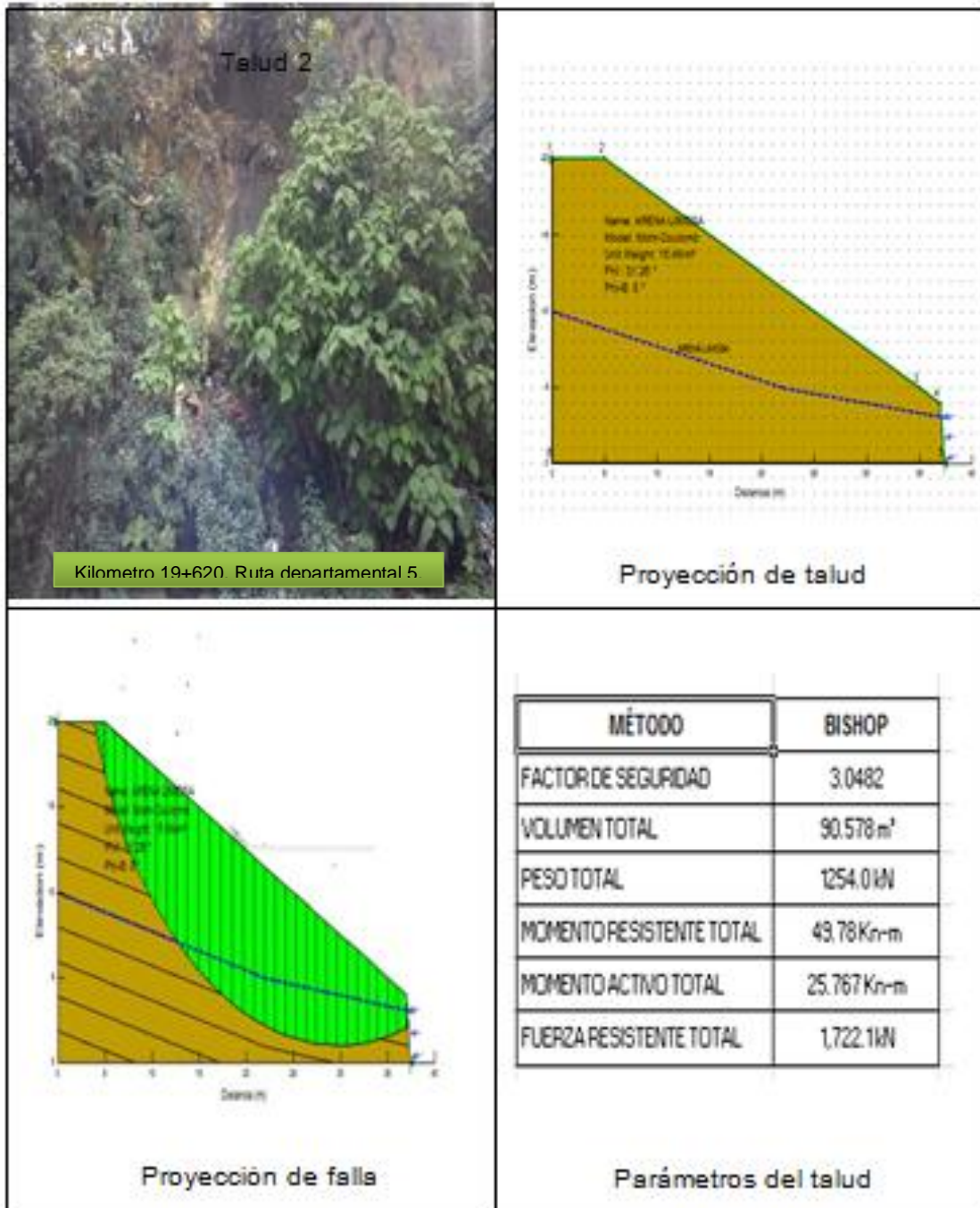
El análisis de estabilidad para los taludes se realizó por medio del software GeoStudio 2012, mediante el método de cálculo Bishop y considerando las propiedades mecánicas del suelo y el nivel freático.

Figura 24. Análisis de estabilidad de talud 1



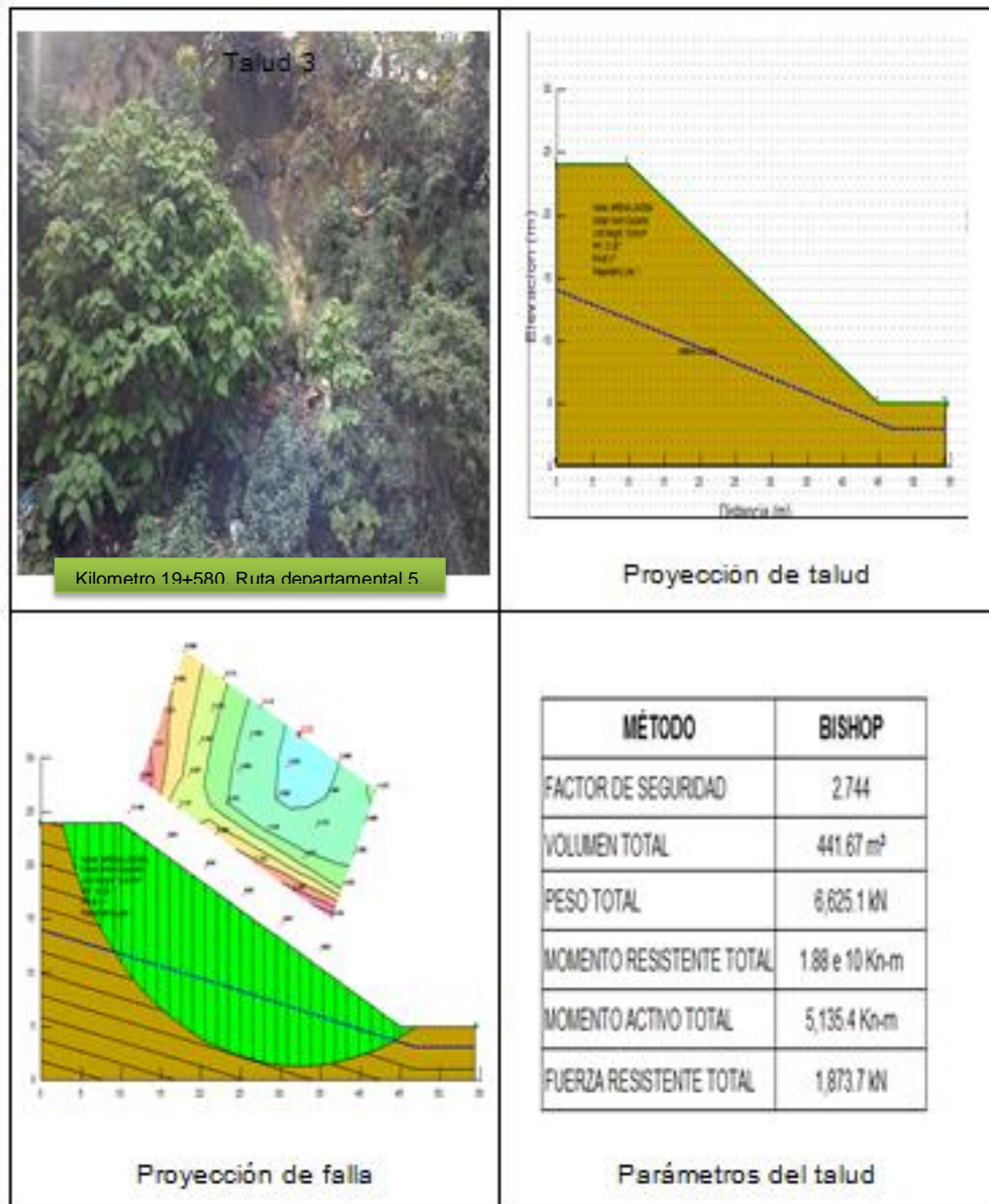
Fuente: elaboración propia, con programa Geostudio 2012.

Figura 25. Análisis de estabilidad de talud 2



Fuente: elaboración propia, con programa Geostudio 2012.

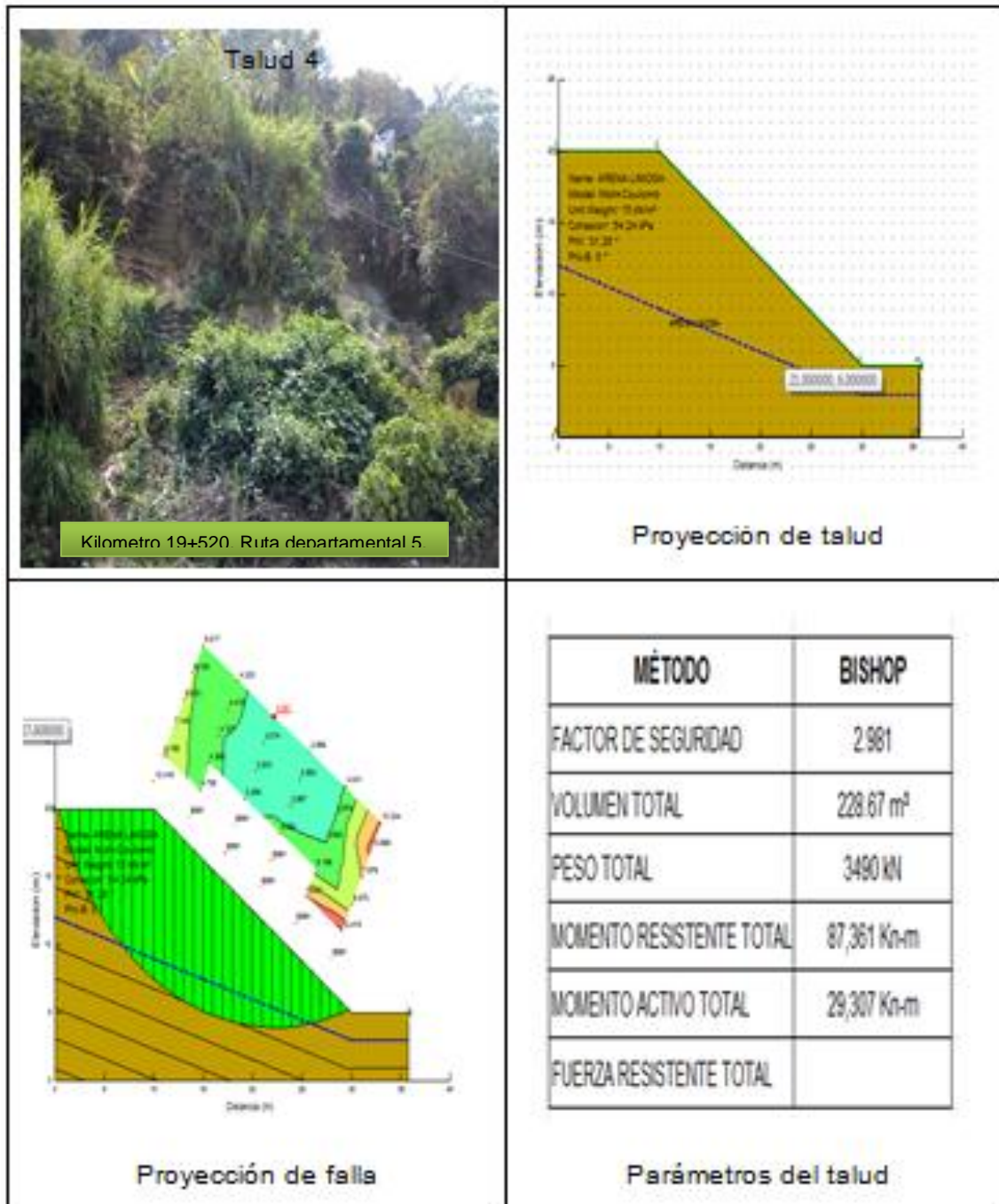
Figura 26. Análisis de estabilidad de talud 3



Fuente: elaboración propia, con programa Geostudio 2012.

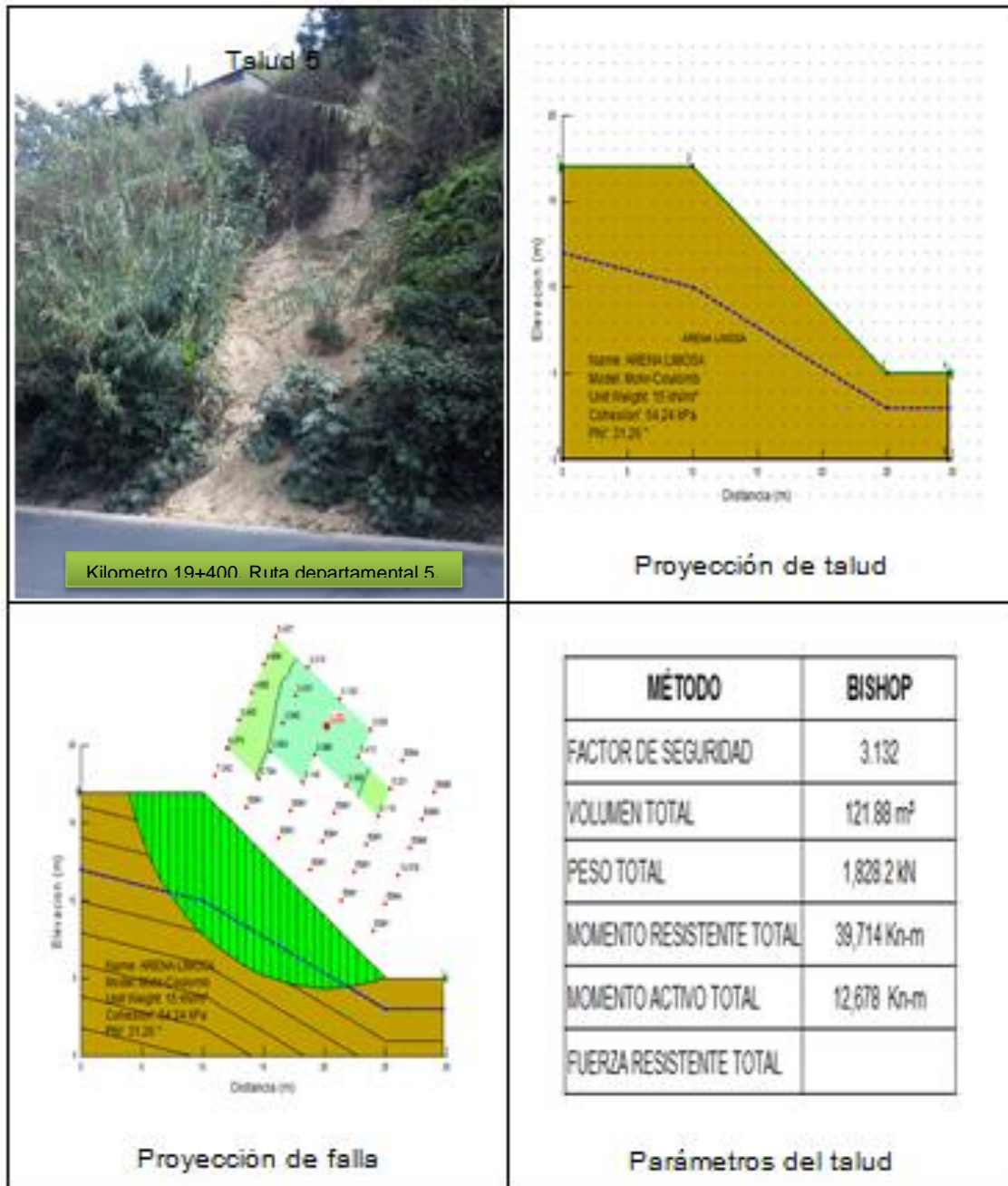


Figura 27. Análisis de estabilidad de talud 4



Fuente: elaboración propia, con programa Geostudio 2012.

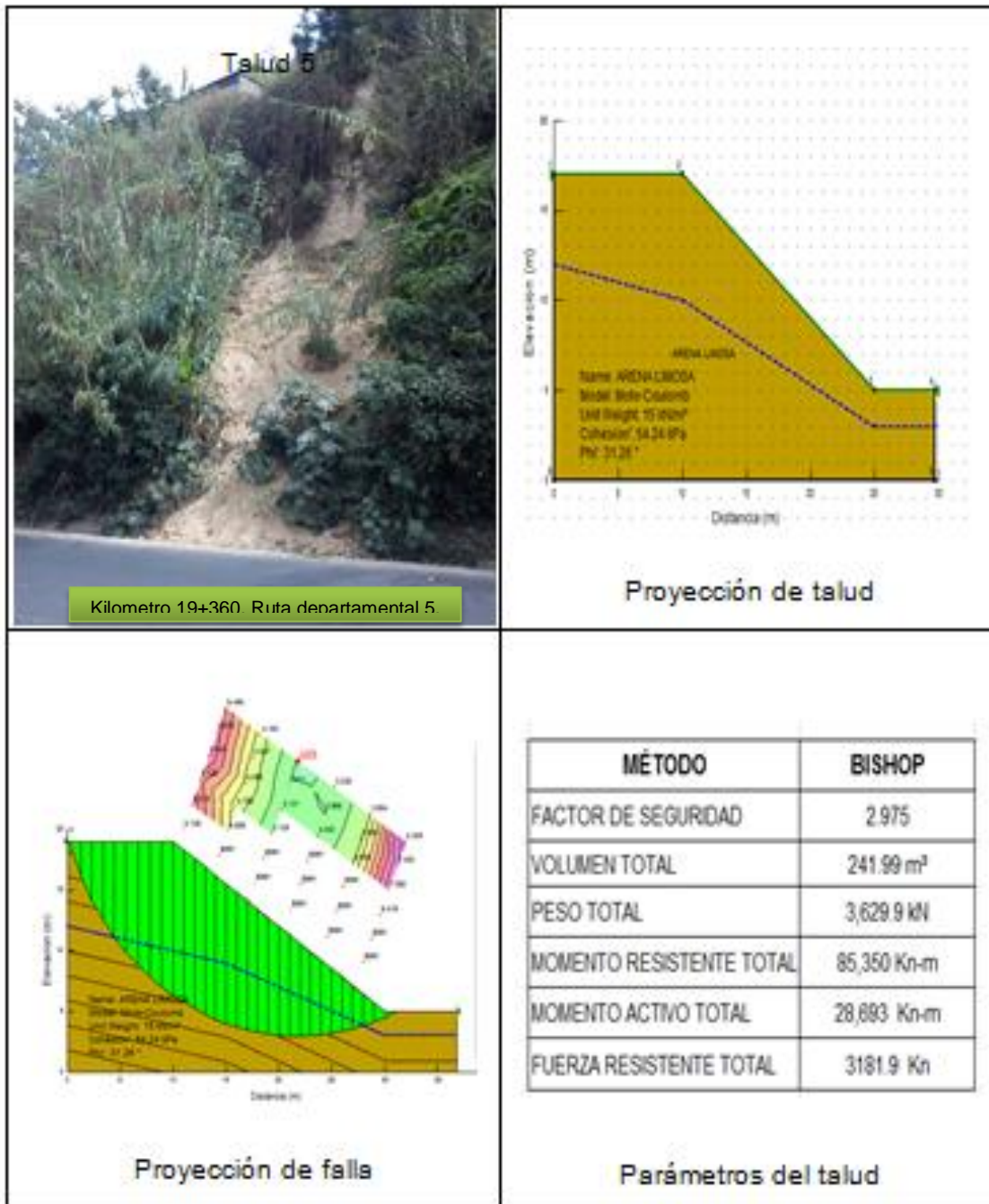
Figura 28. Análisis de estabilidad de talud 5



MÉTODO	BISHOP
FACTOR DE SEGURIDAD	3.132
VOLUMEN TOTAL	121.88 m³
PESO TOTAL	1,828.2 kN
MOMENTO RESISTENTE TOTAL	39,714 kN-m
MOMENTO ACTIVO TOTAL	12,678 kN-m
FUERZA RESISTENTE TOTAL	

Fuente: elaboración propia, con programa Geostudio 2012.

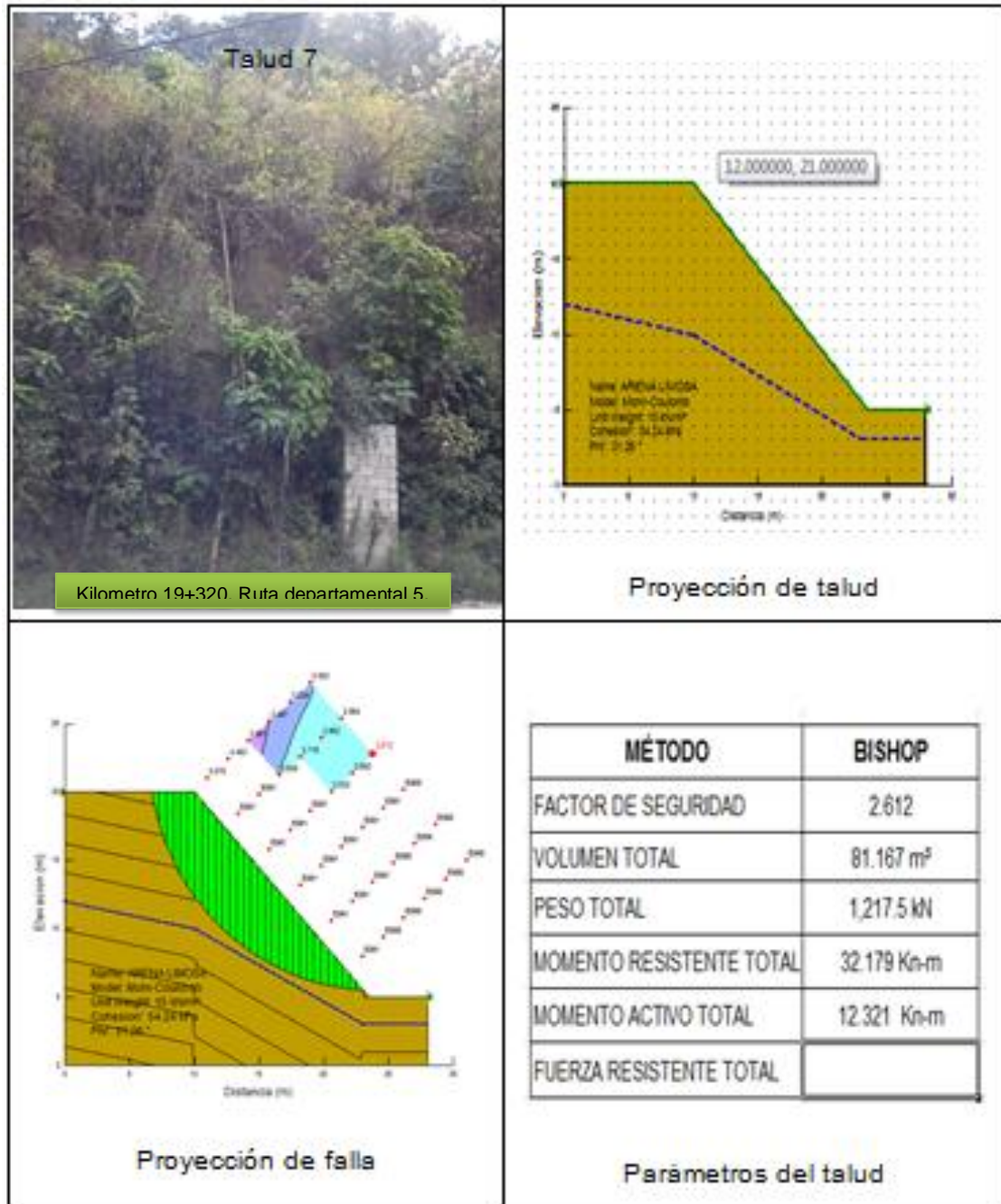
Figura 29. Análisis de estabilidad talud 6



Fuente: elaboración propia, con programa Geostudio 2012.

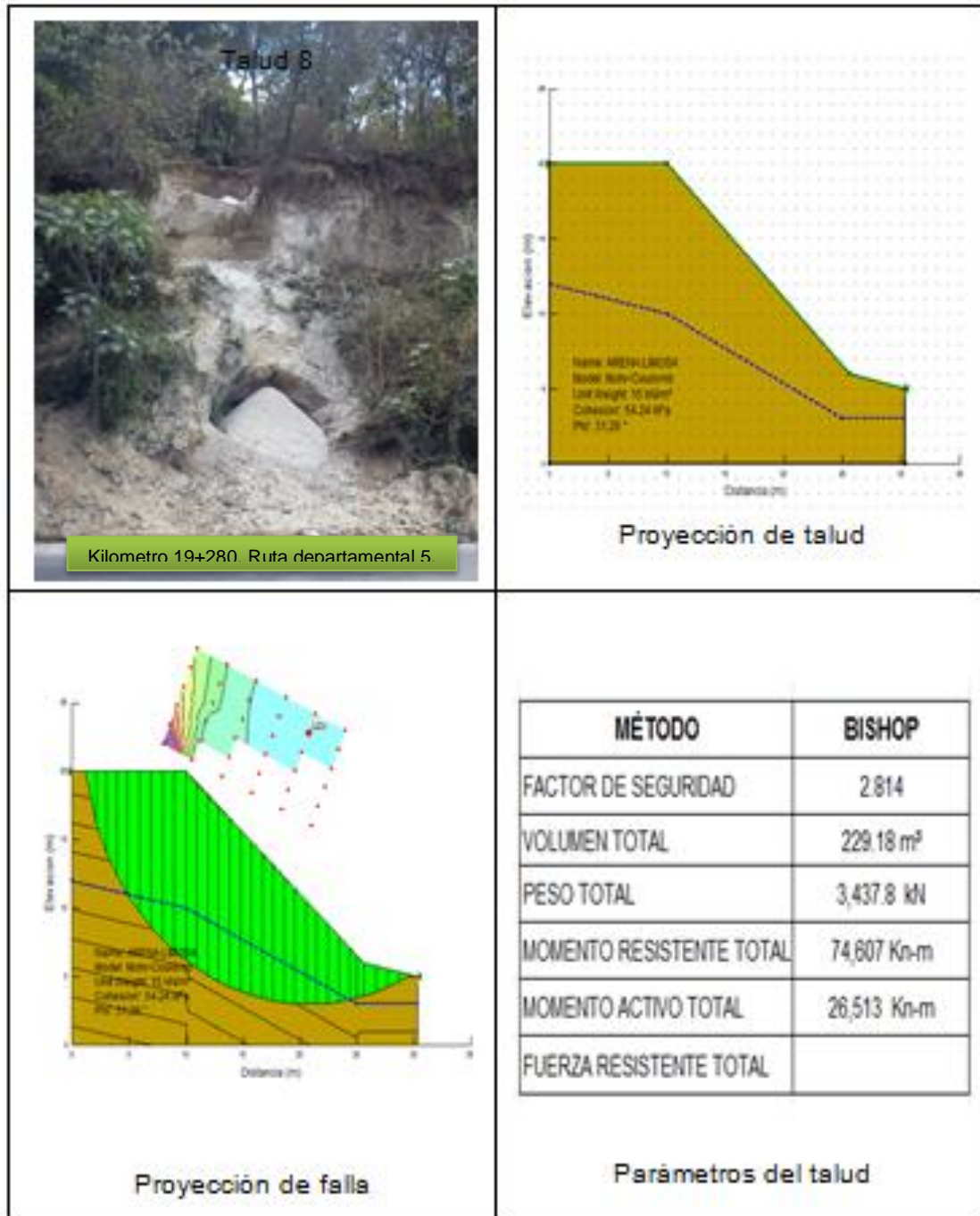


Figura 30. Análisis de estabilidad de talud 7



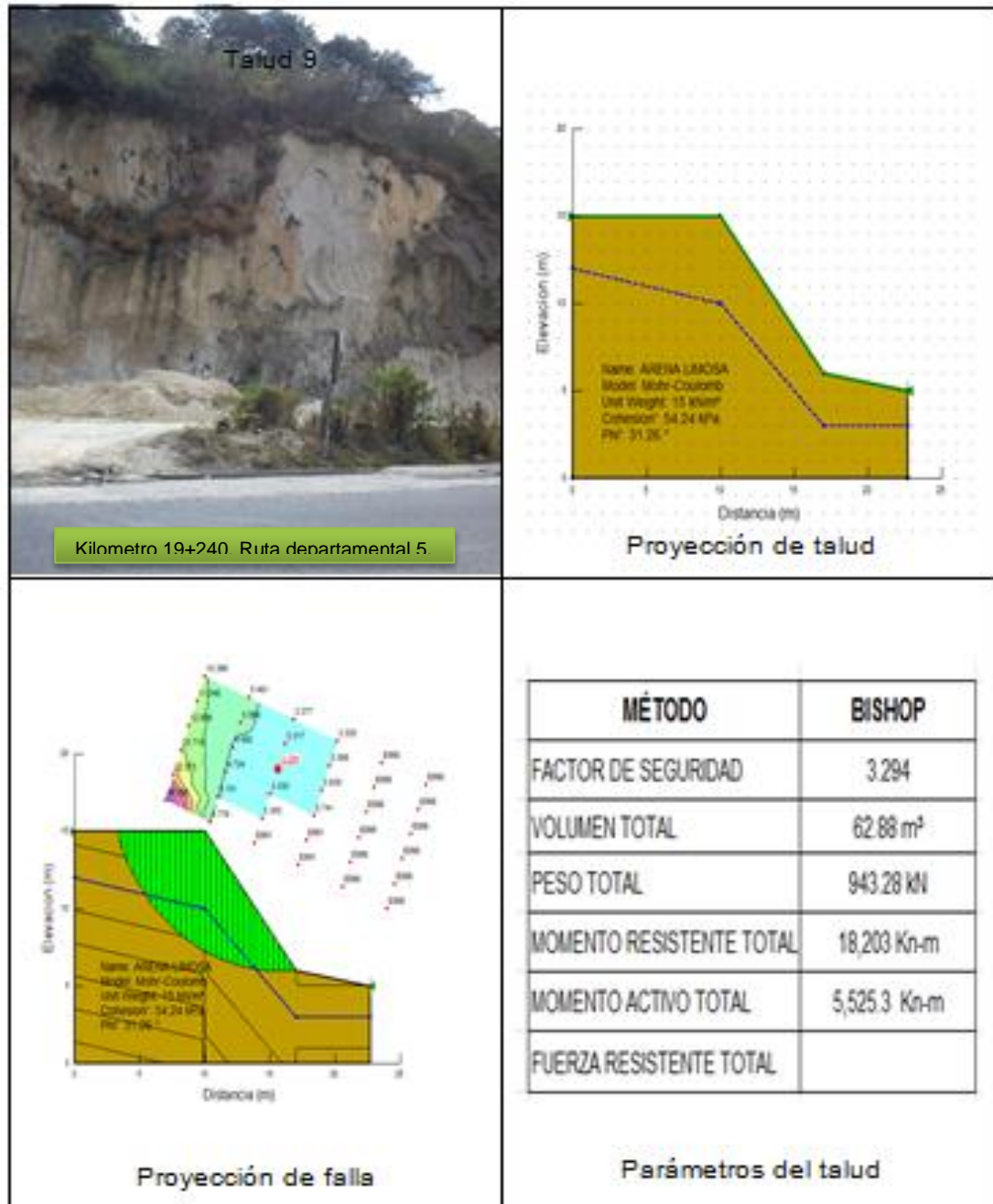
Fuente: elaboración propia, con programa Geostudio 2012.

Figura 31. Análisis de estabilidad de talud 8



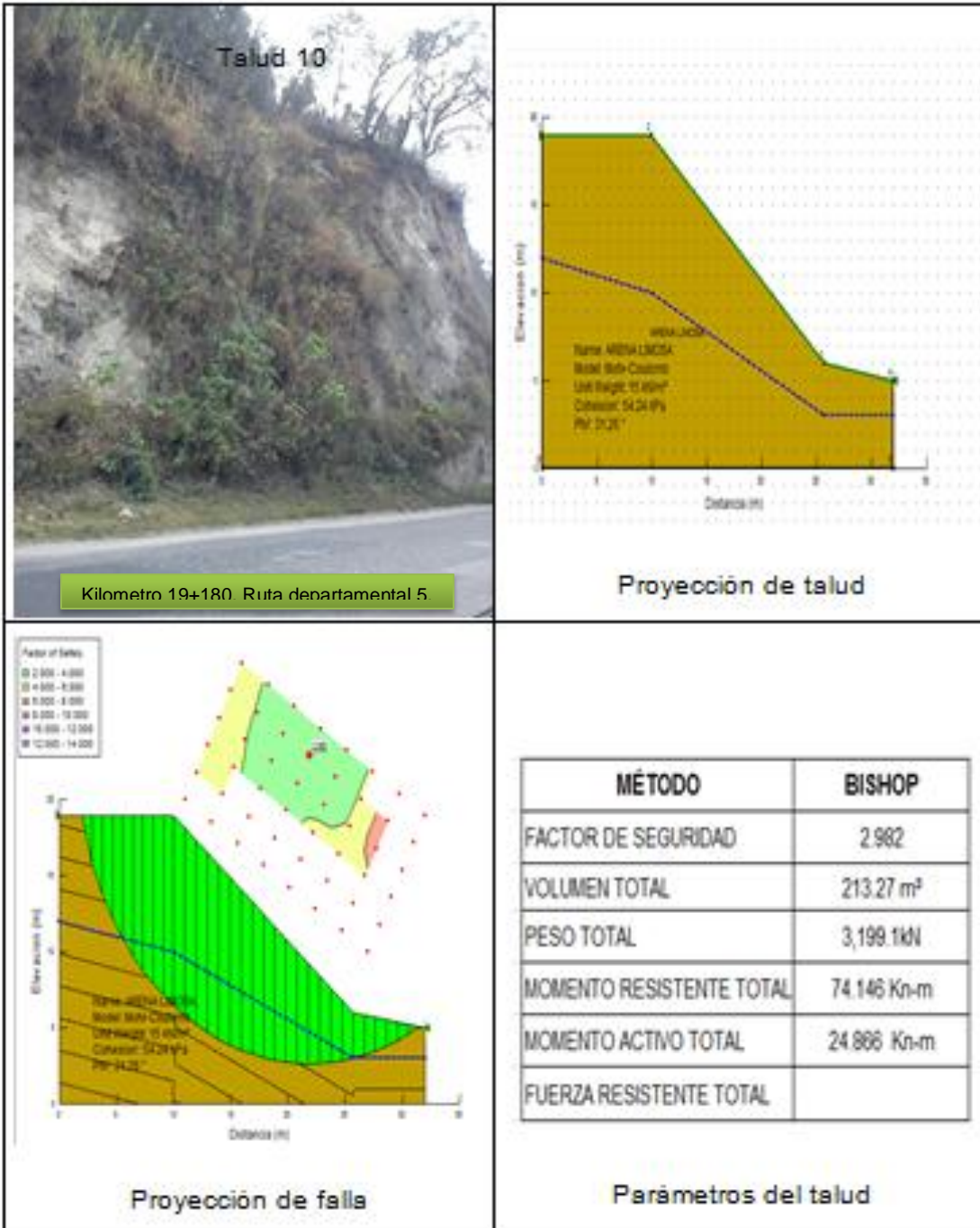
Fuente: elaboración propia, con programa Geostudio 2012.

Figura 32. Análisis de estabilidad de talud 9



Fuente: elaboración propia, con el programa Geostudio 2012.

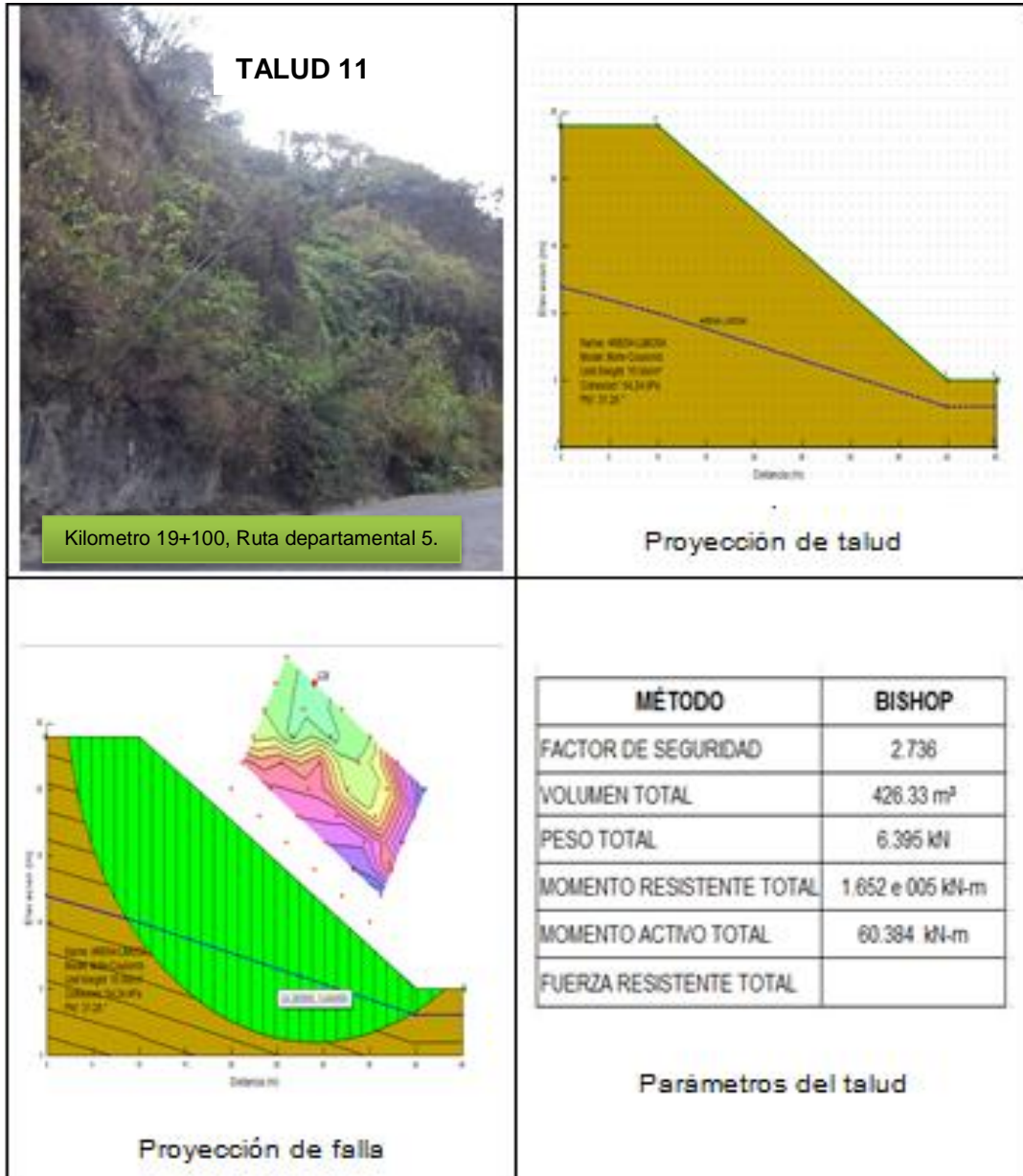
Figura 33. Análisis de estabilidad de talud 10



Fuente: elaboración propia, con el programa Geostudio 2012.

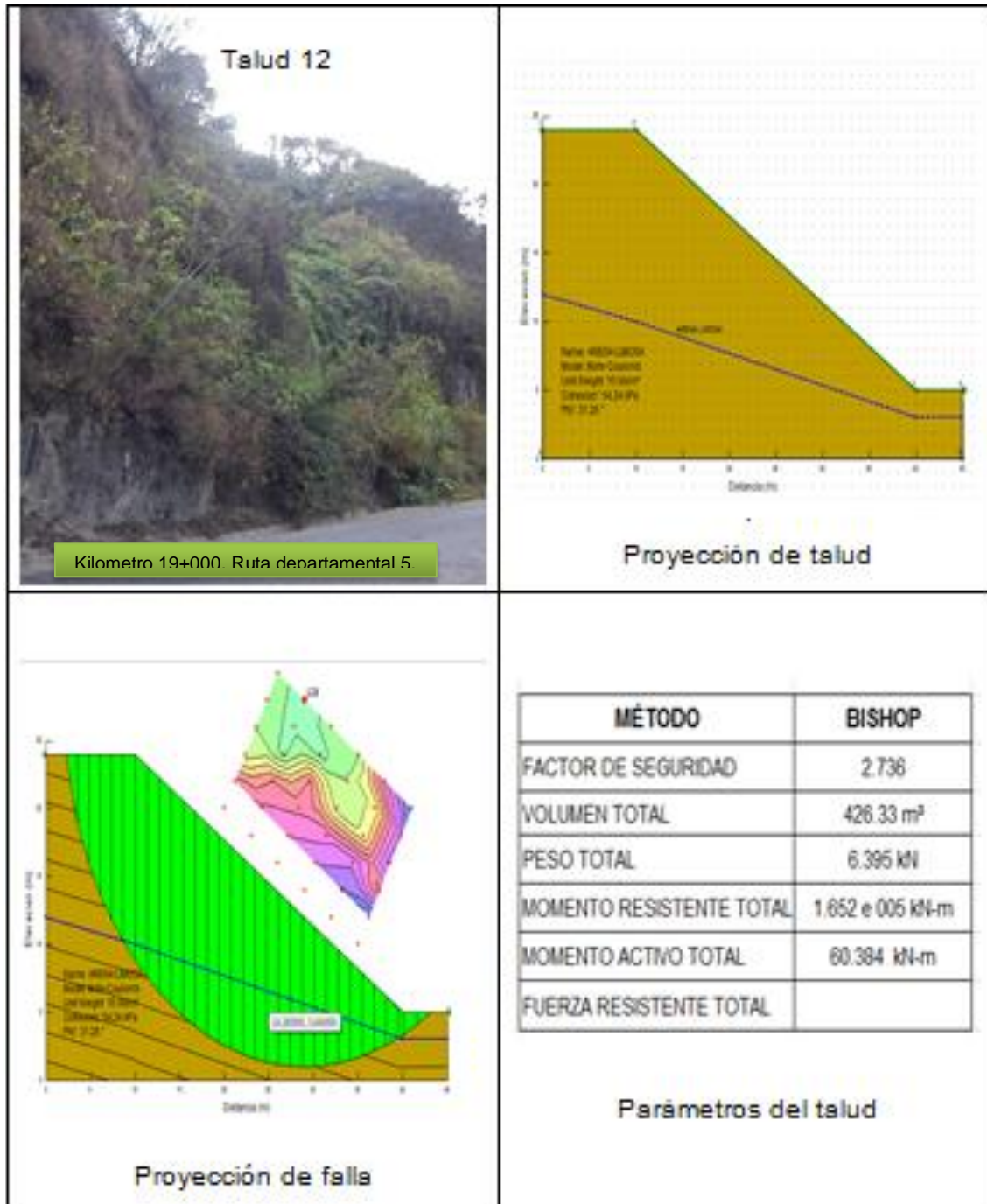


Figura 34. **Análisis de estabilidad de talud 11**



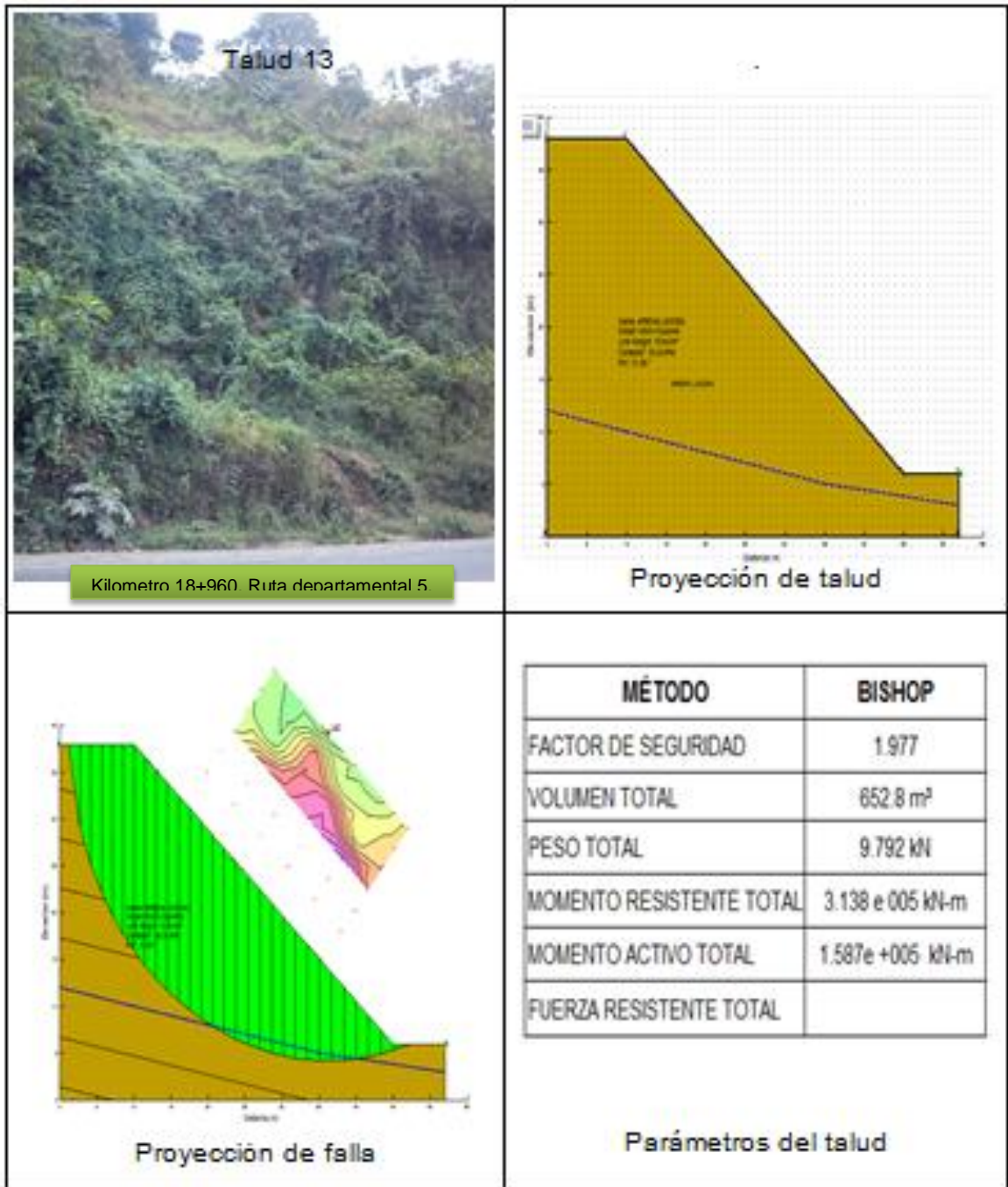
Fuente: elaboración propia, con el programa Geostudio 2012.

Figura 35. Análisis de estabilidad de talud 12



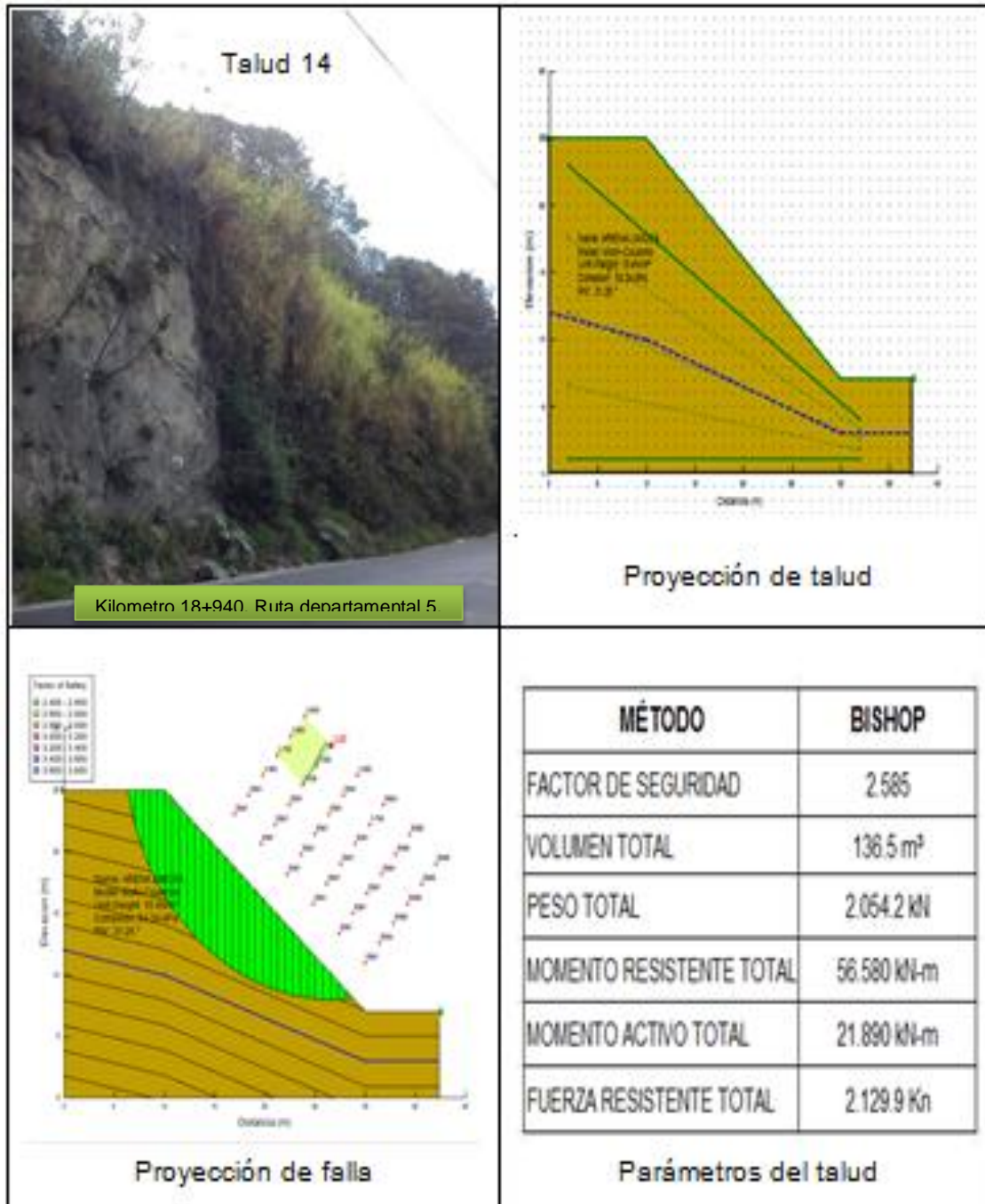
Fuente: elaboración propia, con el programa Geostudio 2012.

Figura 36. Análisis de estabilidad de talud 13



Fuente: elaboración propia, con el programa Geostudio 2012.

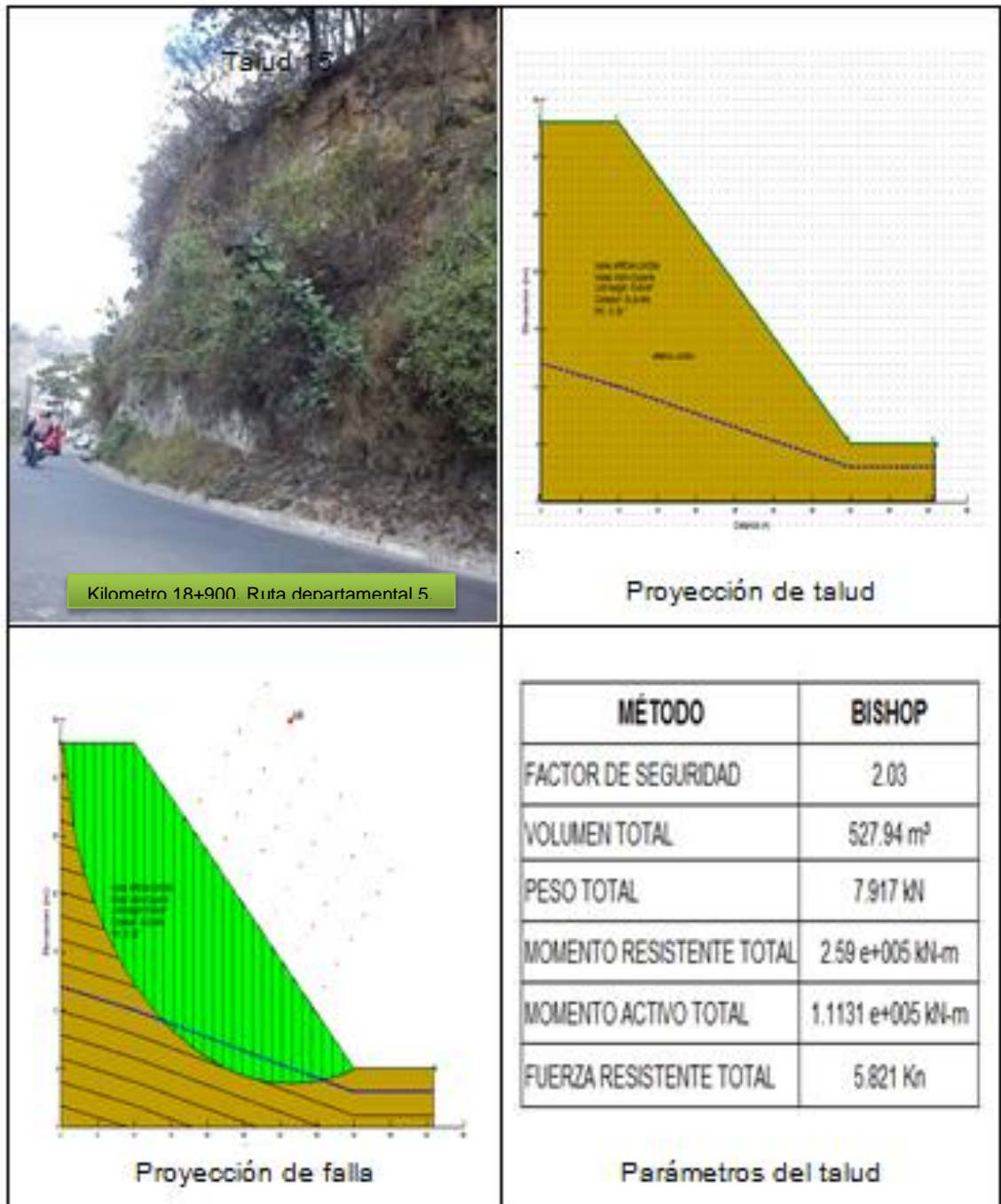
Figura 37. Análisis de estabilidad de talud 14



Fuente: elaboración propia, con el programa Geostudio 2012.



Figura 38. Análisis de estabilidad de talud 15



Fuente: elaboración propia, con el programa Geostudio 2012.

### **4.2.3. Niveles de riesgo de taludes**

Obtenidos los resultados del análisis de estabilidad para cada talud, se determina su vulnerabilidad a deslizamientos; el factor de seguridad resulta mayor a uno en todos los casos, es decir, que las propiedades mecánicas del suelo son resistentes ante las condiciones naturales que mantienen los taludes por lo cual no el nivel de riesgo es nulo.

Sin embargo, el conflicto existe, lo que conlleva a considerar que la causa más certera que provoca el riesgo de derrumbe son los factores activadores involucrados (precipitación y movimientos telúricos), sin ignorar otros factores como: la decadencia de ordenamiento territorial, la falta de drenajes pluviales, la extracción de arenas, etc.

## **5. MÉTODOS DE ESTABILIZACIÓN DE TALUDES PROPUESTA**

En el planteamiento de medidas efectivas de estabilización de taludes es importante entender los métodos aplicables de acuerdo a la causa del deslizamiento.

Considerando las características físicas y mecánicas de acuerdo a un análisis geotécnico para cada talud, se determina qué solución es más funcional, pues en la actualidad existen muchos sistemas para estabilizar taludes potencialmente en riesgo.

Entre los métodos más viables del país se puede mencionar: muros de contención por gravedad, soluciones mediante sistemas de drenaje, estructuras de retención y técnicas especiales de estabilización.

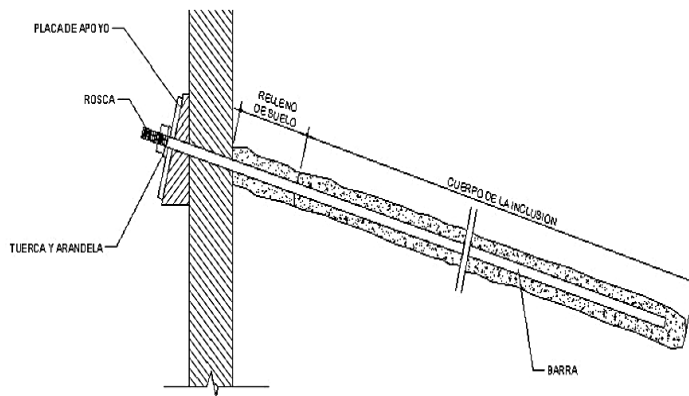
### **5.1. Método Soil Nailing**

Es un método moderno, definido como estructura de retención de cortes de suelos, construirlo significa reforzar el suelo durante la excavación, perforando e instalando varillas corrugadas de acero; para evitar desmoronamiento de suelo es usado concreto *in situ* o mallas diseñadas.

El corte de excavación puede tomar cualquier geometría en general, ya sea inclinado, vertical o en terrazas, y es posible la adaptación para recibir vegetación.

En cuanto a su resistencia mecánica: las varillas trabajan, principalmente a tracción y seguidamente a corte.(figura 39), lo que otorga una masa de suelo estable.

Figura 39. **Esquema de varillas en método Soil Nailing**



Fuente: Soil Tec. *Cimentaciones y estructuras*, 36 p.

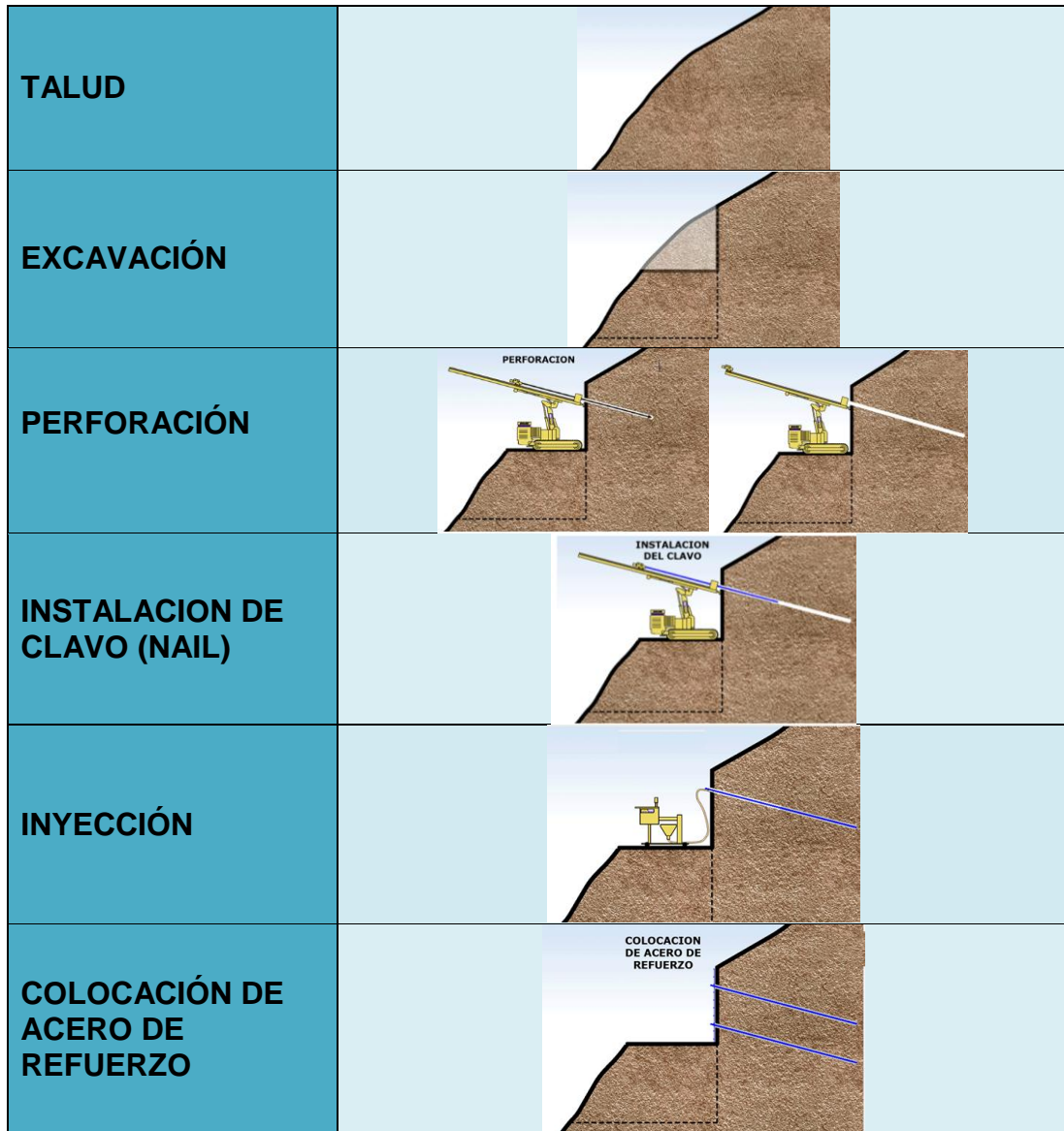
Las ventajas de este sistema, comparados con otros, se describen a continuación.

- Versátil para adaptarse a la geometría del talud
- Alta velocidad de ejecución
- Construcción económica
- No requiere obras de construcción previas a su instalación

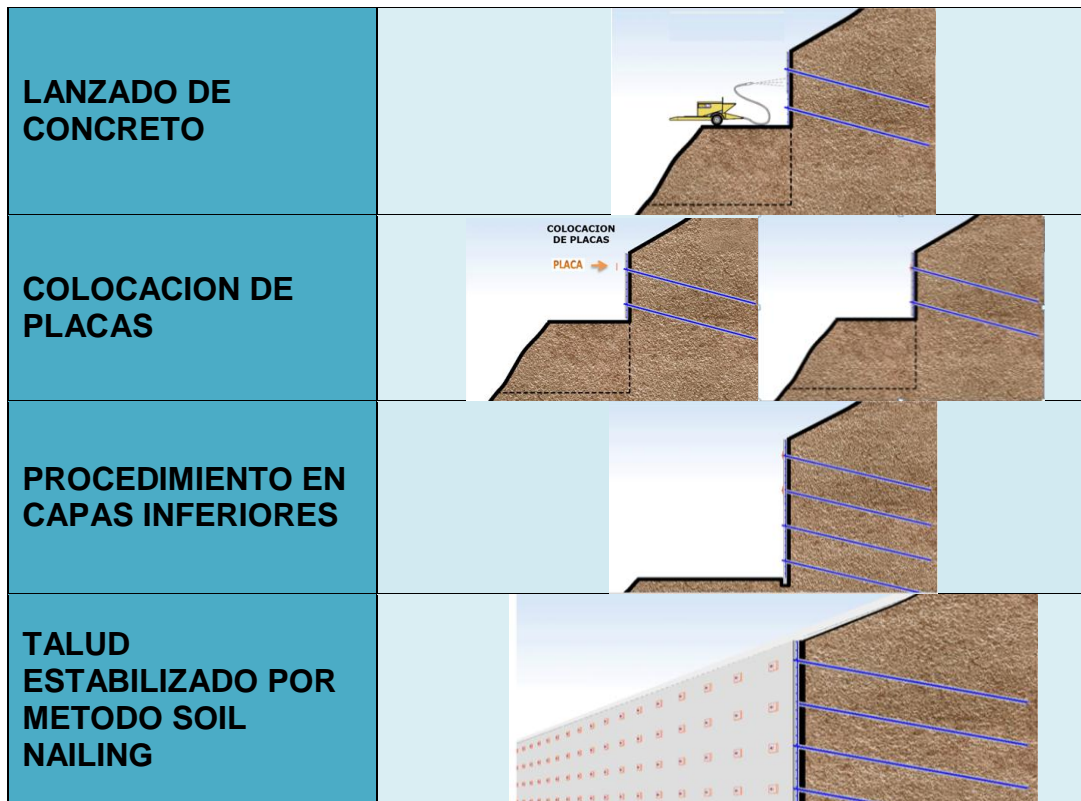
Este sistema es utilizado en taludes altos y áreas muy limitadas bajo un diseño conservador y soportes permanentes.

En la figura 40 se describe el procedimiento de construcción del método Soil Nailing.

Figura 40. Procedimiento de construcción de método Soil Nailing



Continuación de la figura 40.



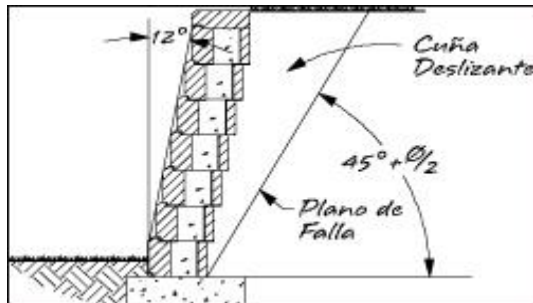
Fuente: Soil Tec. *Cimentaciones y estructuras*, 30 p.

## 5.2. Muros de gravedad

Obras de contención, de acuerdo a su forma de trabajo, dependen únicamente de su propio peso, combinando principios básicos de inclinación, peso total y brazo de palanca para determinarse estables.

La modalidad de resistencia de este método consiste en soportar un cuña de suelo expuesta a la falla, la cual está definida por el suelo que se encuentra entre el área interna del muro y el plano de deslizamiento del suelo.

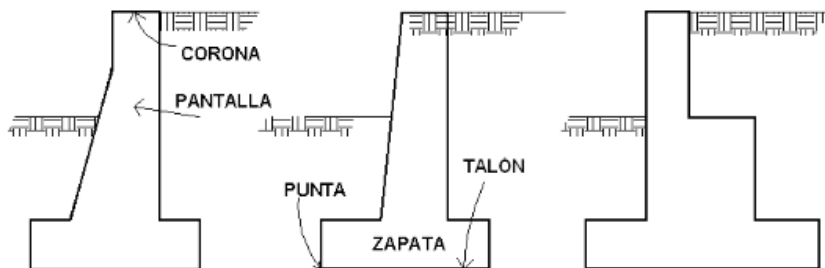
Figura 41. **Proyección de muro de gravedad**



Fuente: elaboración propia, con programa AutoCAD 2013..

Los muros por gravedad son diseñados desde el punto de vista económico para obras menores a 5 metros, en cuanto a su forma deben de cumplir con parámetros en la relación de sus dimensiones (figura 42), suelen ser escalonados en su verticalidad.

Figura 42. **Clasificación de muros de gravedad**



Fuente: elaboración propia, con programa AutoCAD 2013.

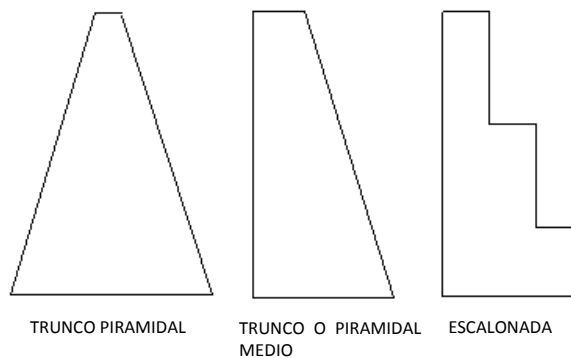
Debido a que el muro por gravedad debe ser lo suficientemente pesado para contrarrestar el empuje del suelo, es necesario utilizar los materiales adecuados en su construcción: hormigón ciclópeo, piedra o gaviones y mampostería.

### 5.2.1. Muro de hormigón ciclópeo

Estos elementos estructurales son diseñados y posicionados para resistir empujes laterales, tienen una buena reacción a los esfuerzos de compresión ejercidos por el empuje lateral del suelo.

Su morfología llega a ser variable, dependiendo del diseño estructural, ya que trabajan como represas de agua considerando que el empuje es mayor en su base, las formas más frecuentes que se ejecutan en Guatemala son: trunco piramidal, trunco piramidal medio y escalonada.

Figura 43. **Morfología de muros**



Fuente: elaboración propia, con programa AutoCAD 2013.

El desempeño de los muros de contención de concreto ciclópeo corresponde a los esfuerzos de pandeo por los momentos de tracción ocasionados por niveles freáticos, curvas laterales, vertientes internas o bajos niveles de cohesión, por lo cual se diseñan con mayores espesores.



### **5.2.2. Muro de gaviones**

Estructura formada por gaviones y colchones que funcionan de forma monolítica para protección de taludes, diseñados para mantener una diferencia en los niveles de suelo y con alta resistencia al volteo.

Los gaviones son elementos estructurales de forma prismática rectangular, contruidos de malla metálica de celdas hexagonales, confeccionada de alambre galvanizado y rellenos de piedra de forma homogénea, los cuales deben de seguir parámetros: la malla metálica posee alta resistencia mecánica y doble torsión, para impedir la destrucción total en caso que un alambre se corte, asegurándose que en cada punto de cruce se mantenga la flexibilidad y evitando deformaciones posibles, para garantizar su durabilidad se debe de emplear alambres galvanizados; las piedras para el relleno deben ser procedentes de canto rodado, tener un elevado peso específico, poseer un tamaño pequeño superior a la mínima medida de la malla y un máximo que se encuentre en el orden del doble del mínimo.

Los muros de contención por gaviones pueden adquirir diversas morfologías acorde a las forma y extensión de la superficie del talud y el suelo: muros con parámetros externos verticales, con escalones a ambos lados, de semigravedad y de gravedad con solera de anclaje, y muros esbeltos de parámetros escalonados anclados por colchones y paneles de malla.

### **5.2.3. Muros con parámetros externos verticales o escalonados**

El muro con escalones externos verticales es considerado el más estable debido a que mantiene el equilibrio en su volumen y flexible, porque debe

mantener un ángulo  $\alpha=6^\circ$  con respecto al suelo para disminuir el valor del coeficiente del empuje activo.

En cuanto al diseño de estos muros se aplica el método de Coulomb, que se basa en el estudio de equilibrio de la cuña de suelo indeformable donde actúa su propio peso, fuerza de rozamiento y cohesión; haciendo consideraciones tales como: que la cuña activa se produce cuando hay un desplazamiento de la estructura de contención si esta fuese deformable, el coeficiente de empuje activo se determina mediante el cálculo del estado límite del terreno.

#### **5.2.4. Muros con escalones a ambos lados**

Para el diseño y cálculo de este tipo de muros se usan, al igual que para muros con parámetros externos verticales, los siguientes aspectos: la capacidad de soporte del suelo, la deformidad del suelo, construcción de la base de la estructura.

Considerando que el muro debe resistir el bloque de presiones uniformemente variada de configuración triangular, se puede asumir  $\delta=\phi$ , ahora si se usa un geo textil  $\delta=0.90\phi$ .

Este tipo de muros pueden bien sustituir los de parámetro interno o escalonados, donde la superficie del muro es su propio parámetro interno.

### **5.2.5. Muros de semigravedad**

Este sistema es resistente a los empujes mediante su propio peso, lo que indica que para mantenerse estable requiere de grandes dimensiones, por lo cual es factible económicamente para obras menores a 4,5 m.

En cuanto a su diseño, se debe realizar tres chequeos: contra volteo, deslizamiento y presiones, para garantizarlo como estable; cabe mencionar que existen relaciones entre sus dimensiones para mantener el equilibrio del mismo.

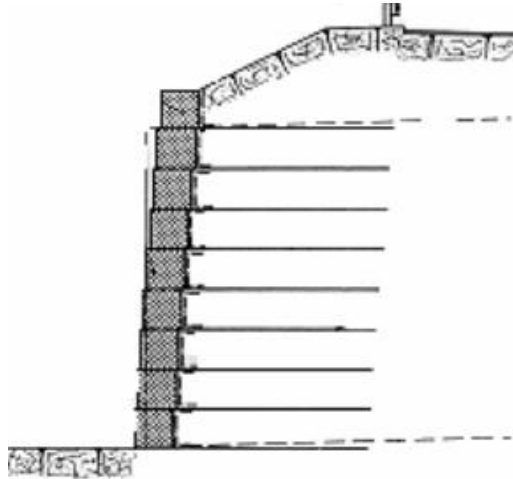
### **5.2.6. Muros de semigravedad con solera de anclaje**

Estos muros son una solución práctica y casi inmediata para la protección de taludes, con diferencia de los anteriores, este cuenta con una solera inferior de anclaje al terreno con el fin de que funcione como un solo bloque.

### **5.2.7. Muros esbeltos de parámetros escalonados anclados por colchones y paneles de malla**

Este método consiste en la colocación de gaviones en forma escalonada, pero anclados al talud por medio de colchones de gaviones y mallas galvanizadas, con el propósito de unir con las paredes de muros a manera de contrarrestar los empujes por el suelo.

Figura 44. **Muros esbeltos de parámetros escalonados**



Fuente: PINEDA, Luis. *Alternativas de estabilización de taludes*, Universidad Centroamericana José Simeón Cañas. p. 82.

Las ventajas de construir muros de gaviones se mencionan a continuación.

- Permeable: por su sistema conjunto de malla y grava se drenan los fluidos con facilidad, dado que impide que se generen presiones hidrostáticas.
- Flexible: debido a que funcionan monólicamente es posible unir un conjunto de gaviones en una superficie de suelo irregular.
- Facilidad de diseño: debido a su geometría y mecanismo, es sencilla su adaptación.
- Sin cimentación: son muros estables, por su propio peso no tienen necesidad de ser anclados.
- Menor tiempo de ejecución: ya que se trata de su instalación inmediata, a diferencia de otros métodos que requieren prolongados periodos en su construcción (fraguado, cortes, rellenos, etc).

- Estético: se adecúan e integran armoniosamente al entorno y ambiente.

### **5.2.8. Muros de mampostería**

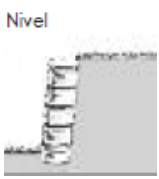
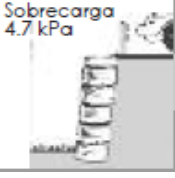
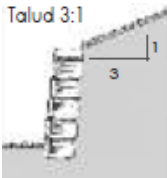
Es una estructura de contención construida a base de elementos de mampostería sobrepuestos consecutivamente de hilada en hilada, combinando principios básicos de ingeniería para hacer estable el muro como: brazo de palanca y peso propio del muro.

El sistema que gobierna el diseño de estos muros es construirlos a un ángulo de inclinación con respecto a la vertical, considerando que el efecto de brazo de palanca que experimenta cada hilada, también aumenta, lo cual permite construir muros más altos sin refuerzo

De acuerdo a la altura que se prolongue se clasifican en: muros de mampostería convencionales y muros de mampostería reforzados.

Los muros convencionales pueden lograr alturas hasta de 1.7m.; la figura 45 representa una guía de alturas máximas a las cuales se pueden construir sin refuerzo fundamentados en aspectos mecánicos y físicos del suelo: tipo de suelo, ángulo de fricción interna  $\Phi$ , condiciones del muro.

Figura 45. **Alturas máximas de muros convencionales**

ALTURAS MÁXIMAS DE MUROS DE GRAVEDAD					
Condición por encima del muro	Tipo de suelo	Ángulo de fricción	Muro de piedra (12°)	Muro clásico (6°)	Muro vertical (3°)
 <p>Nivel</p>	Arcilla	27°	1,0 m	0,84 m	0,8 m
	Arena arcillosa	32°	1,4 m	1,1 m	0,9 m
	Arena/grava	36°	1,7 m	1,2 m	1,1 m
 <p>Sobrecarga 4,7 kPa</p>	Arcilla	27°	0,5 m	0,4 m	0,3 m
	Arena arcillosa	32°	0,6 m	0,5 m	0,4 m
	Arena/grava	36°	1,2 m	0,9 m	0,5 m
 <p>Talud 3:1</p>	Arcilla	27°	0,7 m	0,6 m	0,53 m
	Arena arcillosa	32°	1,14 m	0,9 m	0,84 m
	Arena/grava	36°	1,5 m	1,1 m	0,9 m

Fuente: Khoury industries, *Manual de instalación comercial para muros de gravedad* (Allanblock).

El cálculo para el diseño de muros de mampostería de block reforzado es el mismo que el muro de concreto reforzado y se resume de la siguiente manera:

- Pre dimensionamiento
- Chequeo de estabilidad contra volteo
- Chequeo de estabilidad contra deslizamiento
- Chequeo de estabilidad contra valor soporte

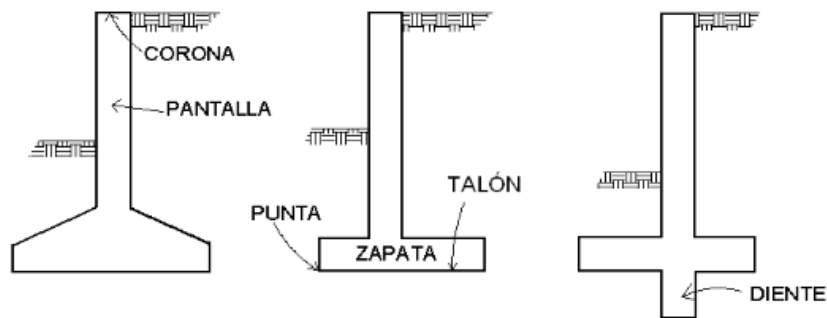
- Diseño armado de refuerzo de acero

### 5.2.9. Muros en voladizo

Muros contruidos de concreto armado que trabajan como vigas en voladizo, empotrados en zapatas con el objetivo de resistir al volteo por medio del peso propio del material

Estos elementos son utilizados en obras con alturas de 3 a 7 metros con respecto a su forma, las más comunes se presentan en la figura 46.

Figura 46. Esquema muros en voladizo



Fuente: elaboración propia, con programa AutoCAD 2013.

Para llevar a cabo el diseño de estos muros se hace indispensable el análisis de las fuerza actuantes sobre la cimentación: sobrecargas, empuje del suelo, peso del suelo y peso del muro; como paso posterior se procede a realizar una análisis de estabilidad efectuando los siguientes chequeos: contra volteo, deslizamiento, presiones sobre el terreno y resistencia como estructura.

El armado estructural queda establecido de la siguiente manera: verticalmente para resistir el momento por flexión y horizontalmente para evitar

las grietas; requiere rigurosa supervisión en la instalación de moldes, colocación de acero y un vaciado uniforme.

### **5.3. Berma**

Es un método de construcción en terracería como sistema de prevención al desprendimiento del suelo, se colocan bermas intermedias en las superficies que experimentan cambios de pendiente y donde se requiere un factor de seguridad.

La construcción de bermas permanentes en el talud es recomendable cuando la superficie del mismo presenta fracturas y exfoliaciones, de esta forma el suelo desprendido cae sobre las bermas evitando así que lleguen al área del camino, sin embargo, su ejecución es costosa aunque el mantenimiento que requieren es mínimo.

El diseño de bermas se clasifica dependiendo de su función: el manejo de aguas de escorrentía y el control de erosión o suelos erosionables.

En manejo de aguas de escorrentía su ancho debe estar de 1 a 2 metros y se colocan a diferencias de altura entre 5 y 7 metros dependiendo de la calidad del suelo; en suelos erosionables la berma debe mantener una pendiente de 5 a 10% hacia adentro del talud también es necesaria el diseño de un canal revestido (cuneta) para desfogue de aguas de escorrentía.

Para aumentar el factor de seguridad al deslizamiento en suelos cohesivos se construyen bermas de mayor ancho y en suelos granulares es preferible construir bermas inestables por la pendiente del talud entre ellas.



## 5.4. Vegetación

La vegetación es sistema ideal en el control de la estabilización, erosión e integración ecológica y paisajística de los taludes, el éxito de este método consiste en conocer todos los factores y técnicas que influyen en este proceso; su objetivo es mejorar, en la medida de lo posible, las características morfológicas y sustratos del talud.

Figura 47. **Propiedades de taludes ante el uso de geosintéticos**

TIPOS DE GEOSINTÉTICOS	EFECTO PROPORCIONADO POR			
	CUBIERTA	TALLOS	RAÍCES	RESIDUOS ORGÁNICOS
Redes tejidas con fibras naturales	Cumple un papel idéntico a la de la vegetación	Cumple un papel idéntico a la de la vegetación	No simulan efecto de vegetación	Cumple un papel idéntico a la de la vegetación
Mantas orgánicas bidimensionales	Cumple un papel idéntico a la de la vegetación	Cumplen un papel parecido a la de vegetación.	No simulan efecto de vegetación	Cumple un papel idéntica a la de la vegetación
Redes sintéticas tridimensionales	No simulan efecto de vegetación	Cumple un papel idéntico a la de la vegetación	Cumple un papel idéntico a la de la vegetación	Cumple un papel idéntico a la de la vegetación
Redes celulares	No simulan efecto de vegetación	No simulan efecto de vegetación	Cumple un papel idéntico a la de la vegetación	no simulan efecto de vegetación

Fuente: MORGAN Roy; RICKSON R.J. *slope stabilization and erosion control* 1995. p. 171.

En la actualidad se han desarrollado y expuesto al mercado numerosas técnicas, productos y materiales que ayudan a alcanzar eficazmente buenos resultados en la protección de taludes, como los geosintéticos utilizados para proteger la superficie del talud ante la erosión.

#### **5.4.1. Técnicas de bioingeniería**

Por lo tanto, existe un conjunto formas de tratamiento de taludes en los cuales se utiliza la vegetación como elemento principal, conocidas por el nombre de: técnicas de bioingeniería; las técnicas más usuales se describen a continuación:

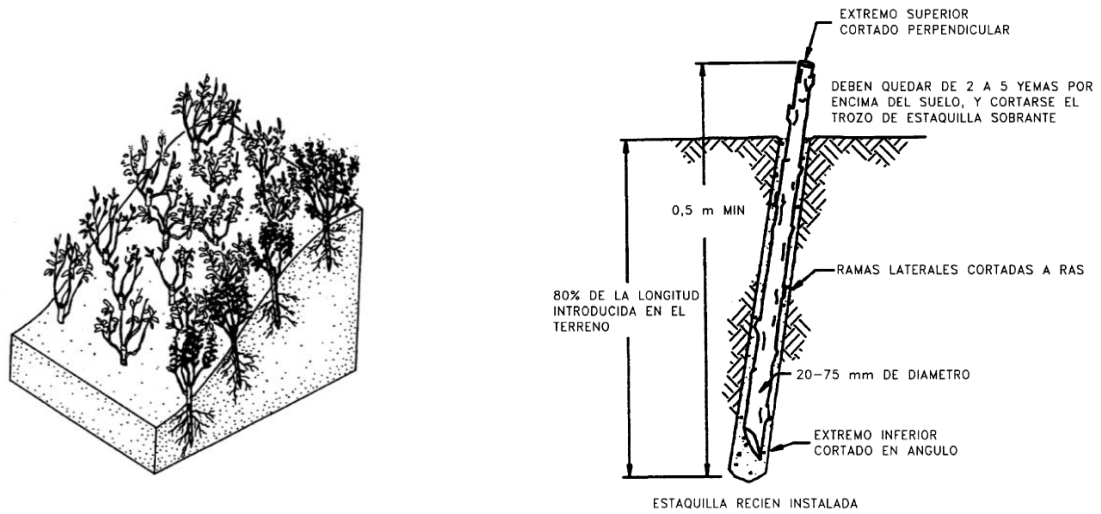
##### **5.4.1.1. Estaquillado**

Consiste en introducir en el suelo estaquillas de plantas leñosas que posteriormente se desarrollan como una planta adulta con tamaño y grosor adecuado, de tal forma que puedan ser clavadas como estacas (figura 48).

##### **5.4.1.2. Fajinas**

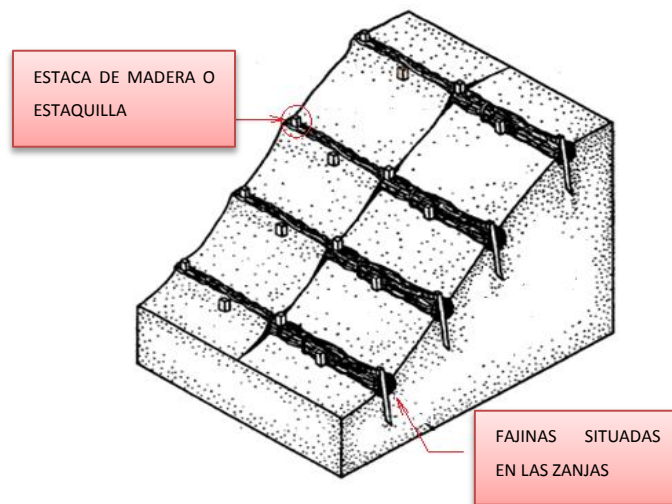
Técnica en la que se usan tallo y ramas en forma de huso que se colocan en zanjas poco profundas en sentido transversal del talud, hasta que se recubra parcialmente por completo (figura 49).

Figura 48. **Esquema de estaquillado**



Fuente: MATAIX, Carmen. Estudios y proyectos mineros, S.A., *Técnicas de revegetación de taludes*, p. 186.

Figura 49. **Técnica de bioingeniería, fajinas**

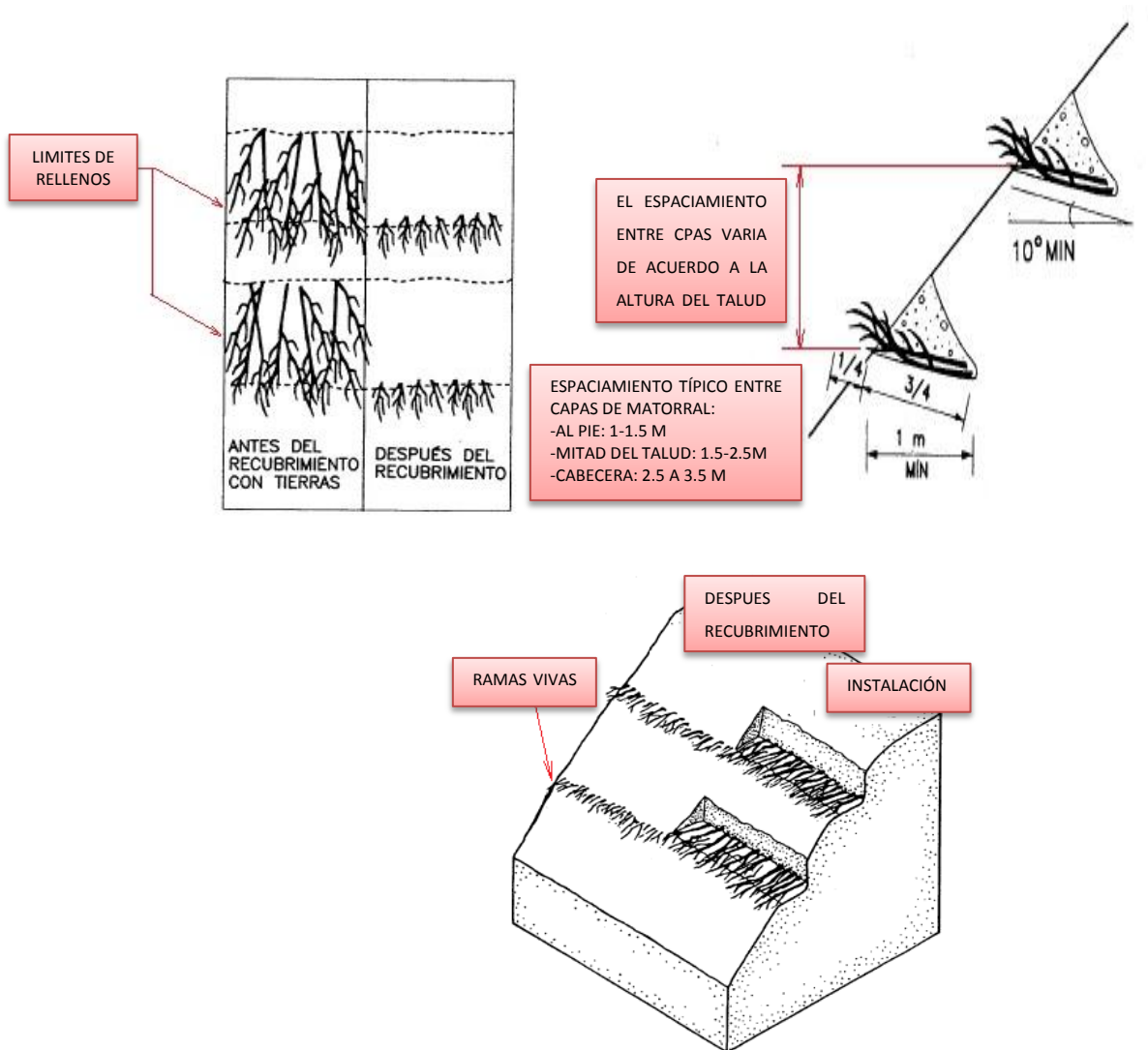


Fuente: MATAIX, Carmen. Estudios y proyectos mineros, S.A., *Técnicas de revegetación de taludes*, p. 197.

### 5.4.1.3. Escalones de matorral

Técnica que consiste en situar ramas leñosas que enraízan en pequeñas zanjitas entre capas sucesivas de tierra a lo largo de la pendiente del talud.

Figura 50. Esquema escalones de matorral

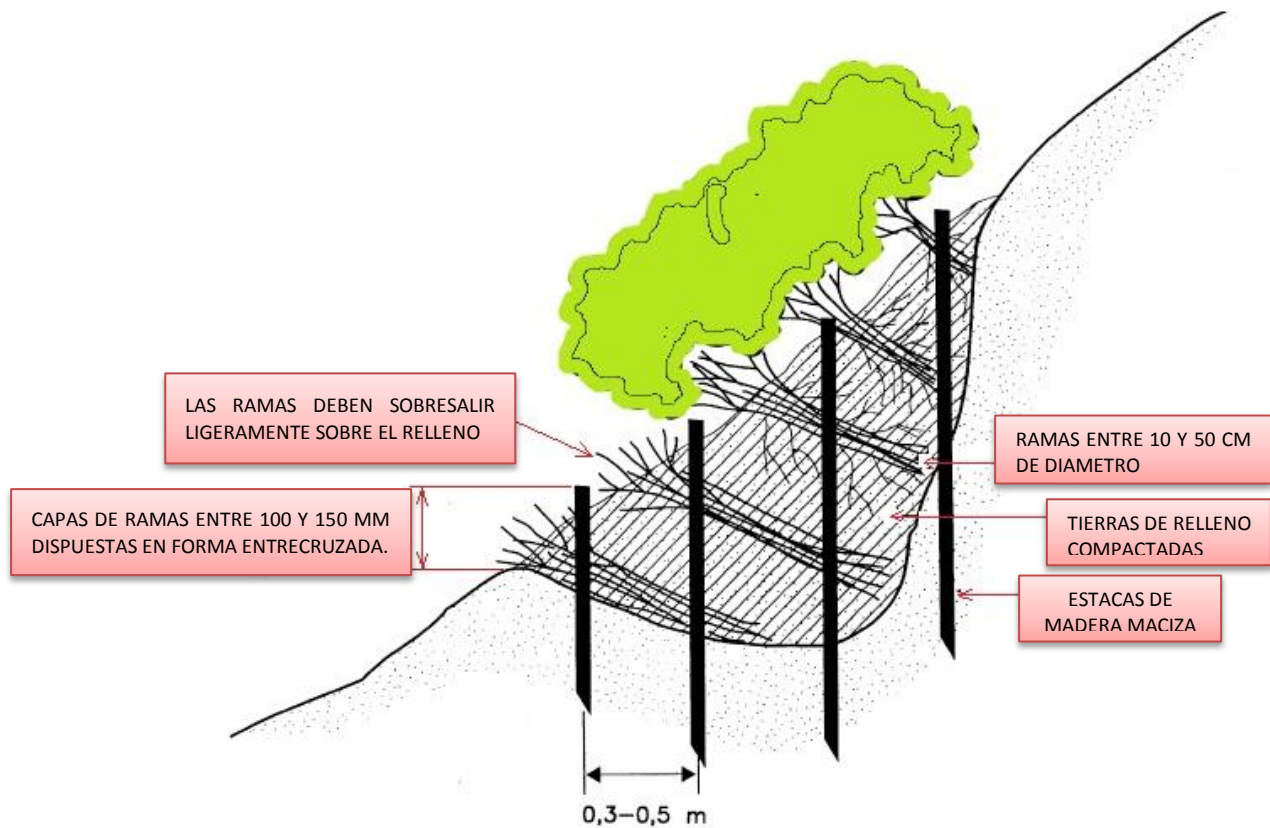


Fuente: MATAIX, Carmen. Estudios y proyectos mineros, S.A., *Técnicas de revegetación de taludes*, p. 200.

#### 5.4.1.4. Paquetes de matorral

Técnica para reparar las depresiones ocasionadas por pequeños deslizamientos y solo es utilizable en áreas de deslizamiento menores de 1 metro de profundidad y/o 2 metros de anchura.

Figura 51. Esquema paquetes de matorral

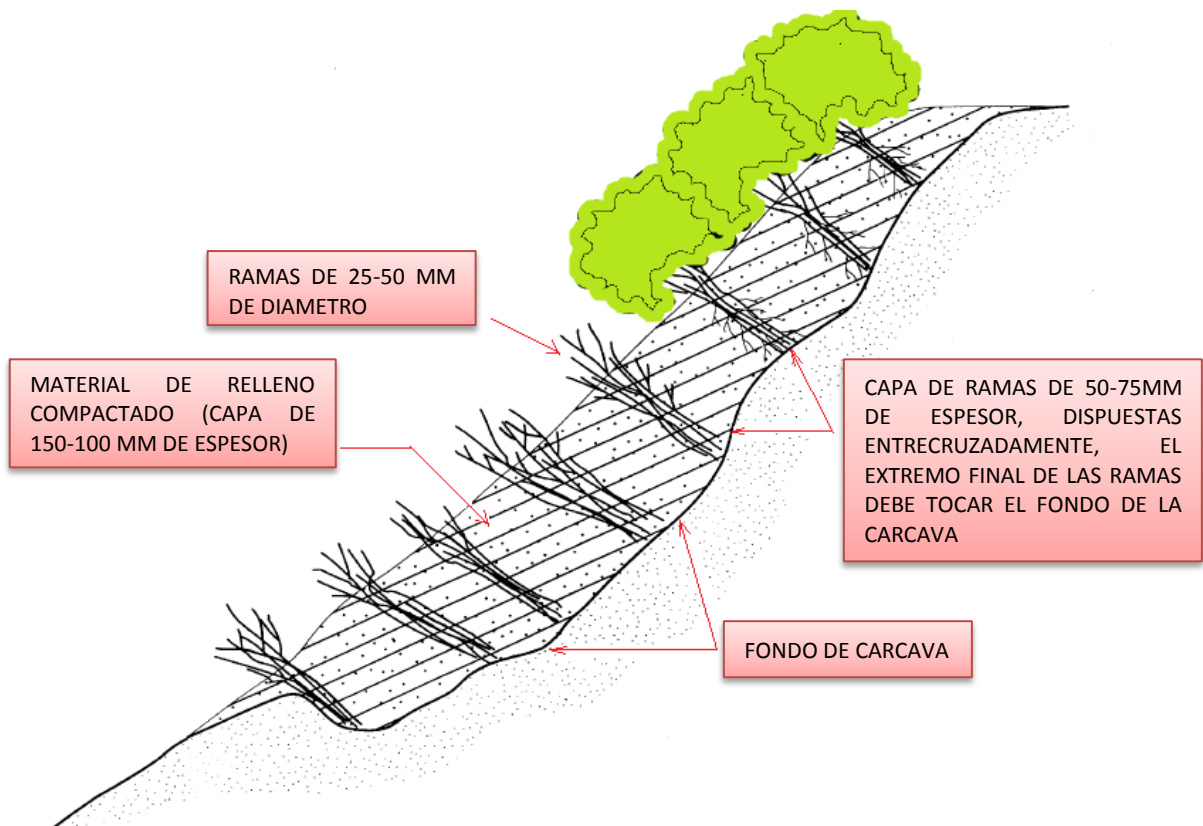


Fuente: MATAIX, Carmen. Estudios y proyectos mineros, S.A., *Técnicas de revegetación de taludes*, p. 202.

#### 5.4.1.5. Reparación de cárcavas con material vivo

Técnica usada para reparar depresiones ocasionadas por erosión superficial, consiste en rellenar la cárcava que se pretende reparar con capas alternas de ramas y tierras.

Figura 52. Cárcavas con material vivo

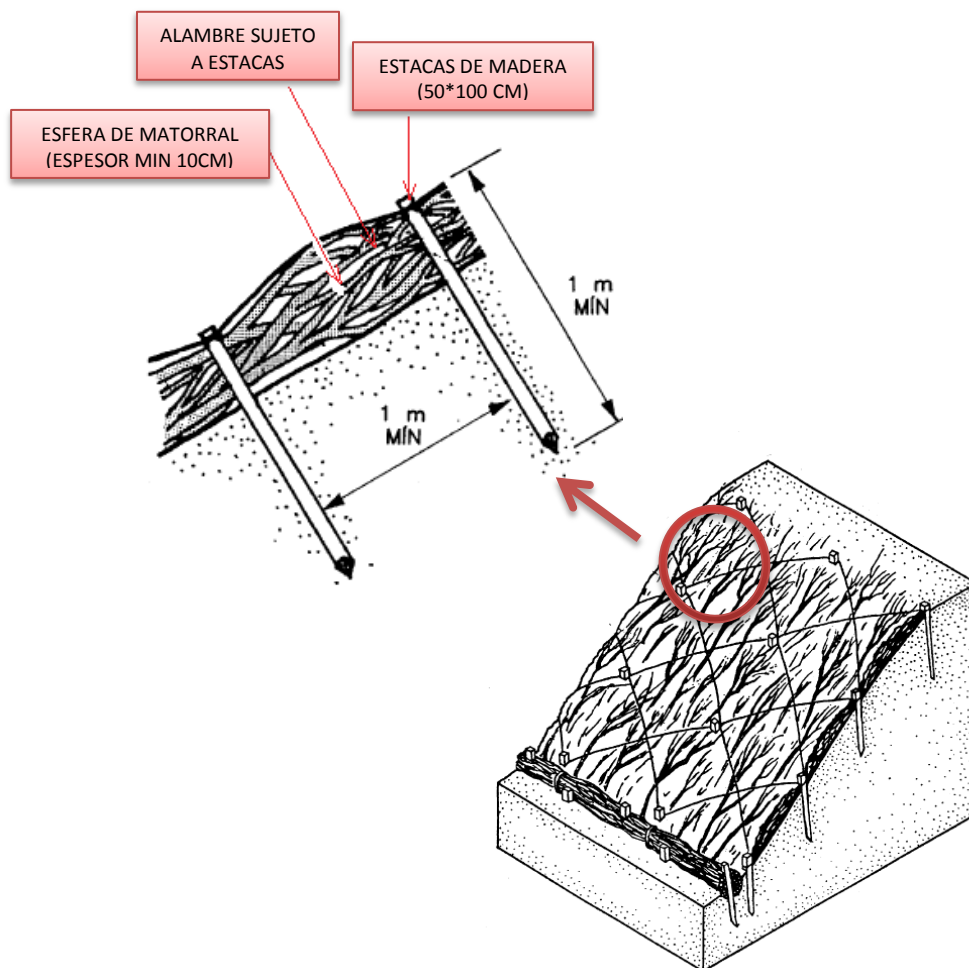


Fuente: MATAIX, Carmen. Estudios y proyectos mineros, S.A., *Técnicas de revegetación de taludes*, p. 203.

#### 5.4.1.6. Esteras de matorral

Esta técnica consiste en recubrir el talud con una capa gruesa de ramas atadas y entrelazadas, formando una especie de colchón.

Figura 53. Técnicas de bioingeniería, esferas de matorral



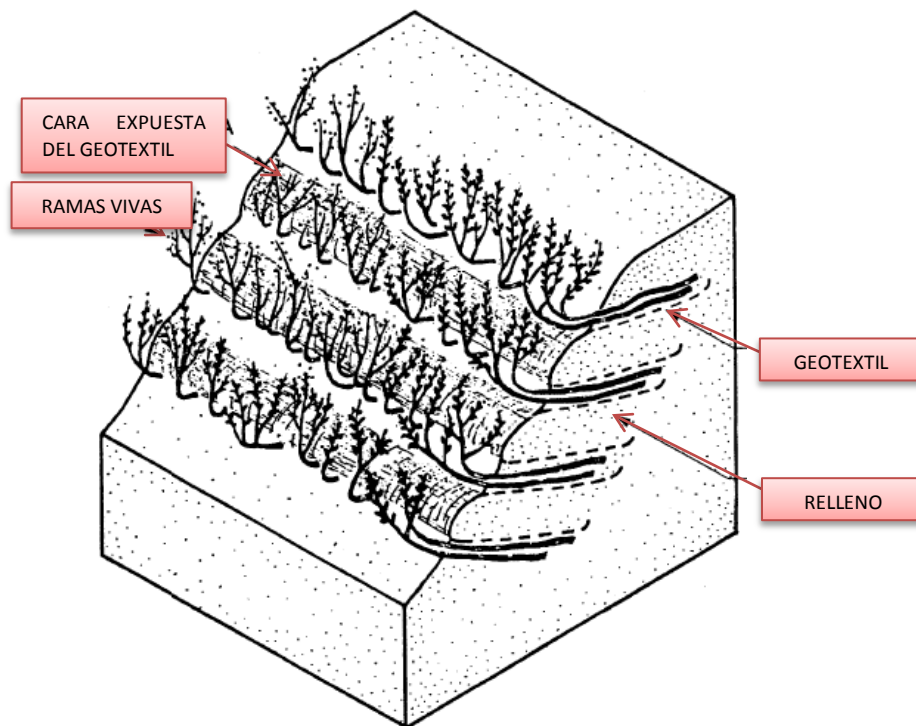
Fuente: MATAIX, Carmen. Estudios y proyectos mineros, S.A., *Técnicas de revegetación de taludes*, p. 204.

#### 5.4.1.7. Construcciones mixtas

- Estructuras de tierra reforzada

Técnica que consiste en alternar capas de tierra y ramas de poco espesor con capas gruesas de tierra y de relleno envueltas en geo textil, formando una estructura que actúa como muro de contención que mantiene detenido al talud.

Figura 54. Esquema de estructura de tierra reforzada



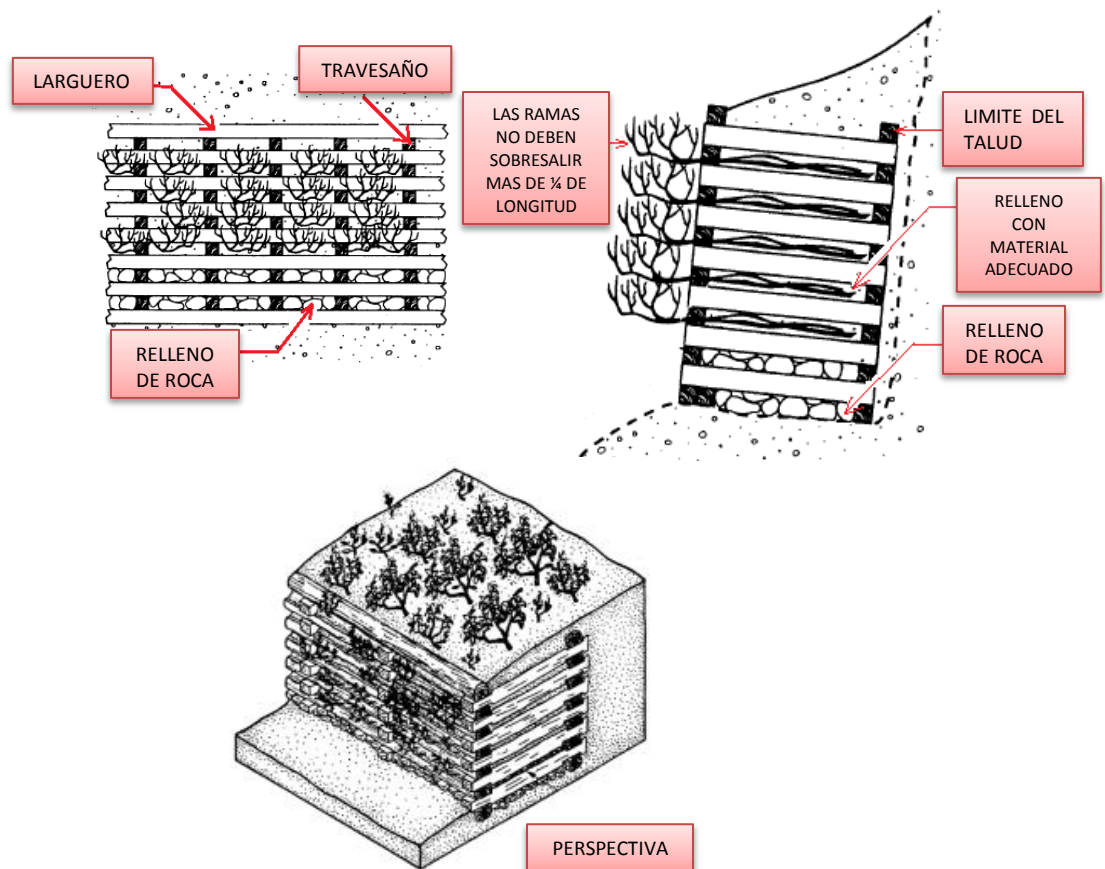
Fuente: MATAIX, Carmen. Estudios y proyectos mineros, S.A., *Técnicas de revegetación de taludes*, p. 206.



- Muros vivos

Son muros de madera en forma de cajón, rellenos de tierra y en cuya cara frontal se introducen varas y ramas, las cuales enraízan dentro de la estructura. Inicialmente el cajón de madera es el que desarrolla la función como muro de contención, pero gradualmente la vegetación va tomando la posición como elemento principal de la estabilización.

Figura 55. Esquema de muros vivos

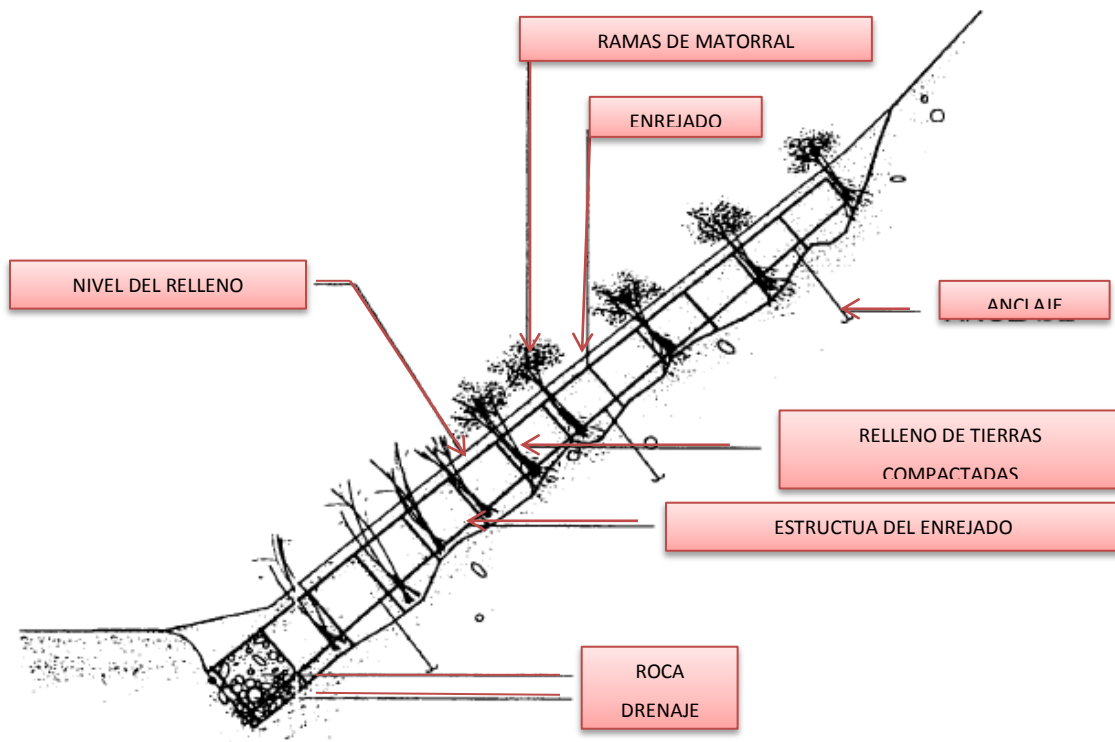


Fuente: MATAIX, Carmen. Estudios y proyectos mineros, S.A., *Técnicas de revegetación de taludes*, p. 208.

#### 5.4.1.8. Enrejados vivos

Estructura tridimensional construida de manera anclada a la superficie del talud y se rellena con tierra, en los vanos se instalan capas de ramal de matorral, el propósito del enrejado de madera es sujetar el suelo y ayudar al establecimiento de la vegetación.

Figura 56. Esquema de enrejados vivos

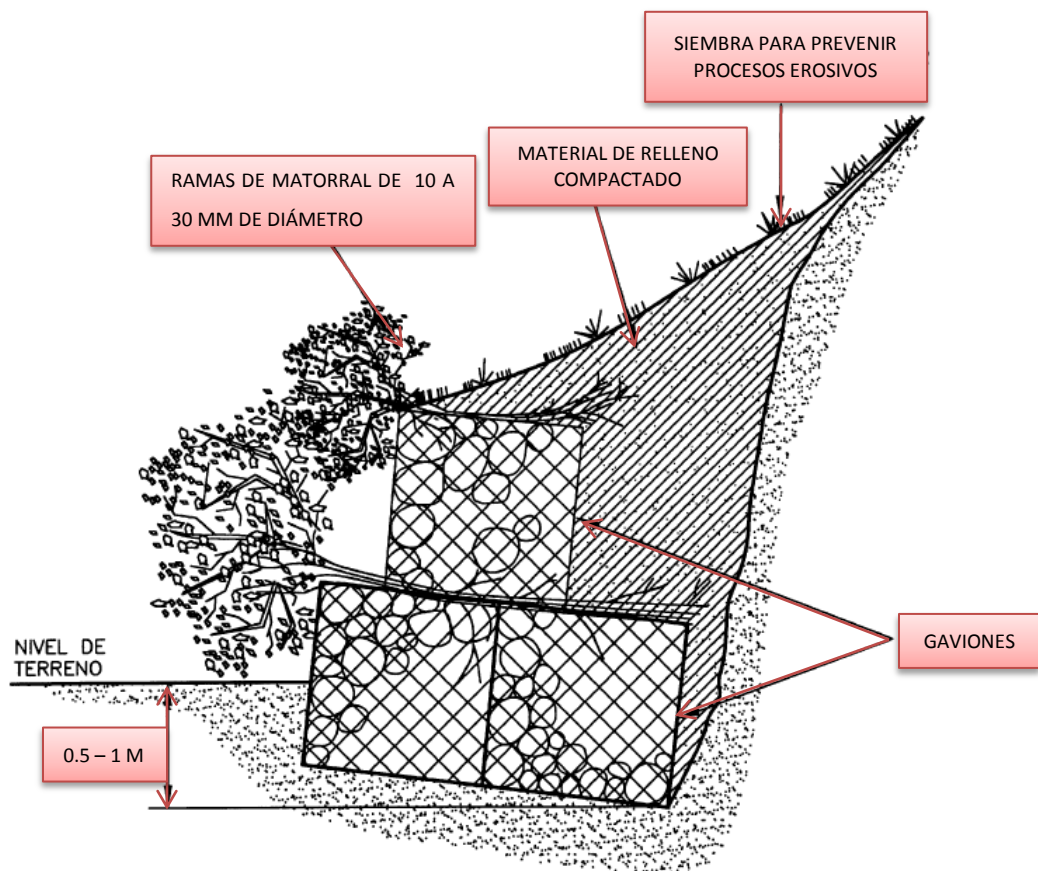


Fuente: MATAIX, Carmen. Estudios y proyectos mineros, S.A., *Técnicas de revegetación de taludes*, p. 210.

#### 5.4.1.9. Muros de gaviones con vegetación

Técnica que utiliza gaviones construidos de manera convencional y para su vegetación se utilizan ramas de 10 a 25 centímetros de diámetro y, longitud suficiente para que lleguen atravesando los gaviones, las raíces que desarrollan las ramas se introducen entre el relleno de los gaviones y alcanzan el talud consolidando la estructura.

Figura 57. Muros de gaviones con vegetación



Fuente: MATAIX, Carmen. Estudios y proyectos mineros, S.A., *Técnicas de revegetación de taludes*, p. 212.

De manera que reconociendo de forma aplicada que la vegetación aporta un sistema importante en términos de prevención de movimientos de masas de taludes, a esto se describen la formas en que la vegetación afecta el balance de fuerzas:

- Refuerzo de las raíces
- Modificación del contenido de humedad en el suelo
- Apuntalamiento
- Peso de la vegetación
- Cuñamiento de raíces

Los tres primeros efectos aumentan la estabilidad del talud, el cuarto puede causar un efecto benéfico o adverso dependiendo de las condiciones del terreno y el quinto, únicamente puede causar el desmoronamiento del talud.

Si bien las raíces de la cubierta vegetal no tienen la resistencia mecánica, como varillas de acero, trabajan como refuerzo del suelo debido a que ejercen fuerzas de tensión, además de transferencia de tracción a lo largo y ancho de la superficie.

## **5.5. Corte de la cabeza del talud**

Es una técnica muy utilizada que consiste en disminuir las fuerzas actuantes dentro del volumen deslizado, debido a que la cabeza del deslizamiento es la que provee una mayor fuerza sobre la masa inestable es la parte que se modifica.

Para reducir el momento actuante y controlar el movimiento se construyen terrazas en la parte superior del talud, el cual crea un efecto que disminuye las fuerzas que producen los momentos desestabilizantes.

## **5.6. Aplicación de métodos**

En Guatemala han sido aplicados todos los métodos anteriormente mencionados, sin embargo, conforme la tecnología avanza se han fabricado muros de contención de todo tipo, pero sobre la decisión de qué tipo de método emplear se basa en los siguientes factores:

- Aspecto exterior
- Costo
- Espacio libre requerido
- Fuerzas que actúan
- Material disponible

A manera de considerar la importancia de solucionar la problemática versus la situación económica, política y social de la comunidad se requiere presentar una evaluación de cada método (tabla XIII).

El objetivo principal de dicha evaluación es estudiar la factibilidad de cada método y con ello analizar el diseño y ejecución del mismo, factores que deben ser contemplados desde el inicio, de manera se garantiza su funcionalidad y durabilidad.

Tabla XIII. **Evaluación de métodos de estabilización**

<b>MÉTODO DE ESTABILIZACIÓN</b>	<b>EVALUACIÓN</b>
Soil Nailing	Este método sería factible, pero su costo de construcción es demasiado elevado para nivel socio económico de la comunidad.
Muros de gravedad	Método en que intervienen elevadas costos para su ejecución, por lo tanto no es el más recomendable debido a que las causas de deslizamientos no son por el soporte del suelo.
Corte	Método aceptable, pero se necesita considerar el factor tiempo en la ejecución del proyecto y posibles interrupciones de la ruta.
Técnicas de bioingeniería	Este tipo de métodos es factible en cuanto cumpla con todos los factores involucrados en este proceso.

Fuente: elaboración propia.

Es necesario remarcar que, la mejor solución para esta problemática es consolidar medidas de prevención y mitigación: En la zona de estudio se deben implementar maneras educativas para la prevención de tragedias, dando a la población capacitación sobre el manejo de laderas. Haciendo conciencia en no habitar sitios no propicios para la construcción, pues ponen en riesgo sus vidas. Además de respetar la distancia mínima a la cual se puede construir.

## CONCLUSIONES

1. Para la elaboración de un estudio geotécnico es fundamental recurrir a fuentes de información como: mapas hidrológicos, geológico y topográficos otorgados por instituciones como el IGN e INSIVUMEH, sin ignorar la importancia de recopilar información mediante la comunidad afectada, ya sea la municipalidad en jurisdicción, COCODES y los mismos pobladores, obteniendo datos relevantes como antecedentes de derrumbes en la zona, crecidas de ríos, precipitación pluvial, entre otras.
2. Guatemala es un país caracterizado por ser susceptible a movimientos telúricos debido a la convergencia en sus placas tectónicas, lo que implica que sea un factor de alto grado en la ocurrencia de derrumbes de taludes, por lo que incluir un análisis geológico y litológico del área es de carácter obligatorio en el desarrollo e implementación de medidas preventivas.
3. Los ensayos de laboratorio requeridos para el análisis geotécnico de un talud, hacen reconocimiento del suelo y determinan sus características físico-resistentes ante una serie de sollicitaciones y esfuerzos, y son: ensayos que determinan propiedades físicas (análisis granulométrico, humedad y límites de Atterberg), y ensayos que determinan propiedades mecánicas (corte directo y triaxial), siendo estos últimos los que más información provee debido a que permiten conocer los parámetros intrínsecos del suelo y que definen perfectamente la capacidad portante del mismo.

4. Los ensayos de laboratorio realizados a las muestras obtenidas en los taludes dan como resultado un ángulo de fricción interna, promedio igual a  $31,26^\circ$  y cohesión promedio  $3,75 T/m^2$ .
5. El cálculo de estabilidad de taludes requiere como datos mínimos del suelo: la cohesión (C'), ángulo de fricción interna ( $\Phi$ ), peso específico del material ( $\gamma$ ), los que posteriormente son analizados por el método de equilibrio limite Bishop, mediante el programa de cómputo geostudio 2012.
6. El estudio geotécnico para los taludes del km 18+900 al km 19+700 de la ruta departamental 5, carretera a Ciudad Quetzal, San Juan Sacatepéquez, Guatemala fue denominado Estudio Geotécnico para Construcción en Nivel Reducido y consiste en la adaptación de una experiencia local positiva completada eventualmente por reconocimientos de tipo económico (catas), lo cual indica el tipo de ensayo de campo a realizar lo que también esta función de la topografía del terreno, accesibilidad a los taludes y disponibilidad de recursos económicos.
7. El factor de seguridad obtenido para los taludes en estudio permanece en el rango admisible, siendo mayor a 1 y por ser este el resultado del sistema de fuerzas resistentes a la falla contra las fuerzas causantes de la falla del talud se concluye, que la causa de los deslizamientos es debido a factores activadores (precipitación, sismicidad y actividad humana) que son detonantes, ya que presentan un aumento de esfuerzos cortantes rompiendo el equilibrio de fuerzas internas provocando deterioro de forma inmediata y posteriormente la falla.



8. La metodología para dar solución al equilibrio de masas depende de diversos factores técnicos, sociales, políticos y económicos, estos son considerados al proponer como método de estabilización el desarrollo de técnicas de bioingeniería conocidas por utilizar la vegetación como elemento principal, además de dar a conocer la necesidad de prevención y elusión de la comunidad a manera de controlar cualquier tipo de amenaza.



## RECOMENDACIONES

1. Al estudiante de ingeniería y futuro profesional activo que decida elaborar un estudio de las características geotécnicas para el análisis de taludes, es importante mantener precisión en cuanto a la información recopilada, ya que los datos deben ser estrictamente verídicos y extraídos de fuentes confiables e incluso contar con la colaboración de pobladores que directamente estén involucrados o directamente afectados ante los deslizamientos en la zona.
2. Existe una amplia variedad de estudios geotécnicos, y se hace indispensable clasificar previo al proyecto la categoría o nivel (reducido, normal u intenso) a la que pertenece, ya que se define evaluando factores como: tipo de edificación, recursos y variabilidad del terreno (subsuelo de arcillas expansivas, suelos colapsables y fallas), que además de contar con requerimientos distintos se aplican de acuerdo a la adaptación y experiencia local.
3. Un estudio geotécnico, reúne tanto técnicas de laboratorio como de campo y son las primeras las que determinan las propiedades intrínsecas del material en estudio, por lo cual es inevitable mantener la precisión en el desarrollo de los ensayos, ya que de estos resultados se determina la capacidad de soporte del suelo, elemento fundamental en el cálculo del factor de seguridad.

4. En cuanto a la obtención de muestras, es importante que esta sea inalterada bajo las dimensiones definidas por tipo de ensayo a realizarse y que su obtención sea considerando los siguientes factores: necesidad, capacidad económica, accesibilidad al lugar, alcance y magnitud del proyecto, además de tomar en cuenta las especificaciones, ya de perforación o excavación.
5. Es importante implementar el uso de herramientas modernas como Geoslope 2012, que facilita el análisis de taludes mediante características propias: geometría, tipo de material, ángulo de fricción interna, cohesión, condiciones hidráulicas y fuerzas actuantes (cargas) desarrollando el cálculo con base en las diversas metodologías de equilibrio límite a manera de precisar el factor de seguridad más crítico.
6. Los procedimientos utilizados como medio de estabilización de taludes, a pesar de ser ideales ante sus condiciones técnico-mecánicas, resultan ser inadmisibles por el elevado costo que conlleva construirlo, es por ello que se recomienda evaluar los factores sociales, políticos y económicos del área, e implementar formas de estabilización factibles para la comunidad.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Asociación de Carreteras del Japón. *Manual de protección de taludes. Japón*, 1984. 327 p.
2. Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica. *Normas de seguridad estructural de edificios y obras de infraestructura para la república de Guatemala*. Guatemala: AGIES, 2010. 75 p.
3. DAS, Braja M. *Fundamentos de ingeniería geotécnica*, 4a ed. México: Thomson, 2006. 743 p.
4. Department of Agriculture. *Soil Bioengineering for Upland Slope Protection and Erosion Reduction*. Part 650, 210-EFH. In: Engineering Field Handbook. Chapter 18: 1992, USA. 947 p.
5. HURTADO, Alva. Jorge E. *Soluciones geotécnicas en estabilidad de taludes*, área de postgrado, Universidad Nacional de Ingeniería, Perú, 2009. 220 p.
6. LEE, Abramson. *Slope Stability and Stabilization Methods, Sharma and Boyce*, 2a ed. New York: John Wiley & Sons, Inc. 2002. 736 p.

7. MORALES ALVARADO, Diego Bernabé. *Procedimientos de investigación y comparación de los métodos de Bishop modificado, Janbú y Fellenius para el cálculo de estabilidad de taludes*. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de ingeniería, 2009. 186 p.
8. PLAZA DIEZ, Óscar. *Geología aplicada*, Universidad Politécnica de Madrid: Ingeniería de Obras Públicas, 2002. 81 p.
9. SAINZ PASCUAL, Jorge. Grupo INZAMAC S.A. *Curso de geotecnia*, España, 2010. 40 p.
10. Slope Stability Analysis and Stabilization, New Methods and Insight, Y.M. Cheng and C.K Lau, 2001. 238 p.

## **APÉNDICES**

1. Análisis granulométrico, con tamices
2. Ensayo de compresión triaxial, diagrama de Mohr
3. Ensayo de corte directo
4. Ensayo de límites de Atterberg







**CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**



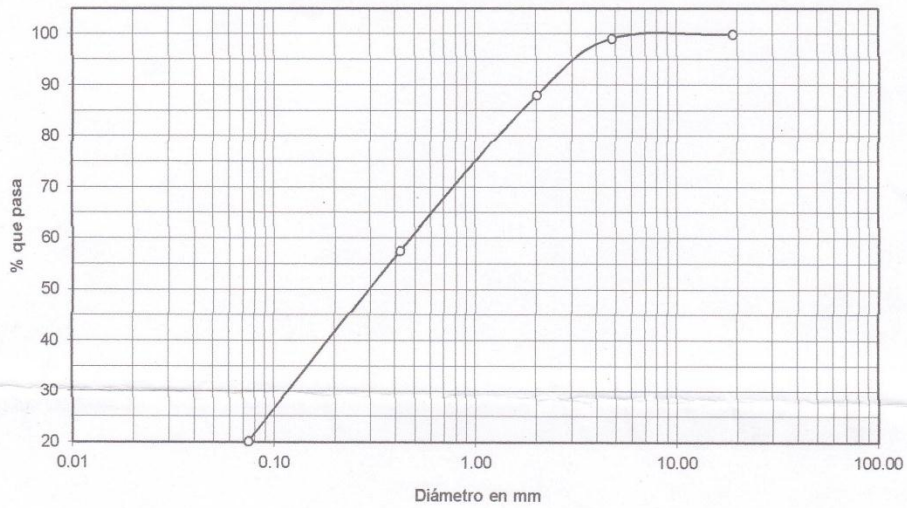
INFORME No.: 0256 S.S.

O.T.: 31,043

Interesado: Beissy Elizabeth Perez Revolorio  
 Tipo de Ensayo: Análisis Granulométrico, con tamices.  
 Norma: A.A.S.H.T.O. T-27,  
 Proyecto: Trabajo de Graduación "Caracterización Geotécnica de los Deslizamientos de Taludes del Km. 18+900 al Km 19+700 de la Ruta Departamental 5, Carretera a Ciudad Quetzal, San Juan Sacatepequez, Guatemala"  
 Fecha: 02 de abril del 2013

Análisis con Tamices:		
Tamiz	Abertura (mm)	% que pasa
3/4"	19.00	100.00
4	4.76	99.19
10	2.00	88.05
40	0.42	57.57
200	0.074	20.18

% de Grava: 0.81  
 % de Arena: 79.02  
 % de Finos: 20.18



Descripción del suelo: Arena limosa color beige  
 Clasificación: S:C.U.: SM P.R.A.: A-2-4  
 Observaciones: Muestra tomada por el interesado.

Vo. Bo.:

Atentamente,  
 UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
 CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA  
 DIRECCION  
 Inga. Telma Maricela Cano Morales  
 DIRECTORA CII/USAC

SECCION TECNICA DE MECANICA DE SUELOS  
 CENTRO DE INVESTIGACIONES INGENIERIA - USAC  
 Ing. Omar Enrique Medrano Mendez  
 Jefe Sección Mecánica de Suelos





ENSAYO DE COMPRESION TRIAXIAL, DIAGRAMA DE MOHR

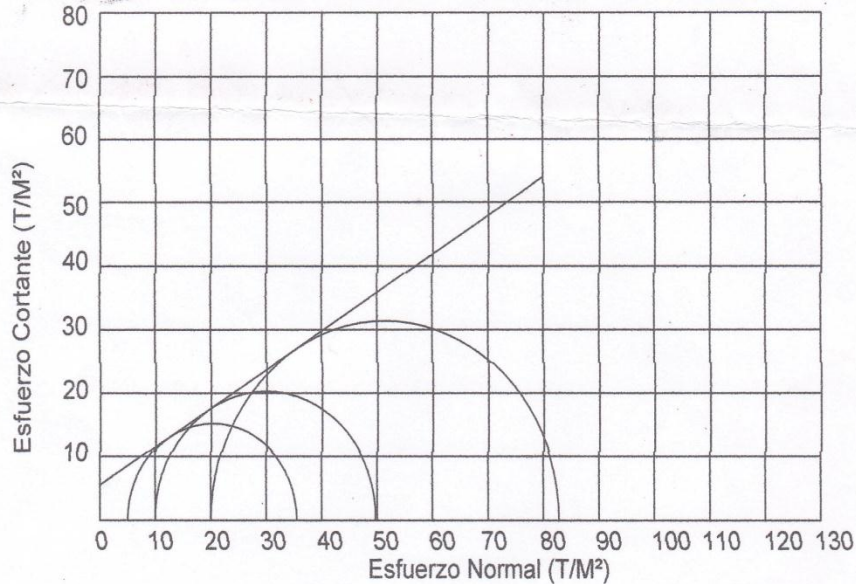
INFORME No.: 0255 S.S. O.T.: 31,043

INTERESADO: Beissy Elizabeth Perez Revolorio  
PROYECTO: Trabajo de Graduación "Caracterización Geotécnica de los Deslizamientos de Taludes del Km. 18+900 al Km 19+700 de la Ruta Departamental 5, Carretera a Ciudad Quetzal, San Juan Sacatepequez, Guatemala"

Ubicación: Ciudad Quetzal, San Juan Sacatepequez, Guatemala

Fecha: 02 de abril del 2013

pozo: 1 Profundidad: 8.00 m Muestra: 1



PARAMETROS DE CORTE:

ÁNGULO DE FRICCIÓN INTERNA :  $\phi = 31.26^\circ$  COHESIÓN:  $C_u = 5.53 \text{ T/m}^2$

TIPO DE ENSAYO: No consolidado y no drenado.

DESCRIPCION DEL SUELO: Arena limosa color beige

DIMENSION Y TIPO DE LA PROBETA: 2.5" X 5.0"

OBSERVACIONES: Muestra proporcionada por el interesado.

PROBETA No.	1	1	1
PRESION LATERAL (T/m <sup>2</sup> )	5	10	20
DESVIADOR EN ROTURA q(T/m <sup>2</sup> )	20.24	29.23	51.40
PRESION INTERSTICIAL u(T/m <sup>2</sup> )	x	x	x
DEFORMACION EN ROTURA Er (%)	2.5	6.0	9.5
DENSIDAD SECA (T/m <sup>3</sup> )	1.18	1.18	1.18
DENSIDAD HUMEDA (T/m <sup>3</sup> )	1.57	1.57	1.57
HUMEDAD (%H)	32.0	32.0	32.0

Vo. Bo.

Inga. Telma Maricela Cano Morales  
DIRECTORA CII/USAC

Atentamente,

Ing. Omar Enrique Medrano Méndez  
Jefe Sección Mecánica de Suelos

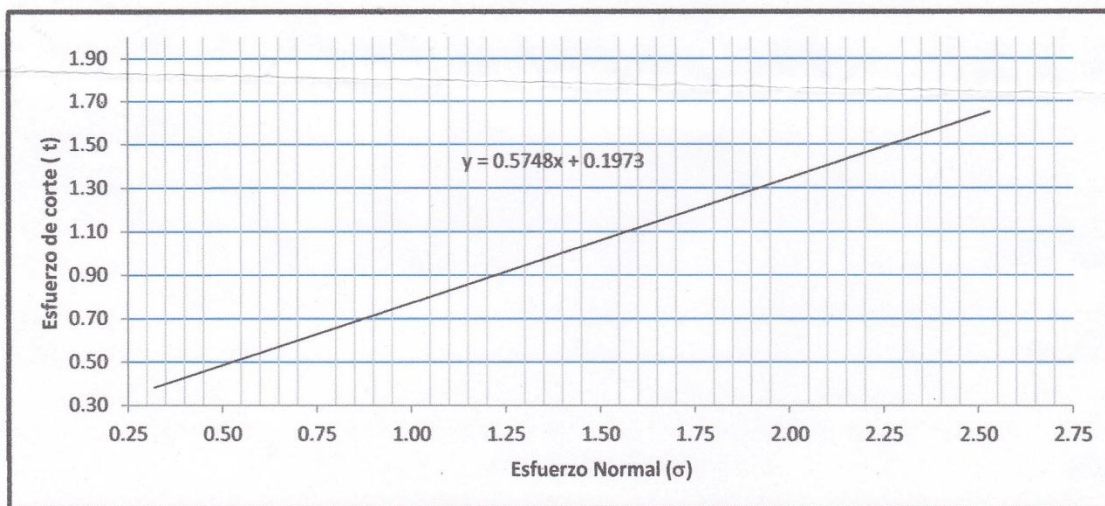






**ENSAYO DE CORTE DIRECTO NORMA ASTM 3080/79**

INTERESADO: Beissy Elizabeth Perez Revolorio Informe No. 0257 O.T. 31,043  
 PROYECTO: Trabajo de Graduación "Caracterización Geotécnica de los Deslizamientos de Taludes del Km. 18+900 al Km 19+700 de la Ruta Departamental 5, Carretera a Ciudad Quetzal, San Juan Sacatepequez, Guatemala"  
 UBICACIÓN: Ciudad Quetzal, San Juan Sacatepequez, Guatemala  
 Profundidad: 8 metros Muestra: 1  
 Fecha: 02 de abril del 2013



**PARAMETROS DE CORTE:**

<b>ÁNGULO DE FRICCIÓN INTERNA : <math>\phi = 29.89^\circ</math></b>	<b>COHESIÓN: <math>C_u = 1.97 \text{ T/m}^2</math></b>
---	--

DESCRIPCION DEL SUELO: Arena limosa color beige  
 DIMENSION Y TIPO DE LA PROBETA: 2.5" X 1.0"  
 OBSERVACIONES: Muestra proporcionada por el interesado

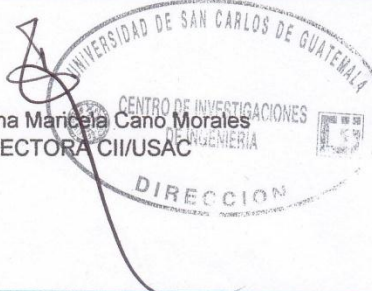
PROBETA No.	1	2	3	4
ESFUERZO NORMAL (kg/cm <sup>2</sup> )	0.32	0.63	1.26	0.53
ESFUERZO DE CORTE (kg/cm <sup>2</sup> )	0.50	0.49	0.81	1.71
DENSIDAD SECA (T/m <sup>3</sup> )	1.18	1.18	1.18	1.18
DENSIDAD HUMEDA (T/m <sup>3</sup> )	1.57	1.57	1.57	1.57
HUMEDAD (%H)	24.7	24.7	24.7	24.7

Atentamente

Vo. Bo.

Inga. Telma Maricela Cano Morales  
 DIRECTORA CII/USAC

Inga. Omar Enrique Medrano Méndez  
 Jefe Sección de Mecánica de Suelos







**CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**



INFORME No. 0258 S. S.

O.T.: 31,043

Interesado: Beissy Elizabeth Perez Revolorio  
 Proyecto: Trabajo de Graduación "Caracterización Geotécnica de los Deslizamientos de Taludes del Km. 18+900 al Km 19+700 de la Ruta Departamental 5, Carretera a Ciudad Quetzal, San Juan Sacatepequez, Guatemala"

Asunto: ENSAYO DE LIMITES DE ATTERBERG

Norma: AASHTO T-89 Y T-90

Ubicación: Ciudad Quetzal, San Juan Sacatepequez, Guatemala

FECHA: 02 de abril del 2013

**RESULTADOS:**

ENSAYO No.	MUESTRA No.	L.L. (%)	I.P. (%)	C.S.U. *	DESCRIPCION DEL SUELO
1	1	0	0	SM	Arena Limosa Color Café

(\*) C.S.U. = CLASIFICACION SEGÚN SISTEMA UNIFICADO

Observaciones:

Muestra tomada por el interesado.

Atentamente,

Vo. Bo.

Ing<sup>a</sup>. Telma Maricela Cano Morales  
 DIRECTORA CII/USAC



Ing. Omar Enrique Medrano Méndez  
 Jefe Sección Mecánica de Suelos







## ANEXOS

### USO DEL PROGRAMA SLOPE/2007

El presente ser una introducción al manejo de uno de los programas de estabilidad de taludes más usado en el ámbito de la ingeniería geotécnica.

Se expone un ejemplo básico elaborado por el Área de Mecánica de los medios continuos y Teoría de Estructuras de Maestría Interuniversitaria en Ingeniería Geotécnica, Universidad de Córdoba, España; cuyo procedimiento está basado en el tutorial de la versión 5.11 del programa adaptado al modelo del programa slope/2007.

#### PROBLEMA EJEMPLO

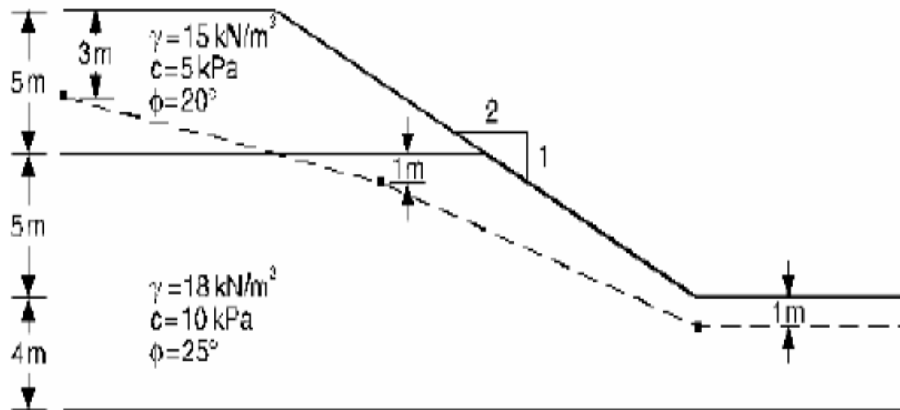
CARACTERISTICAS DEL TALUD	
Inclinación	2H/1V
Altura	10 metros desde su base
Nivel Freático	Detallado en la figura

#### CARACTERÍSTICAS GEOTÉCNICAS DEL SUELO

ESTRATO SUPERIOR	
Peso específico ( $\gamma$ )	15 KN/m <sup>3</sup>
Cohesión (C)	5 KPa
Angulo de fricción Interna ( $\emptyset$ )	20°

ESTRATO INFERIOR	
Peso específico ( $\gamma$ )	18 KN/m <sup>3</sup>
Cohesión (C)	10 KPa
Angulo de fricción Interna ( $\phi$ )	25°

### TALUD A ANALIZAR



#### 1. DEFINICIÓN DEL TALUD

Para la definición completa del problema se requieren los siguientes datos:

- Geometría del contorno del problema
- Límites entre capas del problema
- Inclinación del talud
- Altura
- Situación del nivel freático
- Parámetros geo mecánicos que intervienen en el problema.

Puntos que definen el contorno:

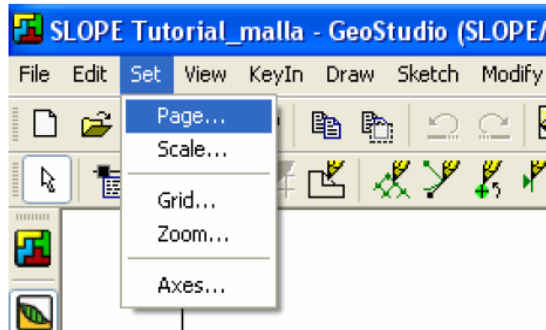
1	0.00	9.00
2	0.00	14.00
3	10.00	14.00
4	20.00	9.00
5	0.00	0.00
6	30.00	4.00
7	40.00	4.00
8	40.00	0.00
9	0.00	10.00
10	15.00	8.00
11	30.00	3.00
12	40.00	3.00

Los puntos 9 al 12 pertenecen al nivel freático.

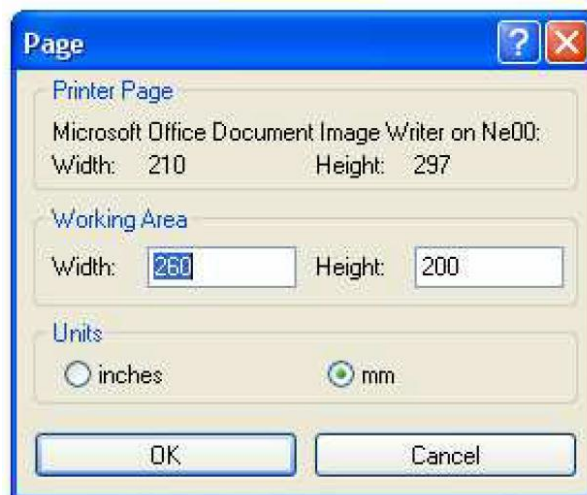
## 2. DEFINICIÓN DEL ÁREA DE TRABAJO

Para definir el tamaño del área de trabajo:

- Seleccionamos **Page** en el desplegable **Set** tal como se ve en la siguiente figura



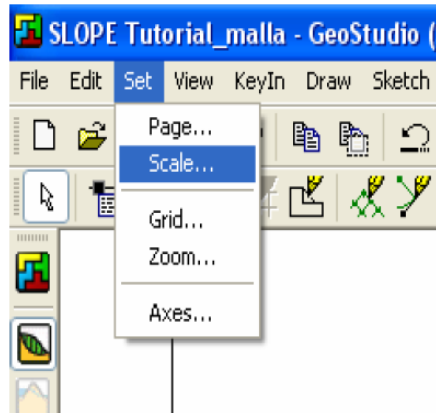
y aparecerá el cuadro de diálogo siguiente:



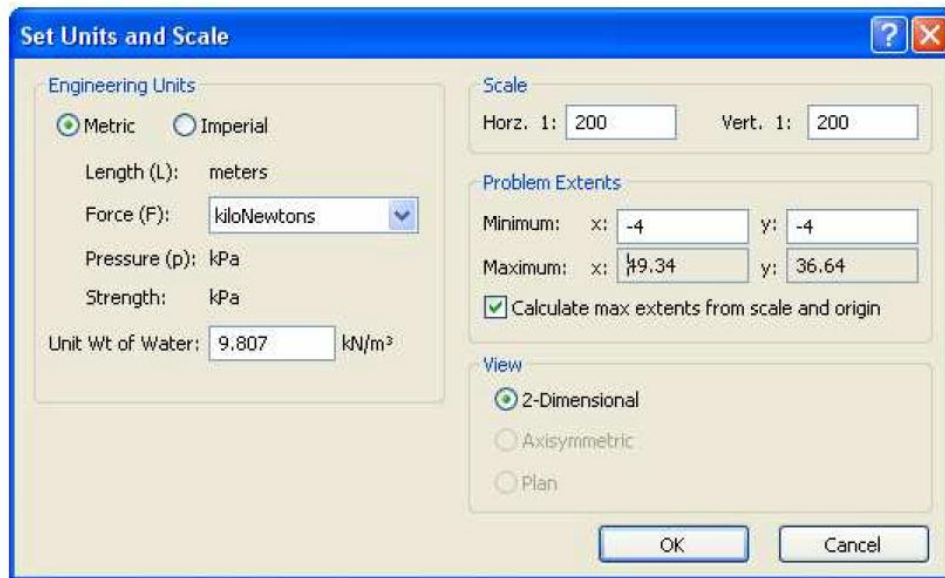
- Nos informa de la impresora preseleccionada introducimos en las casillas Width (ancho) y Height (alto) respectivamente los valores del tamaño del área de trabajo: 210 x 298.
- Sustituimos el ancho por 260 y el alto por 200.
- Aceptamos en OK.

### 3. DEFINICIÓN DE ESCALA Y UNIDADES DE CÁLCULO

- Seleccionamos **Units and Scale** en el desplegable Set tal como se indica en la figura siguiente.



- Y aparecerá el cuadro de diálogo:

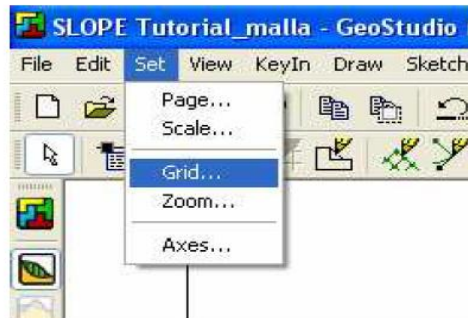


- La escala horizontal cambia a 200 y la vertical a 200.
- Marcamos como Unidades de ingeniería (Engineering Units) *Metric*
- Fijamos como unidades de Fuerza (Force) KiloNewtons
- Seleccionamos OK después de comprobar que la densidad del agua vale 9.807 KN/m<sup>3</sup>.
- Dejamos las demás casillas tal como marca la figura.

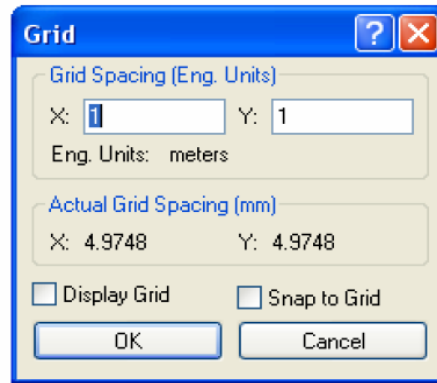
#### 4. DEFINIR EL ESPACIADO DE LA MALLA

Para definir la malla:

- Seleccionamos **Grid** en el desplegable **Set** y tal como se indica a continuación.



- Y aparecerá el cuadro de diálogo siguiente:

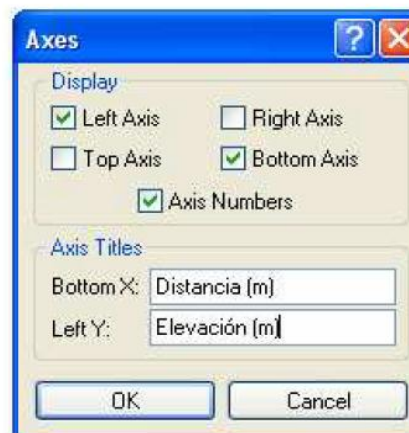


- Nos informa de que el espaciado actual de la malla es de 5 mm.aproximadamente
- Seleccionamos las casillas **Display Grid** y **Snap to Grid** para mostrar y ajustar los pasos entre puntos de nuestro perfil de malla, si no queremos que se visualicen o se activen los pasos desactivamos la opción que nos interese.
- Pulsamos Ok y continuamos

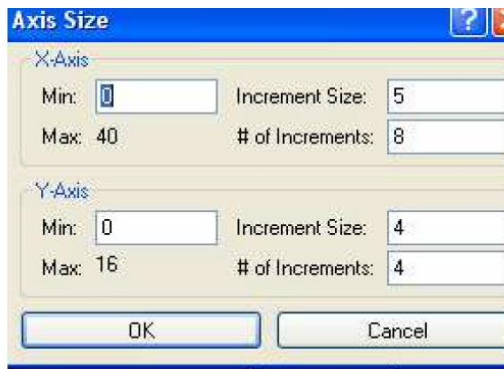
## 5. EJES DEL BOCETO

Seleccionar **Set** del menú **Axes**.

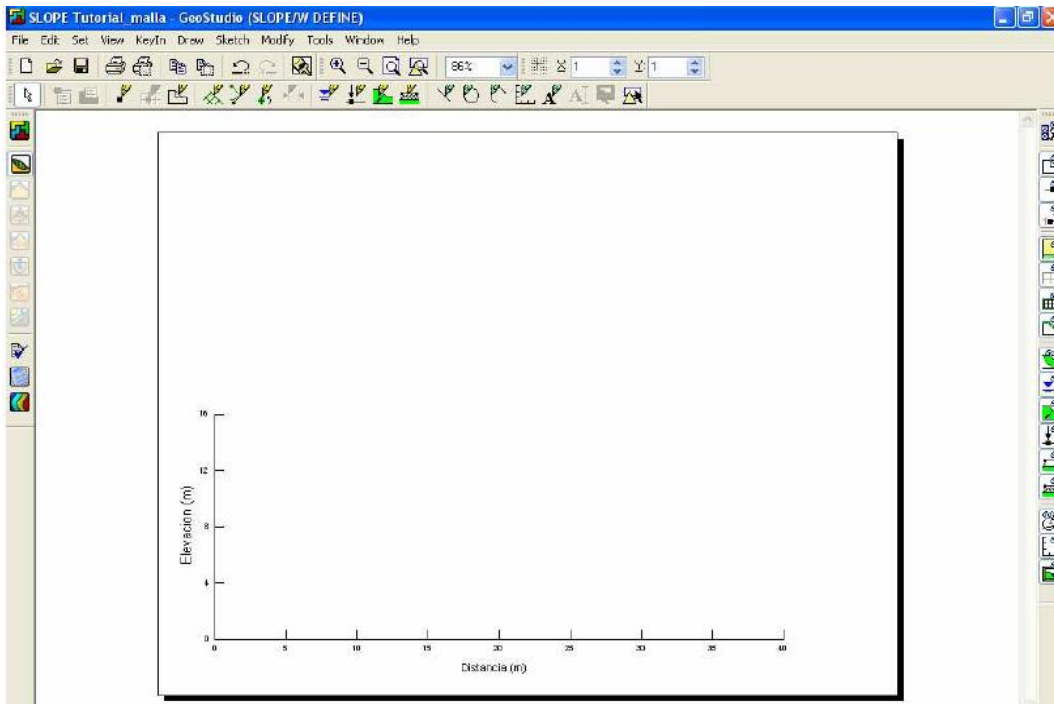
El siguiente cuadro de diálogo aparecerá:



- Marcamos las casillas *Left axis* (eje izquierdo-ordenadas), *Bottom Axis* (inferior-abcisas) y *Axis Number*, es decir queremos que se visualicen los valores de situados en los ejes.
- Escribir el título de los ejes:  
Bottom X: Distancia (m).  
Left Y: Elevación (m).
- Pulsamos O.K y pasamos a la siguiente fase del cuadro de diálogo
- Se colocan los valores que se indican en la figura adjunta



Pulsamos O.K y continuamos dando como resultado:

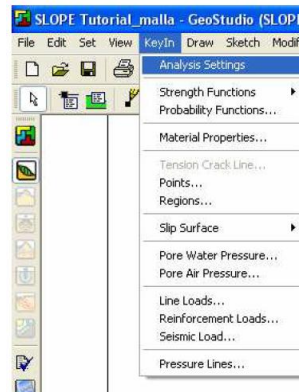




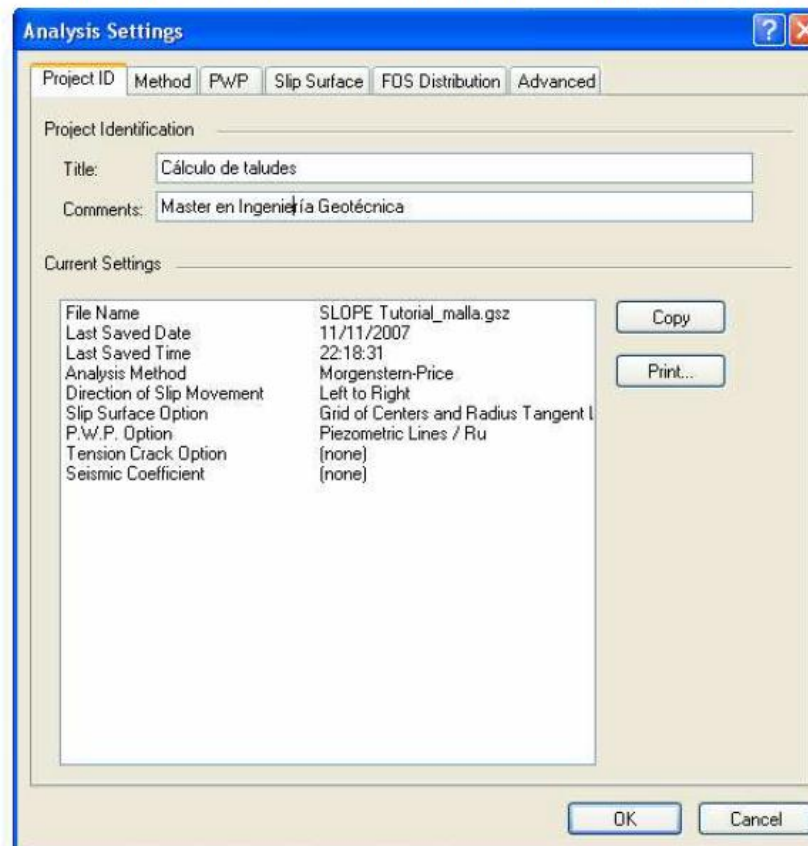
## 6. ESPECIFICAR LA IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

Para especificar la identificación del problema:

- Seleccionar **Analysis Settings...** en el menú desplegable **KeyIn**.

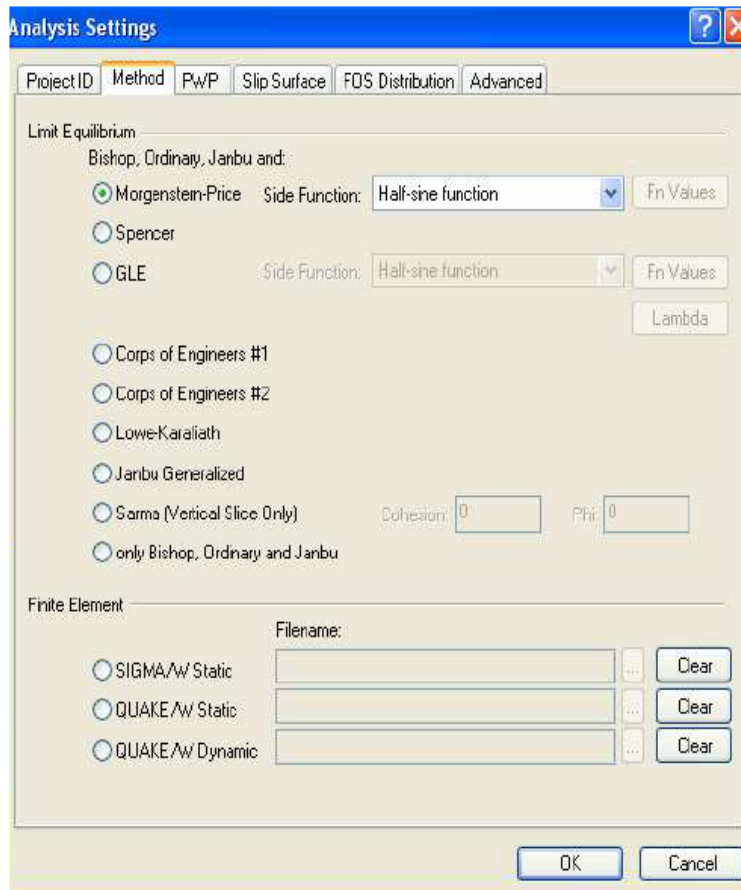


Aparecerá un cuadro de diálogo tal como aparece en la siguiente figura:



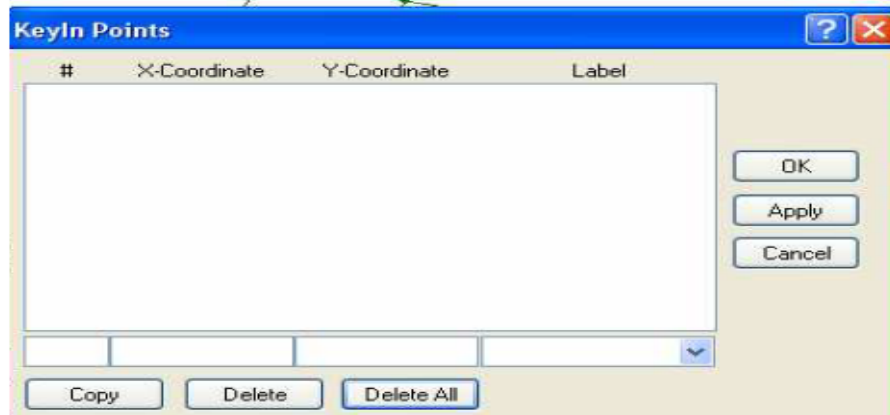
## 7. ESPECIFICAR MÉTODO DE ANÁLISIS

Dentro del anterior cuadro de diálogo activamos la pestaña **Method** y marcamos la opción Morgenstern-Price del bloque Bishop, Ordinary jar Tal como se ve en la siguiente figura:



Se pulsa OK y se pasa a la siguiente opción.

- Apareciendo el siguiente cuadro de diálogo



- En la casilla # se introduce el número de orden en las otras dos las coordenadas y en la lista desplegable se activa la opción Point+Number
- Se introducen los siguiente puntos que definen la geometría.

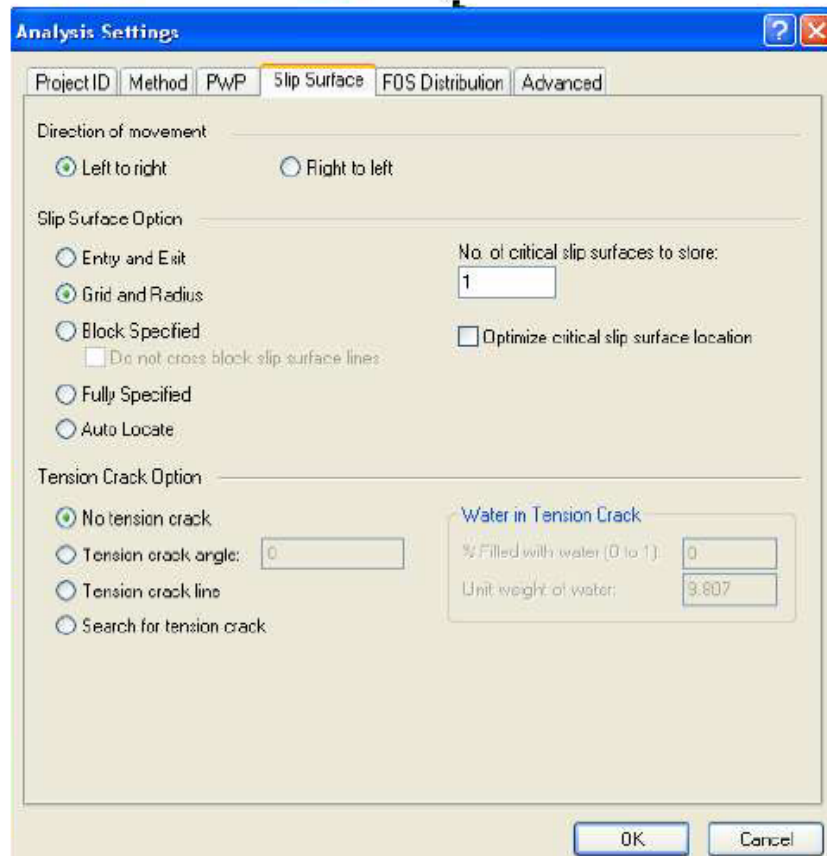
## 8. ESPECIFICAR CONTROL DE ANÁLISIS

Seleccionamos la pestaña Slip Surface .

- Marcamos los casilleros **Left to right** ya que la rotura irá de izquierda a derecha según el modelo geométrico que hemos visto al principio .
- Marcamos **Gris and Radius** como opción de superficie de deslizamiento.
- Marcamos asimismo la opción **No tension Crack** ya que en este caso no vamos a modelizar el terreno con grietas de tracción en el suelo.

- Colocamos 1 en la casilla nº of critical surfaces to store.
- Pulsamos OK, si hemos terminado o pasamos a la siguiente opción.

Todas estas operaciones están indicadas en la figura adjunta.



## 9. OPCIONES AVANZADAS

- Pulsamos en la pestaña Advanced.
- Colocamos el valor 30 en la casilla number of slices (número de rebanadas)
- El valor 0,01 en el casillero Factor of safety tolerante (tolerancia del factor de seguridad)
- Valor 0,1 en el casillero Minimum slip surface thickness
- En la zona Optimization settings, en casillero Maximun number of iterations (máximo número de iteraciones), colocar el valor 2000.
- Los demás valores dejarlos por defecto.

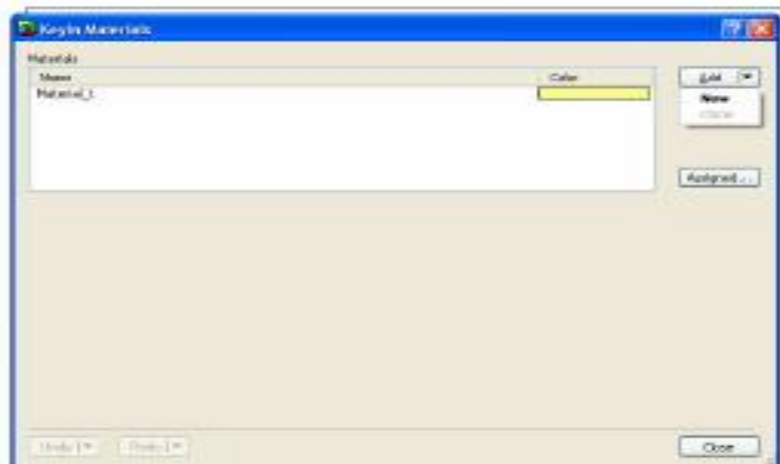
## 10. DEFINIR PROPIEDADES DE LOS SUELOS

Las propiedades geotécnicas del problema estaban definidas en el punto nº 2.

- Para definir las propiedades de los suelos:
  - Seleccionar **Soil Properties** en el menú desplegable **KeyIn.**, tal como se ve en la siguiente figura.

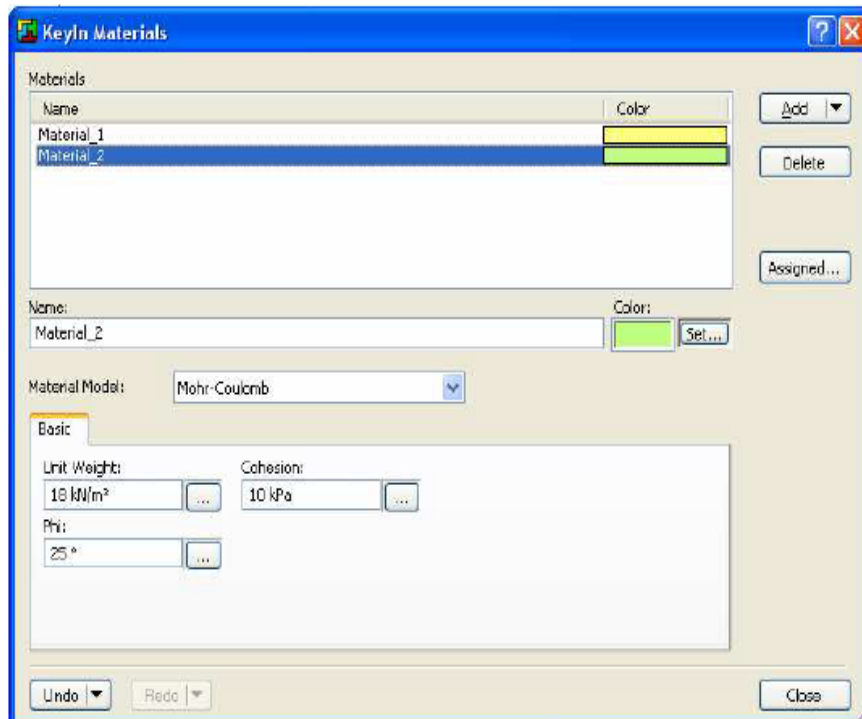


- Una vez hecho en clic aparecerá el siguiente cuadro de diálogo



- En la unidad de peso: 15, en la cohesión: 5 y en ángulo de rozamiento interno: 20.
- Pulsamos *Enter*
- Repetir de para el Nivel inferior, con sus datos correspondientes
- Repetir para el Substrato rocoso, seleccionando Bedrock, esta opción se usa para limitar inferiormente los círculos de rotura, personalmente creo más conveniente y realista colocar el material que realmente exista.
- OK para confirmar y salir.

La imagen siguiente muestra como quedaría el cuadro de diálogo anterior con los datos del problema:



- Para borrar un suelo incorrecto o un suelo que no nos interese, marcarlo y pulsar Delete
- Pulsamos Close y continuamos

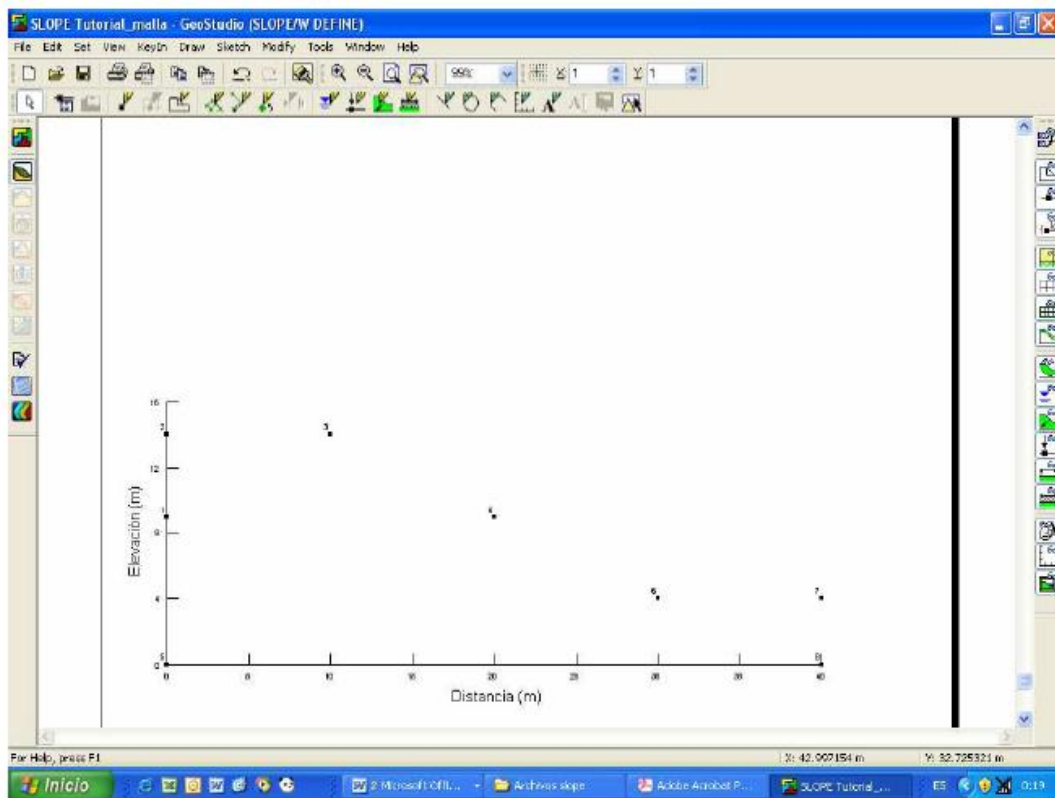
## 11. INTRODUCIR LOS PUNTOS DE CONTORNO

Para definir los contornos del perfil que va a condicionar el cálculo se procede de la siguiente forma

- Seleccionar **Points** en el menú desplegable **KeyIn.**, tal como se ve en la siguiente figura.

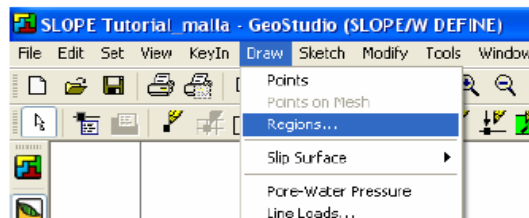
<b>Punto</b>	<b>(X,Y)</b>	
1	0,00	9,00
2	0,00	14,00
3	10,00	14,00
4	20,00	9,00
5	0,00	0,00
6	30,00	4,00
7	40,00	4,00
8	40,00	0,00

- Tras la introducción de cada punto se pulsa Copy y el punto pasa a la lista pulsando Apply se pueden ver en la pantalla los puntos colocados en función de sus coordenadas.
- La introducción de los datos nos da como resultado pulsando O.K



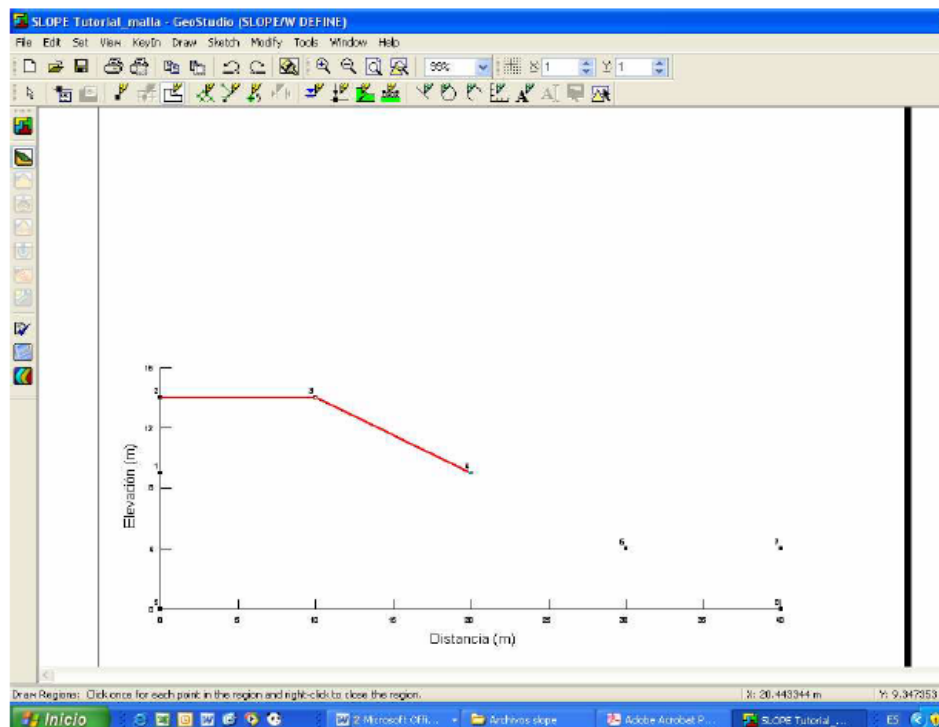
## 12. REGIONES

- Seleccionamos **Región** en el menú desplegable **Draw**, tal como se ve en la siguiente figura.

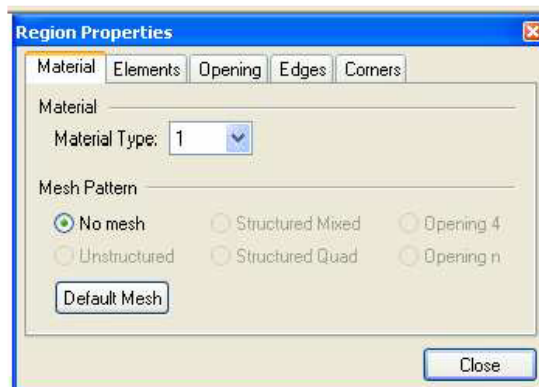




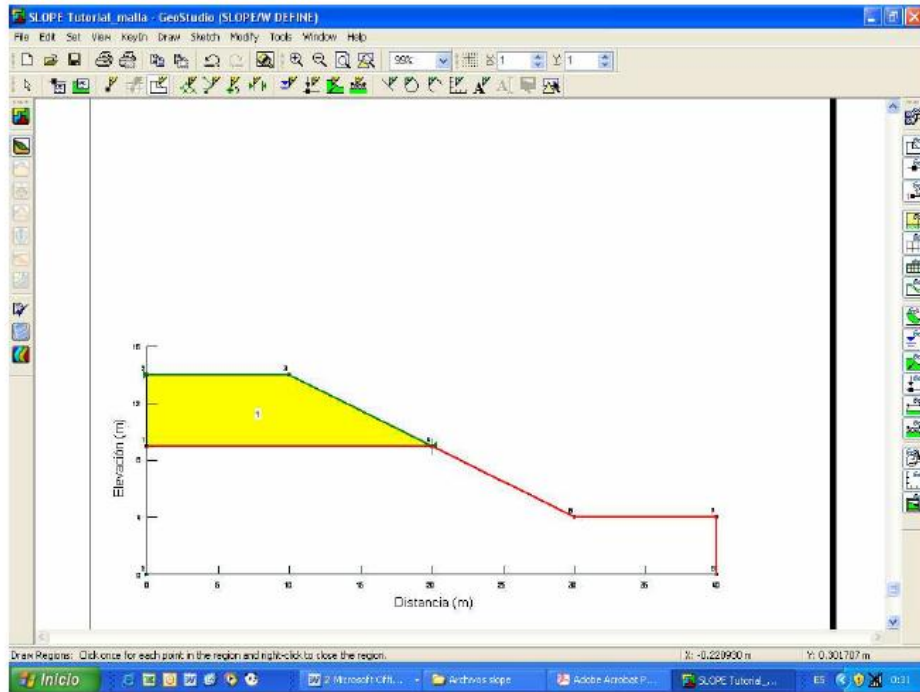
- Se va pulsando con el botón izquierdo del ratón los puntos que definen el contorno cerrando el contorno en el punto de origen



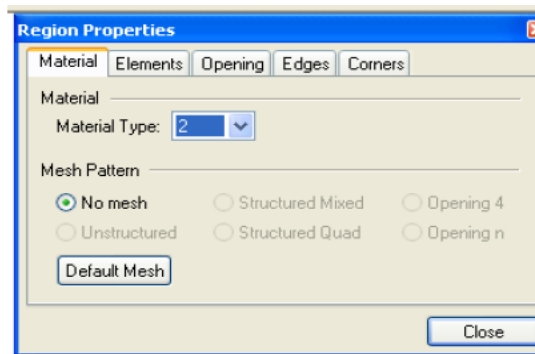
- Después de cerrar el contorno nos aparece el siguiente cuadro de diálogo. En el que indicamos el tipo de suelo ya definido en este caso en 1



- Pulsamos Close para continuar la introducción de más contornos
- Se hace de forma análoga con el suelo tipo 2



- Al terminar nos sale el cuadro de diálogo



- En este caso seleccionamos el suelo de tipo 2 correspondiente al suelo con ese mismo número que se introdujo previamente en el apartado de introducción de materiales.
- Pulsamos Close y posteriormente la tecla Escape (ESC) para salir de la opción de introducción de regiones.

Fuente: *Introducción al uso del programa slope/2007*. Área de Mecánica de los medios continuos, maestría en ingeniería geotécnica, Universidad de Córdoba, España. 63 p.